كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة غرداية

مركز تطوير المقاولاتية

مشروع مؤسسة اقتصادية كمذكرة تخرج وفق القرار
الوزاري 1275 المتمم والمعدل بموجب القرار 008
الموسوم بـ:

تصميم وتطوير نظام ري ذكي متكامل يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لتحسين جودة التربة

ضمن متطلبات نيل شهادة ماستر – مؤسسة اقتصادية، تخصص الري الحضري

إعداد الطالب:
- جبريط محمد رياض
- عجيلة كمال عماد الدين
- شنيني عبد المؤمن احمد المختار

تحت إشراف:
- أولاد بلخير الشيخ
- عنيشل عبد الله
- أولاد النوي نورالدين

نوقشت يوم: 22 جوان 2026 أمام اللجنة المكونة من الأساتذة :

اللقب والاسم	الرتبة	الصفة
مشري بشير	أستاذ مساعد أ	رئيسا
أولاد بلخير الشيخ	أستاذ محاضر أ	مشرفا ومقررا
أولاد النوي نور الدين	أستاذ محاضر أ	مشرف مساعد أول
عنيشل عبد الله	أستاذ محاضر أ	مشرف مساعد ثاني
لشهب السنة	أستاذ محاضر ب	ممتحنا
بيشي إسماعيل	أستاذ محاضر أ	ممثل مركز تطوير المقاولاتية
رزاق موسى	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 01
العابد عبد القادر	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 02

الموسم الجامعي: 2025 - 2026

الشكر و التقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

"رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي"

الحمد لله العلي القدير الذي أنار لنا درب العلم والعلماء، ووفقنا لقطع أشواط هذا المشوار الدراسي، ومنحنا القدرة والأمل لإتمام هذا الجهد العلمي المتواضع. نتوجه بخالص عبارات الشكر والتقدير إلى كل من قدم لنا النصح والإرشاد، وساهم في تقويم مسارنا العلمي والتقني طوال فترة إعداد هذا المشروع. كما نُعرب عن عظيم امتناننا لكافة أساتذتنا الكرام الذين رافقونا بالتعليم والتوجيه خلال سنوات دراستنا الجامعية. كما يسرنا أن نتقدم ببالغ الاحترام إلى الأساتذة الأجلاء أعضاء لجنة المناقشة، مقدرين عالياً جهدهم ووقتهم في مراجعة وتصويب هذه المذكرة. شكرنا موصول كذلك إلى كل الأرواح الطيبة والزملاء والأصدقاء الذين قدموا لنا الدعم النفسي والمعنوي وكانوا لنا سنداً في لحظات الجد والاجتهاد.

الإهداء

نهدي ثمرة هذا الكفاح العلمي والسنوات الدراسية إلى المنارات التي أضاءت لنا دروب الحياة، إلى أصحاب الفضل الأول والثناء الأجمل... أولياء أمورنا الكرام (آبائنا وأمهاتنا)، الذين ساندونا بحبهم غير المشروط، ودعواتهم المستمرة التي كانت تحرسنا وتدفعنا دوماً نحو القمة والتميز. إلى نبض الفؤاد وسند الحياة... إخوتنا وأخواتنا، دامت مساندتهم الطيبة لنا في أوقات الجد والاجتهاد. إلى شجرنا العائلي الوارف بجميع أفراده، لثقتهم المطلقة وفخرهم بكل نجاح نحققه. إلى الأصدقاء والزملاء الأوفياء، الذين رافقونا في السراء والضراء، وكانوا خير معين لنا في مسيرتنا الجامعية. إلى كل من أحبنا بصدق ووضع فينا ثقته.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وإنجاز نظام ري ذكي يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء لمراقبة خصائص التربة وتحسين إدارة الموارد المائية في المجال الزراعي. يتكون النظام من مجموعة من الحساسات لقياس رطوبة التربة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية ،(EC) إضافة إلى تطبيق محمول يسمح بعرض البيانات ومتابعتها في الزمن الحقيقي والتحكم في عملية الري.

تم تطوير نموذج أولي للنظام واختباره عملياً، حيث أظهرت النتائج قدرة المنظومة على جمع البيانات وإرسالها وعرضها بشكل دقيق، مع إمكانية تشغيل المضخة تلقائيًا عند انخفاض رطوبة التربة. كما بينت الدراسة الاقتصادية وجود فرص واعدة لتسويق المشروع وتحويله إلى مؤسسة مصغرة تخدم مختلف الفاعلين في القطاع الزراعي.

وتؤكد النتائج المتحصل عليها أن النظام المقترح يساهم في ترشيد استهلاك المياه، وتحسين متابعة حالة التربة، ودعم التوجه نحو الزراعة الذكية والمستدامة.

الكلمات المفتاحية: الري الذكي، إنترنت الأشياء، التربة، رطوبة التربة، pH، EC تطبيق محمول، الزراعة الذكية.

Résumé

Cette étude vise à concevoir et réaliser un système d'irrigation intelligent basé sur les technologies de l'Internet des Objets (IoT) afin de surveiller les propriétés du sol et d'améliorer la gestion des ressources en eau dans le domaine agricole. Le système est composé de plusieurs capteurs permettant de mesurer l'humidité du sol, la température, le pH et la conductivité électrique (EC), ainsi que d'une application mobile assurant l'affichage des données en temps réel et le contrôle du processus d'irrigation.

Un prototype fonctionnel a été développé et testé expérimentalement. Les résultats obtenus ont montré la capacité du système à collecter, transmettre et afficher les données avec précision, tout en assurant l'activation automatique de la pompe lorsque l'humidité du sol devient insuffisante. L'étude économique a également mis en évidence le potentiel commercial du projet et la possibilité de le transformer en une micro-entreprise innovante au service du secteur agricole.

Les résultats confirment que la solution proposée contribue à l'optimisation de l'utilisation de l'eau, à l'amélioration du suivi de l'état du sol et au développement d'une agriculture intelligente et durable.

Mots-clés : irrigation intelligente, Internet des Objets, sol, humidité du sol, pH, conductivité électrique (EC), application mobile, agriculture intelligente.

Abstract

This study aims to design and implement a smart irrigation system based on the Internet of Things (IoT) to monitor soil properties and improve water resource management in agriculture. The proposed system consists of several sensors used to measure soil moisture, temperature, pH, and electrical conductivity (EC), along with a mobile application that enables real-time data visualization and irrigation control.

A functional prototype was developed and experimentally tested. The obtained results demonstrated the system's ability to accurately collect, transmit, and display data, while automatically activating the water pump when soil moisture falls below the required level. The economic study also highlighted the project's market potential and its feasibility as an innovative micro-enterprise serving the agricultural sector.

The results confirm that the proposed solution contributes to water conservation, improved soil monitoring, and the promotion of smart and sustainable agriculture.

Keywords: Smart irrigation, Internet of Things (IoT), Soil monitoring, Soil moisture, pH, Electrical Conductivity (EC), Mobile application, Smart agriculture.

فهرس

قائمة الصور

قائمة الجداول

مقدمة عامة **1**

1 الزراعة الدقيقة وإنترنت الأشياء (IoT) **3**

2 خصائص التربة **5**

2.1 الملوحة 5

2.1.1 آثارها على التربة 7

2.1.2 أهمية قياس EC 8

2.2 الأس الهيدروجيني (pH) 9

2.2.1 آثاره على التربة 10

2.2.2 أهمية قياسه 11

2.3 العناصر الكبرى (NPK) 13

2.3.1 آثاره على التربة 13

3 أنظمة الري الذكية **15**

3.1 مراجعة الأنظمة الموجودة 15

3.1.1 أنظمة الري القائمة على الوقت 15

3.1.2 أنظمة الري الذكية المعتمدة على حساسات 15

3.1.3 أنظمة الإدارة الرقمية والربط عبر إنترنت الأشياء 16

4 الفرق بين الري التقليدي والري الذكي **17**
4.1 الري التقليدي 17
4.1.1 الري السطحي 17
4.1.1.1 الري بالغمر أو بالشرائح 18
4.1.1.1.1 عيوب الري بالغمر 18
4.1.1.1.2 آثار الري بالغمر 18
4.1.1.2 الري بالأحواض 20
4.1.1.2.1 عيوب وآثار الري بالأحواض 20
4.1.1.3 الري بالخطوط أو الأثلام 22
4.1.1.3.1 عيوب وآثار الري بالخطوط والأثلام . . . 22
4.2 الري المجدول يدوياً وزمنياً 23
4.2.1 الري المعتمد على المؤقتات الثابتة 23
4.2.2 الري المعتمد على التقدير البصري 24
4.3 الري بالرش والتقطير 24
4.3.1 الري بالرش 25
4.3.1.1 عيوبه 25
4.3.2 الري التقطير 25
4.3.2.1 عيوبه 26
4.4 المقارنة بينهما 27
4.5 خاتمة الفصل 28

5 تصميم النظام ومكوناته **30**
5.1 تقديم الجهاز 30
5.2 الاهداف 30
5.2.1 الهدف العام من المشروع 30
5.2.2 الأهداف التقنية 31
5.2.3 الأهداف الاقتصادية 31
5.2.4 الأهداف البيئية 31

5.2.5 الأهداف الوظيفية 32
5.2.6 لوحة ESP32 32
5.2.7 لماذا نختار ESP32 33
5.2.8 حساس التربة متعدد الوظائف 33
5.2.9 المرحل (Relay) 35
5.2.10 مضخة المياه 36
5.2.11 لوحة التجارب (Breadboard) 37
5.2.12 مزود الطاقة (External Power Supply) 37
5.2.13 وحدة الاتصال MAX485 38
5.2.14 أسلاك التوصيل 38
5.2.15 وحدة GSM SIM 39
5.2.16 Raspberry Pi 40
5.3 مبدا عمل الجهاز 41

6 تصميم وإنجاز التطبيق الذكي **43**
6.1 تقديم التطبيق 43
6.2 أهداف التطبيق 44
6.2.1 الأهداف التقنية والبرمجية 44
6.2.2 الأهداف التطبيقية والبيئية 44
6.3 الواجهة الخارجية للتطبيق 45
6.4 خصائص التطبيق 46
6.4.1 ربط الجهاز بالتطبيق 46
6.4.2 مراقبة وتحليل بيانات التربة 47
6.4.3 حفظ وتحليل بيانات 50
6.4.4 تصدير وتحليل البيانات 51
6.5 لغة البرمجة DART 53
6.5.1 لماذا تم اختيار لغة Dart 53
6.6 آلية عمل التطبيق المحمول والتكامل مع نظام الري الذكي 53
6.7 خاتمة الفصل 56

7 التجربة والنتائج **58**
7.1 مقدمة 58
7.2 إجراء التجربة 58
7.2.1 اختبار قراءة الحساس 60
7.2.2 اختبار نظام الري 62
7.3 تحليل النتائج 65
7.4 خاتمة الفصل 65

الخاتمة **67**

قائمة المراجع **68**

قائمة الصور

1.2 مظاهر تملح التربة وتأثيرها البيئي على الأراضي الزراعية 6

2.2 مراحل استجابة النبات للإجهاد الملحائي وتأثير ارتفاع ملوحة التربة على النمو الخضري والجذري. 8

3.2 تأثير درجات حموضة وقلوية التربة على نمو المجموع الخضري والجذري للنبات. 11

1.4 الري بالغمر 19

2.4 الري بالاحواض 21

3.4 الري بالخطوط و الاثلام 23

4.4 الري بالرش 26

5.4 الري بالتقطير 26

1.5 لوحة ESP32 33

2.5 حساس التربة 34

3.5 المرحل 35

4.5 مضخة المياه 36

5.5 لوحة التجارب 37

6.5 مزود الطاقة 37

7.5 وحدة الاتصال MAX485 38

8.5 اسلاك التوصيل 39

9.5 وحدة SIM GSM 39

10.5 لوحة Pi Raspberry 40

11.5 المخطط الكتلي لنظام الري الذكي 42

1.6 الواجهة الخارجية للتطبيق 46

2.6 الواجهة الاولى للتطبيق 47

3.6 واجهة قراءة البيانات 49
4.6 واجهة الحفظ 51
5.6 واجهة تصدير المعلومات 52
6.6 مخطط يمثل طريقة عمل التطبيق 55

1.7 تربة مشبعة بالمواد العضوية للتجربة 59
2.7 عرض القيم المقاسة من الحساس على واجهة التطبيق 61
3.7 اختبار قراءة خصائص التربة باستعمال الحساس داخل التربة 61
4.7 قراءة نسبة الرطوبة عند غرس الحساس داخل التربة 63
5.7 اختبار تشغيل المضخة و مراقبة عملية الري من خلال التطبيق 64

قائمة الجداول

1.4 مقارنة بين نظام الري الذكي والري التقليدي 27

1.5 الخصائص والمواصفات التقنية للوحة التطوير V1 DevKit ESP32 32

2.5 المواصفات التقنية للمرحل 35

3.5 المواصفات التقنية لمضخة المياه 36

مقدمة عامة

تعد الإدارة المستدامة للموارد المائية في القطاع الزراعي واحدة من أعقد التحديات التي تواجه التنمية الاقتصادية والبيئية في العصر الراهن، لا سيما في المناطق التي تعاني من تذبذب التساقط المطري والارتفاع المستمر في درجات الحرارة.

إن الاعتماد على أنظمة السقي التقليدية، التي تفتقر للدقة في تقدير احتياجات التربة، لم يعد كافياً لمواجهة هذه المتغيرات، مما دفع نحو ضرورة ابتكار حلول تكنولوجية تدمج بين مفهوم "الزراعة الدقيقة" وتقنيات "إنترنت الأشياء (IoT)" لضمان توفير البيئة المثالية لنمو المحاصيل بأقل قدر ممكن من المدخلات المائية والطاقوية.

يرتكز هذا العمل على دراسة وتصميم نظام تقني متكامل يهدف إلى الرصد الآلي والتحكم الذكي في بيئة التربة، وذلك من خلال دمج شبكة من الحساسات المتطورة التي تعمل بالتوازي لقياس أربع متغيرات جوهرية: الرطوبة، درجة الحرارة، الناقلية الكهربائية (EC)، والأس الهيدروجيني (pH).

لا تقتصر وظيفة هذا النظام على قياس كمية المياه المتوفرة فحسب، بل تمتد لتحليل الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة في الوقت الفعلي؛ حيث تتيح مراقبة الـ pH والـ EC فهماً دقيقاً لمستويات الملوحة ومدى كفاءة امتصاص الجذور للمغذيات، مما يحمي التربة من التدهور على المدى الطويل.

وعلاوة على ذلك، يتميز المشروع بتطوير خوارزمية تحكم ذكية تستجيب بشكل استباقي للارتفاع الحاد في درجات الحرارة، حيث يتم تفعيل آلية السقي آلياً عند تجاوز عتبات حرارية معينة، بهدف تبريد النطاق الجذري وحماية المحصول من الصدمات الحرارية (Heat Stress) التي قد تؤدي إلى تراجع المردودية.

ولإضفاء طابع الحداثة والسهولة في الاستخدام، تم ربط المنظومة بتطبيق ذكي (Smart Application) يعمل كواجهة تفاعلية، تمنح المستخدم قدرة كاملة على مراقبة البيانات اللحظية، تلقي التنبيهات، والتحكم اليدوي أو الآلي عن بُعد.

إن هذا البحث لا يقدم مجرد أداة تقنية، بل يطرح نموذجاً تطبيقياً لمشروع ريادي يسعى إلى تحويل الممارسات الزراعية من نمط الاستجابة التقليدية إلى نمط الإدارة القائمة على البيانات الدقيقة، مما يعزز من فرص الاستدامة والربحية في المشاريع الزراعية الحديثة.

الفصل الأول

الدراسة النظرية و الاطار المفاهيمي

1 - الزراعة الدقيقة وإنترنت الأشياء (IoT)

لآلاف السنين، كانت الزراعة حجر الزاوية في الحضارة الإنسانية، رقصة دقيقة بين الإبداع البشري والقوى الطبيعية التي لا يمكن التنبؤ بها (Diamond, 1997).

من أوائل البذور التي تزرع باليد إلى ظهور الزراعة الآلية، جلبت كل حقبة أدوات وتقنيات تحويلية خاصة بها (Mazoyer & Roudart, 2006).

اليوم، نقف على أعتاب ثورة زراعية أخرى، مدفوعة بالاتصال الصامت والقوي لإنترنت الأشياء (IoT) (Khanna & Kaur, 2019).

هذه الشبكة المعقدة من أجهزة الاستشعار والأجهزة والبرامج واتصال الشبكة ليست مجرد حداثة تكنولوجية؛ إنها تحول أساسي في كيفية فهمنا وإدارتنا وزراعتنا لأراضينا في نهاية المطاف، مما يبشر بمستقبل يتميز بكفاءة أكبر واستدامة وأمن غذائي (FAO, 2020).

تمثل خلاصة الزراعة الذكية في الانتقال من الأساليب التقليدية إلى الإدارة الرقمية، حيث تُعد الزراعة الذكية (Smart Agriculture) الجيل الجديد من الإدارة الزراعية التي تتجاوز مجرد استخدام الآلات لتصل إلى مستوى "ذكاء المعلومات". ويُعتبر هذا التغيير محورياً كونه يمثل استجابة ضرورية للأزمات المناخية الحالية.

تعد الزراعة الذكية (Smart Farming) مفهوماً تقنياً حديثاً يهدف إلى إحداث ثورة شاملة في آليات إنتاج الغذاء وإدارته، حيث تُعتبر المرحلة الأكثر تقدماً وتطوراً من "الزراعة الدقيقة" (Precision Agriculture).

الفلسفة الجوهرية لهذا المفهوم تتمثل في دمج تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) لابتكار وتحديث الأساليب الزراعية التقليدية، مما يضمن تعزيز الإنتاجية وتحسين جودة المخرج النهائي بشكل ملموس، بالتوازي مع خفض التكاليف التشغيلية من خلال الترشيد الدقيق لاستخدام الموارد وتقليل الاعتماد على العمالة اليدوية.

وتكتسب هذه المنظومة أهمية قصوى في ظل التغيرات المناخية التي تهدد الأمن الغذائي العالمي، لا سيما في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد المائية (Lafta, M. I., & Abdullah, W. D. (2024)).

إن الهدف من هذه التكنولوجيا هو تحويل الاستثمار الزراعي إلى مزارع متصلة تعتمد على

البيانات الرقمية بدلاً من التقديرات البشرية.

إن الجوهر الحقيقي للزراعة الذكية يكمن في "الإدارة القائمة على الموقع"، وهو ما يعني منح كل نبات احتياجاته الدقيقة من المياه والعناصر الغذائية بناءً على حالته الراهنة، مما يساهم في تقليل هدر المياه ومنع إجهاد النبات.

ولا يساعد هذا النموذج في الحفاظ على الموارد فحسب، بل يجعل المحاصيل أكثر تنافسية من خلال تحسين جودتها (Ibrahim et al., 2018; Singh et al., 2022). يُعد إنترنت الأشياء (IoT) في الزراعة بمثابة الشبكة التي تسمح بتدفق البيانات بين العالم المادي (التربة والمناخ) والأنظمة البرمجية.

تعمل هذه الهيكلية وفق ترتيب تقني دقيق، يبدأ بـ "طبقة الإدراك" (Perception Layer)، والتي تحتوي على مستشعرات مغروسة في التربة تعمل بمثابة "الحواس" للنظام.

تنتقل البيانات بعد ذلك عبر "طبقة الشبكة" (Network Layer) باستخدام بروتوكولات لاسلكية (مثل Wi-Fi للمسافات القصيرة أو LoRa للمسافات الطويلة) وصولاً إلى "طبقة المعالجة" (Processing Layer)، حيث يتم تخزينها في السحابة الرقمية.

تتيح هذه الهيكلية للمزارعين ليس فقط المراقبة، بل والتحكم أيضاً في الصمامات والمضخات من أي مكان في العالم عبر تطبيقات الهاتف، مما يحول الحقل إلى وحدة إنتاج "سيبرانية" عالية الكفاءة (R., 2019; Al-Ali et al., 2019).

2 - خصائص التربة

1.2 الملوحة

تعرف ملوحة التربة بأنها تركيز الأملاح الذائبة في منطقة الجذور، وهو ما يؤثر سلباً على قدرة النباتات على امتصاص الماء والعناصر الغذائية (FAO, 2022). ويحدث هذا التراكم الملحي عندما تصل الأملاح إلى مستويات سمية تضر بالمحاصيل.

وتكمن خطورة الملوحة في تسببها بحدوث إجهاد تناضحي (أسموزي) وتسمم أيوني مباشر، مما يؤدي إلى تراجع النمو والإنتاجية، وفي الحالات الشديدة، قد يؤدي ذلك إلى موت النبات (Munns & Tester, 2008).

وبناءً على ذلك، تعد مراقبة وإدارة ملوحة التربة ركيزة أساسية لضمان استدامة الصحة النباتية والإنتاجية الزراعية.

مستشعر الموصلية الكهربائية (EC) ورهان استدامة التربة: يعتبر قياس الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity) أداة حيوية لتقييم ملوحة التربة وجودة مياه الري.

تعبر قيمة EC عن قدرة محلول التربة على نقل التيار الكهربائي، وهي علاقة طردية مع كمية الأملاح الذائبة.

في مناطقنا، خاصة الصحراوية منها، يعد تراكم الأملاح خطراً داهماً يهدد بـ "عقم التربة".

من خلال دمج مستشعر EC، يقوم النظام بمراقبة مستمرة لمستويات الأملاح؛ فإذا تجاوزت القراءات حداً معيناً، يرسل النظام تنبيهاً فورياً أو يقوم آلياً بزيادة كمية الري (غسل التربة لخفض التركيز الملحي)، وتضمن بقاءها منتجة لسنوات طويلة (جامعة غرداية, 2025; Kouache & Mokhtara, 2025).

تتعدد أسباب تملح التربة لتشمل عوامل طبيعية وأخرى ناتجة عن التدخلات البشرية غير المدروسة، حيث يؤدي الري بمياه ذات ملوحة مرتفعة إلى تراكم مباشر للأملاح في منطقة الجذور، ويزداد هذا التأثير حدة في المناخات القاحلة وشبه القاحلة نظراً لارتفاع معدلات التبخر التي تترك الأملاح متركزة على سطح التربة بعد تبخر المياه (FAO, 2022).

كما تلعب سوء إدارة الري، متمثلة في الري المفرط مع غياب أنظمة الصرف الفعالة، دوراً جوهرياً في رفع منسوب المياه الجوفية المالحة الذي ينتقل إلى السطح عبر الخاصية الشعرية، بالإضافة إلى مساهمة الإفراط في التسميد الكيميائي وتحلل المعادن الأولية للتربة في زيادة تركيز الأملاح الذائبة (Munns & Tester, 2008).

علاوة على ذلك، تتعرض المناطق الساحلية لتملح ناتج عن الفيضانات أو ظاهرة المد والجزر التي تنقل مياه البحر للمناطق الزراعية، مما يجعل مراقبة هذه العوامل ضرورة حتمية للحفاظ على استدامة الأراضي الزراعية (Zaman et al., 2021).



شكل 1.2: مظاهر تملح التربة وتأثيرها البيئي على الأراضي الزراعية

1.1.2 آثارها على التربة

تؤثر ملوحة التربة على نمو النبات بطريقة معقدة وعميقة من خلال مرحلتين زمنيتين متمايزتين.

تبدأ الأولى بـ "المرحلة الأسموزية" (Osmotic Phase)، وهي استجابة سريعة تحدث فور ارتفاع تركيز الأملاح في محلول التربة، مما يؤدي إلى انخفاض الجهد المائي وصعوبة امتصاص الجذور للماء.

هذا التأثير يشبه إلى حد كبير ظروف الجفاف، حيث يتسبب في تباطؤ فوري في معدل تمدد الخلايا ونمو الأوراق الفتية، وإغلاق الثغور لتقليل النتح، مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة عملية التمثيل الضوئي (Munns & Tester, 2008).

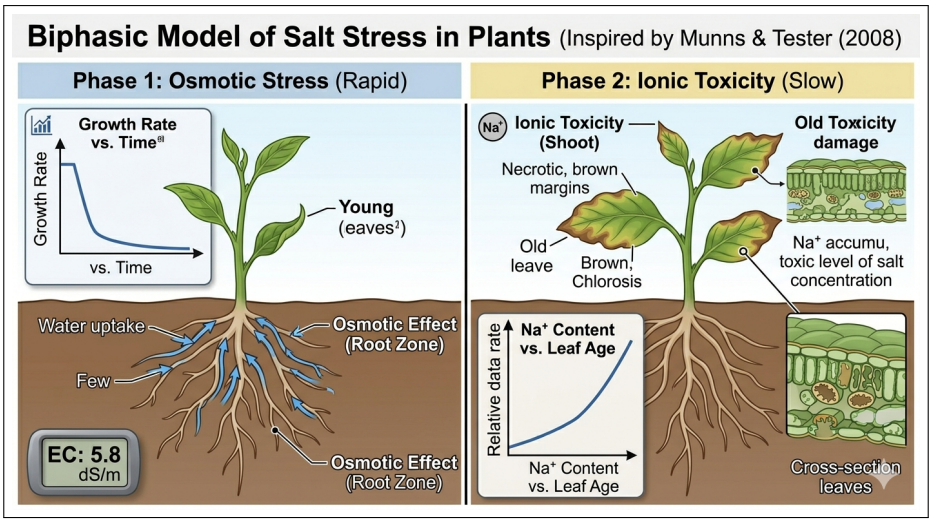
أما المرحلة الثانية فهي "المرحلة الأيونية" (Ionic Phase)، وتحدث على مدى فترة زمنية أطول نتيجة تراكم أيونات الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-) بتركيزات سامة داخل الأنسجة النباتية، وخاصة الأوراق القديمة.

ونظراً لأن النبات لا يستطيع استبعاد هذه الأيونات تماماً، فإنها تتراكم في الفجوات العصارية ثم في السيتوبلازم مما يؤدي إلى تعطيل النشاط الإنزيمي وتسبب انهيار الأغشية الخلوية.

وتتجلى آثار هذه المرحلة بوضوح من خلال احتراق حواف الأوراق، والشحوب (Chlorosis) والموت المبكر للأوراق، مما يقلل من المساحة الورقية الكلية اللازمة لإنتاج الطاقة (Munns & Tester, 2008; Chele et al., 2021).

بالإضافة إلى التأثيرات المباشرة، تسبب الملوحة حالة من "الإجهاد التأكسدي"، ناتجة عن الاختلال الأيوني خاصة نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم (K^+/Na^+)، مما يؤدي إلى إنتاج مفرط لأنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) التي تتلف البروتينات والحمض النووي داخل الخلايا.

ومن الناحية الفيزيائية، تؤدي الملوحة وخاصة الصودية إلى تدهور بنية التربة عن طريق تشتيت حبيبات الطين وخفض نفاذية الماء والتهوية، مما يخلق بيئة خانقة للجذور تزيد من حدة الإجهاد الحيوي على المحصول (Chele et al., 2021).



شكل 2.2: مراحل استجابة النبات للإجهاد الملحائي وتأثير ارتفاع ملوحة التربة على النمو الخضري والجذري.

2.1.2 أهمية قياس EC

عملية قياس الملوحة، المتمثلة في قياس الموصلية الكهربائية (EC)، تعتبر حجر الزاوية في الحفاظ على جودة واستدامة التربة، حيث تتيح هذه القياسات تصنيفاً دقيقاً لحالة التربة وتحديد مستوى تدهورها النوعي، وهو أمر ضروري لاختيار استراتيجية الاستصلاح المناسبة.

فبدون القياس الدقيق يصعب التمييز بين التربة الملحية التي تتطلب غسيلاً للأملاح والتربة الصودية التي تستوجب تدخلات كيميائية لإحلال الكالسيوم محل الصوديوم المتبادل (Munns & Tester, 2008).

تعد الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity - EC) المؤشر الفيزيائي والكيميائي الأكثر حيوية لتقدير تركيز الأملاح الذائبة في محلول التربة، حيث ترتبط جودة التربة ارتباطاً وثيقاً بمدى قدرة النباتات على استخلاص المياه من الوسط المحيط.

وكما أشارت دراسة Munns & Tester (2008)، فإن الملوحة المرتفعة تزيد من الجهد الأسموزي لمحلول التربة، مما يخلق حالة من "الجفاف الفسيولوجي"؛ حيث يعجز النبات عن امتصاص الماء رغم توفره في التربة، مما يؤدي إلى تقزم المحاصيل وفقدان الإنتاجية بشكل حاد.

علاوة على ذلك، تؤثر الملوحة بشكل مباشر على التفاعلات الكيميائية والتبادل الأيوني؛ إذ يؤدي الاختلال في مستويات الأملاح إلى ظاهرة "التضاد الأيوني" (Ion Antagonism)، حيث تطغى أيونات الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-) على العناصر الكبرى الضرورية مثل البوتاسيوم والكالسيوم، مما يسبب سمية أيونية وتساقطاً للأوراق وسرعة في شيخوخة النبات.

ولا يتوقف الأثر عند هذا الحد، بل يمتد ليشمل تدمير البنية الفيزيائية للتربة؛ حيث تتسبب زيادة الأملاح، خاصة الصوديوم، في تشتت الحبيبات الطينية وانهيار المسامية، مما يقلل من نفاذية

التربة للماء والهواء ويؤدي إلى تشكل قشور سطحية صلبة تعيق نمو البادرات وتزيد من مخاطر التصحر، وهو ما أكدته تقارير منظمة الفاو (FAO, 2024) حول الحالة العالمية للتربة المتأثرة بالأملاح.

من هنا، تصبح بيانات الـ EC أداة أساسية لاتخاذ القرار الإداري المستدام؛ فهي تتيح حساب "الاحتياجات الغسلية" (Leaching Requirement) اللازمة لإزاحة الأملاح بعيداً عن منطقة الجذور.

إن الحفاظ على مستويات ملوحة منخفضة من خلال الأنظمة المؤتمتة (مثل نظام ESP32 المقترح) يعد ركيزة أساسية لضمان استدامة الأراضي الزراعية، وحماية جودة التربة من التدهور غير العكسي وتحسين كفاءة استخدام الموارد المائية في ظل تحديات الشح المائي والتغيرات المناخية العالمية.

2.2 الأس الهيدروجيني (pH)

تعد درجة حموضة التربة (pH) مقياساً لتركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة، وهي التي تحدد درجة حموضة أو قلوية الوسط.

ويصنف الـ pH علمياً بأنه "المتغير الرئيسي" (The Master Variable) نظراً لقدرته الفائقة على التحكم في معظم التفاعلات الكيميائية والعمليات البيولوجية التي تحدث تحت سطح الأرض (Thomas, 1996).

تكمن الأهمية القصوى لدرجة الحموضة في دورها كـ "بوابة" تنظم مدى توافر العناصر الغذائية للنبات.

فعندما تميل التربة إلى التعادل (pH ما بين 6.0 و 7.5)، تصل معظم العناصر الكبرى مثل النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم إلى ذروة جاهزيتها للامتصاص.

وفي الحالات القصوى، كما هو الحال عندما تصبح التربة قلوية جداً، تترسب العناصر الصغرى مثل الحديد والزنك كيميائياً، مما يجعلها غير متاحة لامتصاص النبات، بينما في التربة شديدة الحموضة، يصبح الألمنيوم أكثر ذوباناً ليصل إلى مستويات سامة، مما يؤدي إلى قتل الجذور وتدمير سلامة التربة (Brady & Weil, 2016).

هناك ارتباط وثيق بين الـ pH والملوحة (EC). فالتربة التي تعاني من ارتفاع حاد في الـ pH (أعلى من 8.5) غالباً ما تكون تربة صودية تعاني من تشتت حبيبات الطين وانسداد المسام، مما يخلق بيئة خانقة للجذور.

بالإضافة إلى ذلك، فإن كفاءة التسميد الأزوتي (النيتروجيني) ترتبط ارتباطاً عضوياً بالـ pH، حيث تحتاج البكتيريا المسؤولة عن تحويل الأسمدة إلى صور صالحة للامتصاص إلى وسط كيميائي متوازن لتعمل بكفاءة، وهو ما يفسر تباين الإنتاجية عند استخدام مصادر ري مختلفة (مثل مياه الآبار

المالحة مقابل مياه الأنهار) في الأراضي الزراعية (التركي، 2018; Lauber et al., 2008).

لا يقتصر تأثير الـ pH على الكيمياء فقط، بل يمتد ليشكل الخارطة البيولوجية للتربة. وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن الأس الهيدروجيني هو العامل الأقوى في تحديد بنية وتنوع المجتمعات البكتيرية؛ حيث يزداد التنوع الميكروبي بشكل ملحوظ في التربة المتعادلة وينخفض في التربة الحامضية.

وهذا يعني أن أي خلل في قيمة الـ pH يؤدي مباشرة إلى تغيير في هوية الميكروبات المسؤولة عن تحلل المادة العضوية وتدوير العناصر، مما يؤثر على الخصوبة المستدامة للأرض (Lauber et al., 2008).

1.2.2 آثاره على التربة

يعد الأس الهيدروجيني (pH) المتغير الرئيسي الذي يحدد جودة التربة، حيث لا تقتصر آثاره على قياس حموضة التربة فحسب، بل تمتد لتشكل الخصائص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية للأراضي الزراعية.

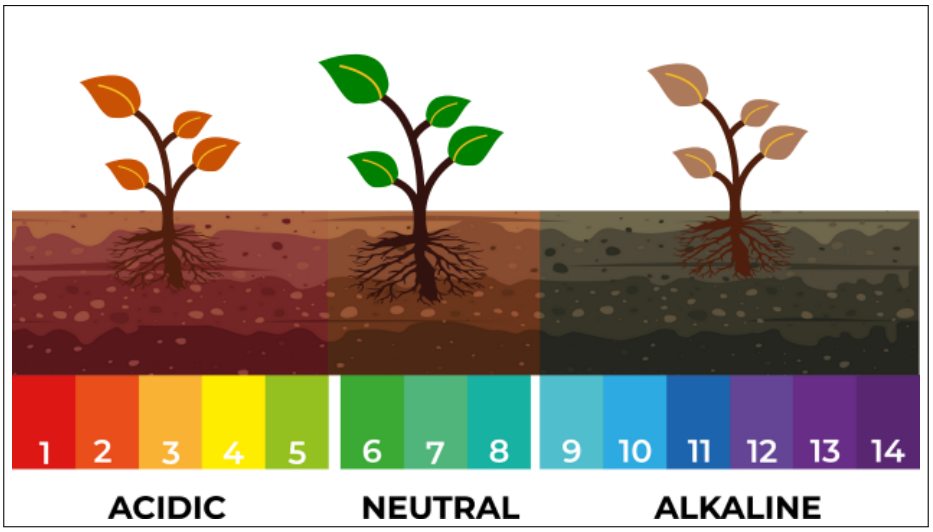
فمن الناحية الكيميائية، يمثل الـ pH العامل الأساسي الذي يحدد جاهزية العناصر الغذائية للنبات؛ ففي النطاق المتعادل إلى الحامضي قليلاً (6.0 إلى 7.5)، تكون العناصر الكبرى مثل النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم في أقصى درجات ذوبانها المتاحة للامتصاص، بينما يؤدي ارتفاع الـ pH (القلوية) إلى ترسب العناصر الصغرى مثل الحديد والزنك خارج المحلول.

ومن ناحية أخرى، تسبب الحموضة المفرطة تحرر أيونات الألمنيوم والمنجنيز بتركيزات سامة تدمر الأنسجة الجذرية (Brady & Weil, 2016).

أما بيولوجياً، فإن الـ pH يعمل كمنظم دقيق للحياة الميكروبية؛ حيث تظهر المجتمعات البكتيرية حساسية مفرطة تجاه التغيرات في الحموضة، مما يقلل من تنوع البكتيريا ونشاطها في الأوساط الحامضية، ويؤدي ذلك إلى تعطيل دورات تدوير العناصر الأساسية وتحلل المادة العضوية (Thomas, 1996).

أما فيزيائياً، فيرافق تدهور بنية التربة عند الـ pH العالي جداً (أكثر من 8.5) تشتت حبيبات الطين وتدمر المسام وتكون القشرة السطحية، مما يحد من نفاذية الماء والتهوية، ويخلق بيئة خانقة للجذور.

لذلك، فإن استدامة الإنتاجية الزراعية تعتمد بشكل كبير على موازنة هذا المتغير لضمان كفاءة التسميد وحماية التوازن البيئي داخل التربة (Brady & Weil, 2016; Thomas, 1996).



شكل 3.2: تأثير درجات حموضة وقلوية التربة على نمو المجموع الخضري والجذري للنبات.

2.2.2 أهمية قياسه

1. **التنبؤ بجاهزية العناصر الغذائية (Predicting Nutrient Availability):** يعد قياس الـ pH ضرورياً لأنه يؤثر على مدى استفادة النبات من الأسمدة التي يضيفها المزارع. فعندما تظهر القراءات قيم pH أعلى من 8، فهذا يشير إلى أن الفسفور والعناصر الصغرى مثل الحديد والزنك سوف تترسب وتصبح غير متاحة للنبات، مما يتطلب خطوات محددة لتعديل الوسط قبل البدء بالزراعة (Brady & Weil, 2016).

2. **الكشف عن سمية المعادن الثقيلة (Detection of Heavy Metal Toxicity):** يساعد قياس الـ pH على حماية جودة التربة من التسمم المعدني؛ فإذا أظهر القياس انخفاضاً حاداً (أقل من 5.5)، فهذا يدل على احتمالية عالية لذوبان الألمنيوم والمنجنيز بتركيزات سامة تقتل الجذور، وهو أمر لا يمكن الكشف عنه بالعين المجردة بل عبر أجهزة القياس فقط (Thomas, 1996).

3. **النشاط الميكروبي وصحة التربة (Microbial Activity and Soil Health):** التربة الجيدة هي تربة "حية". وتخبرنا درجة الـ pH بمدى ملاءمة التربة للميكروبات النافعة، فالبكتيريا التي تحول النيتروجين إلى صورة يمكن للنبات امتصاصها (عملية النترجة) تتوقف عن العمل إذا أصبحت التربة حامضية جداً. لذا فإن الفحص الدوري يضمن بقاء المجتمع الميكروبي نشطاً (Thomas, 1996).

4. **ترشيد المدخلات (Optimization of Inputs):** تتمثل جودة الإدارة جزئياً في خفض التكاليف وحماية البيئة. ويمكن تحديد الكميات الدقيقة للمحسنات المطلوبة (مثل الكبريت لخفض القلوية أو الجير لرفع الحموضة) عن طريق قياس الـ pH. وبدون القياس قد تؤدي الإضافات العشوائية إلى تدهور كيميائي للتربة وزيادة تكاليف الإنتاج دون تحقيق أي فائدة

حقيقية.

5. **حماية البنية الفيزيائية للتربة (Protection of Physical Soil Structure):** في التربة القلوية، يرتبط الارتفاع في قيمة الـ pH بارتفاع نسبة الصوديوم. ويعمل قياس الـ pH كإنذار مبكر لخطر "تشتت حبيبات الطين" الذي يدمر مسامية التربة ويؤدي إلى تحولها لكتلة صلبة غير منفذة، مما يهدد سلامة جودة التربة على المدى الطويل (Brady & Weil, 2016).

3.2 العناصر الكبرى (NPK)

تعد العناصر المغذية الكبرى، وهي النيتروجين (N)، والفسفور (P)، والبوتاسيوم (K)، والمعروف اختصاراً بـ NPK، الركيزة الأساسية والعمود الفقري لخصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل.

وتتحدد جودة التربة بمدى توافر هذه العناصر في محلول التربة بصورة قابلة للامتصاص، حيث يلعب كل عنصر دوراً حيوياً لا يمكن الاستغناء عنه.

فالنيتروجين هو المحرك الأساسي للنمو الخضري وتكوين البروتينات والكلوروفيل، بينما يعد الفسفور المسؤول الأول عن نقل الطاقة وتطور المجموع الجذري وإنتاج البذور، في حين يعمل البوتاسيوم كمنظم للضغط الأسموزي والعمليات الحيوية التي تعزز مقاومة النبات للإجهاد البيئي (Brady & Weil, 2016).

وعلى الرغم من هذه الأهمية، فإن إدارة هذه العناصر في التربة تواجه تحديات تقنية وبيئية كبيرة. فالنيتروجين يتميز بحركية عالية تجعله عرضة للفقد السريع عبر ظاهرة "الغسل" (Leaching) إلى المياه الجوفية، بينما يميل الفسفور إلى "التثبيت" (Fixation) في التربة وتحوله إلى صور غير ذائبة بناءً على درجة الحموضة (pH).

مما يؤدي في الزراعة التقليدية إلى الإفراط في التسميد لتعويض الفاقد، وهو ما يسبب تلوثاً بيئياً وخسائر اقتصادية فادحة (Adhikary et al., 2024).

كما أن التراكم غير المنضبط لهذه العناصر يؤدي أيضاً إلى زيادة الملوحة الكيميائية للتربة، مما يتسبب في حدوث ظاهرة "التضاد الأيوني" (Ionic Antagonism) التي تعيق قدرة النبات على امتصاص العناصر الصغرى الضرورية (Musa et al., 2024).

1.3.2 آثاره على التربة

1. **الآثار الكيميائية والاختلال الأيوني:** يؤدي الاستخدام غير المنضبط للأسمدة الكيماوية إلى ارتفاع مستويات الملوحة الكيميائية في محلول التربة، مما يخلق ظاهرة "التضاد الأيوني" (Ionic Antagonism)، حيث يمنع وجود فائض من عنصر معين مثل البوتاسيوم (K^+) امتصاص عناصر أخرى ضرورية مثل الكالسيوم والمغنيسيوم (Adhikary et al., 2024; Musa et al., 2024).

   بالإضافة إلى ذلك، تساهم بعض أشكال النيتروجين (مثل الأمونيوم) في تحمض التربة تدريجياً، مما يغير طبيعة التفاعلات الكيميائية والفيزيائية ويؤدي إلى "تثبيت" الفسفور في صور غير ذائبة، خاصة في ظل ظروف معينة من درجة الحموضة (pH) (Brady & Weil, 2016).

2. **الآثار الفيزيائية وتدهور البنية الهيكلية:** تؤكد التقارير العلمية أن تراكم الأملاح الناتج عن الأسمدة

لا يضر النباتات فحسب، بل يؤدي أيضاً إلى تدمير البنية الفيزيائية للتربة؛ حيث يتسبب فقدان التوازن الأيوني، خاصة ارتفاع نسبة الصوديوم المرتبط ببعض الأسمدة، في ظاهرة "تشتت الحبيبات الطينية" (Clay Dispersion).

ويؤدي هذا التشتت إلى انهيار المسامية الطبيعية وانسداد قنوات الهواء والماء، مما ينتج عنه تصلب سطح التربة وتكون قشور صلبة تعيق بزوغ البادرات وتزيد من معدلات الجريان السطحي والانجراف (FAO, 2024).

3. **الآثار البيئية الملوثة والنفاذية:** نظراً للحركية العالية للنيتروجين في التربة, فإن وجوده بكميات تتجاوز قدرة امتصاص الجذور يؤدي إلى ظاهرة "الغسل" (Leaching)؛ حيث تنتقل النترات الذائبة مع مياه الري عبر طبقات التربة وصولاً إلى الخزانات الجوفية، مما يسبب تلوثاً بيئياً طويل الأمد (Adhikary et al., 2024).

هذا النضح لا يقلل فقط من خصوبة التربة، بل يغير من التركيب الحيوي للكائنات الدقيقة النافعة، مما يقلل من قدرة التربة على التجدد الطبيعي للمادة العضوية (Musa et al., 2024).

3 - أنظمة الري الذكية

1.3 مراجعة الأنظمة الموجودة

1.1.3 أنظمة الري القائمة على الوقت

تعتبر هذه الأنظمة النموذج التقليدي للأتمتة الزراعية، إذ تعتمد من الناحية التقنية على ما يعرف بـ "متحكمات الحلقة المفتوحة" (Open-loop Controllers).

وفي هذا النموذج، يتم اتخاذ قرار السقي استناداً إلى جدول زمني ثابت (Fixed Schedule) يتم تعيينه مسبقاً ضمن وحدة التحكم، حيث يتم تنفيذ تقنية عمل هذه الأنظمة من خلال برمجة مؤقتات رقمية (Digital Timers) تتولى عملية إرسال النبضات الكهربائية التي تعمل على تشغيل مضخات المياه أو فتح الصمامات الكهرومغناطيسية (Solenoid Valves) خلال فترات دورية منتظمة (Dukes, 2012).

وهنا، تعتمد آليات التحكم والعمل على التقديرات الأولية التي يقوم بها الفلاح فيما يتعلق باحتياج المحصول إلى المياه، حيث يحدد النظام الزمن الخاص ببدء الري وتوقيت نهاية العملية بشكل كامل، مستقلاً عن حالة التربة الفعلية أو التغيرات التي يمكن أن تحدث (Raheja et al., 2021).

2.1.3 أنظمة الري الذكية المعتمدة على حساسات

تعتمد أنظمة الري الذكية الموجودة في مشروعنا على "متحكمات الحلقة المغلقة" (Closed-loop Controllers) التي تعمل بشبكات لاسلكية لجمع البيانات لحظة بلحظة من التربة (Vellidis et al., 2008).

وتعتمد في تشغيلها على تحليل متعدد المعايير يشمل الرطوبة كمحدد رئيسي ودرجة الحرارة كمعيار وقائي، بالإضافة إلى مراقبة الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية (EC) لضمان جودة البيئة الكيميائية للجذور (Ghodrat et al., 2017).

بمجرد انخفاض القيم المقاسة عن عتبات محددة مسبقاً، يقوم المتحكم ESP32 بتفعيل المضخات

آلياً مع تحديث الحالة لحظياً عبر تطبيق ذكي، مما يحقق كفاءة قصوى في إدارة الموارد المائية ويضمن استدامة المحصول (Ayaz et al., 2019).

3.1.3 أنظمة الإدارة الرقمية والربط عبر إنترنت الأشياء

إن المحرك الأساسي لتحويل المزارع التقليدية إلى منظومات ذكية تعمل بالبيانات هي الإدارة الرقمية والربط عبر السحابة.

ولا يقتصر دور جهاز ESP32 على جمع البيانات من التربة فحسب، بل يقوم بإرسالها فوراً إلى منصات التخزين والمعالجة الرقمية عبر الإنترنت.

إن هذا الربط يسمح للمزارع بمراقبة حالة حقله في أي وقت ومن أي مكان عبر تطبيق هاتفي، حيث يتيح له تحويل الأرقام المعقدة التي ترسلها الحساسات (مثل مستويات الرطوبة ودرجة الحموضة) إلى رسومات ومنحنيات بيانية سهلة الفهم (Ayaz, 2019).

إن الفائدة الحقيقية من دمج هذه التقنيات تكمن في ذكاء القرار، فبدلاً من الاعتماد على التخمين، يوفر التحليل السحابي دقة متناهية في تحديد احتياجات المحصول المائية بدقة، مما يحميه من الإجهاد الحراري أو نقص المغذيات.

فإن هذه التكنولوجيا تمثل قيمة مضافة لأنها تقدم حلاً تقنياً يقلل التكاليف التشغيلية ويزيد الإنتاجية من خلال تحويل الإدارة الميدانية من إدارة يدوية مجهدة إلى إدارة رقمية ذكية تعتمد على التفاعل اللحظي بين الحقل والمستخدم (Elijah et al., 2018).

4 - الفرق بين الري التقليدي والري الذكي

1.4 الري التقليدي

يُعرف الري التقليدي بأنه النظام الذي يعتمد على تزويد المحاصيل بالمياه بناءً على طرق يدوية أو ميكانيكية بسيطة، حيث يتم توجيه المياه من المصدر إلى الحقل غالباً عبر الجاذبية أو بمساعدة مضخات دون وجود نظام تحكم دقيق.

في هذا النظام تكون الكفاءة المائية منخفضة بسبب فقدان كميات كبيرة من المياه عن طريق التبخر أو التسرب العميق في التربة، وغالباً ما يفتقر إلى القياسات العلمية لاحتياجات النبات اللحظية (Ahansal et al., 2022).

وبالرغم من التطور، فإن الري التقليدي وبكامل طرقه لا يزال يعتمد على القوى الفيزيائية للطبيعة مثل الجاذبية الأرضية لنقل المياه (Cetinkaya et al., 2019). وفيما يلي تفصيل لأبرز هذه الطرق والخصائص التقنية المرتبطة بكل منها:

1.1.4 الري السطحي

تعتبر أنظمة الري السطحي من أكثر الممارسات الزراعية انتشاراً عالمياً، حيث تعتمد في جوهرها التقني على استخدام الجاذبية الأرضية كقوة دافعة لتوزيع المياه فوق سطح الحقل، وهو ما يوضحه Walker (2003) في دليله الفني، مشيراً إلى أن هذه الأنظمة تعمل من خلال موازنة عمليات هيدروليكية معقدة تشمل معدلات الترشيح وسرعة تقدم المياه.

وتتنوع أشكال هذه الأنظمة لتشمل الري بالأحواض (Basin)، والري بالشرائح (Border)، والري بالأثلام (Furrow)، حيث يؤكد Skogerboe & Walker (1987) أن نجاح هذه الطرق يتوقف بشكل مباشر على دقة تسوية الأرض والتحكم في زمن قطع الإمداد المائي لتجنب الهدر (Ayaz et al., 2019).

1.1.1.4 الري بالغمر أو بالشرائح

تعتمد هذه الطريقة على تقسيم الأرض إلى شرائح طولية تفصل بينها حواجز ترابية منخفضة، حيث تتدفق المياه من أعلى المنحدر لتغطي كامل المساحة، بحيث تعمل الأرض على نقل المياه وتخزينها (Walker, 2003).

1.1.1.1.4 عيوب الري بالغمر

1. **انخفاض الكفاءة المائية وهدر الموارد:** تعد هذه الأنظمة من أكثر الوسائل استهلاكاً للمياه، إن كفاءة التطبيق الميداني فيها تتراوح بين 40 إلى 50% فقط.

   وهذا يعني ضياع نصف كميات المياه الموجهة للحقل تقريباً نتيجة التبخر والترشيح قبل أن يتمكن النبات من امتصاصها، مما يضع ضغطاً كبيراً على الموارد المائية المحدودة (Walker, 2003).

2. **ظاهرة الترشيح العميق (Deep Percolation):** نظراً لغياب أدوات التحكم اللحظي في تدفق المياه, يبرز التحدي الهندسي في تسرب المياه إلى أعماق بعيدة تتجاوز منطقة الجذور الفعالة.

   ويشير Walker (2003) في التوثيق التقني لنظام SIRMOD إلى أن هذا القصور لا يسبب ضياع المياه فحسب، بل يؤدي إلى تلوث الخزانات الجوفية بالأسمدة والمواد الكيميائية المنجرفة مع المياه المتسربة، مما يضر بالبيئة المحيطة.

3. **عدم تجانس توزيع المياه (Non-uniformity):** تعتمد هذه الطريقة على الجاذبية، مما يؤدي حتماً لتفاوت في مستويات الإرواء، حيث تشير الدراسات الكلاسيكية لـ (Skogerboe & Walker, 1987) إلى أن المناطق القريبة من مصدر الإمداد (رأس الحقل) تحصل على كميات فائضة تؤدي لاختناق الجذور، بينما تعاني المناطق البعيدة من نقص مائي، مما يسبب تفاوتاً غير مرغوب في نمو المحاصيل وجودة الإنتاج داخل الحقل الواحد.

2.1.1.1.4 آثار الري بالغمر

يؤدي الاستمرار في استخدام هذا النظام إلى آثار بيئية وكيميائية سلبية على التربة:

1. **إجهاد الأكسجين (Hypoxia):** يؤدي الغمر الكامل لمسامات التربة إلى طرد الهواء، مما يمنع الجذور من التنفس ويسبب تعفنها أو توقف نموها (Cetinkaya et al., 2019).

2. **تدهور كيمياء التربة:** يسبب التدفق العالي للمياه غسلاً جائراً للعناصر الغذائية (NPK) وتذبذباً في قيم الحموضة (pH)، مما يفقد التربة خصوبتها بمرور الزمن.

3. **تملح التربة (Soil Salinity):** مع التبخر السريع للمياه السطحية تحت أشعة الشمس، تترسب الأملاح في الطبقة السطحية، مما يؤدي إلى تدهور جودة الأرض وصعوبة زراعتها لاحقاً (Vallejo-Gomez et al., 2023).

4. **تأكل التربة:** تؤدي المياه الجارية بقوة إلى جرف التربة السطحية الغنية بالمواد العضوية، مما يغير من طبيعة الحقل الفيزيائية.



شكل 1.4: الري بالغمر

2.1.1.4 الري بالأحواض

يُعد الري بالأحواض (Basin Irrigation) نظاماً من أنظمة الري السطحي، يعتمد على تقسيم الحقل إلى مساحات مستوية تماماً محاطة بسواتر ترابية (أحواض) لمنع خروج المياه. يتم ملء هذه الأحواض بسرعة بكمية محددة من المياه، وتُترك لتترشح عمودياً في التربة حتى تصل إلى منطقة الجذور (Walker, 2003). يتميز هذا النظام بأن الأرض تعمل كخزان مؤقت للمياه، وتعتمد كفاءته كلياً على دقة استواء سطح التربة داخل الحوض.

1.2.1.1.4 عيوب وآثار الري بالأحواض

1. **الهدر الهيدروليكي وظاهرة "الترشيح العميق" (Deep Percolation):** تعتمد كفاءة الري بالأحواض على سرعة غمر الحوض بالماء؛ ففي حالة التدفق المنخفض، تأخذ المياه وقتاً طويلاً عند مدخل الحوض قبل وصولها إلى نهايته (Walker, 2003)، مما يسبب:
   - **ضياع المياه:** وذلك من خلال تسرب كميات هائلة خلف منطقة الجذور، مما يقلل الكفاءة الميدانية إلى ما تحت 50%.
   - **تلوث المياه الجوفية:** ينتج عن تسرب المياه التي تحمل معها الأسمدة الكيميائية والمبيدات، مما يؤدي إلى تلوث بيئي طويل الأمد (Skogerboe & Walker, 1987).
2. **تدهور بنية التربة واختناق الجذور (Aeration Stress):** غمر الأحواض يؤدي إلى آثار فيزيائية سلبية تتمثل في:
   - **إجهاد الأكسجين:** يؤدي نقص الهواء في مسامات التربة إلى قلة الأكسجين (Hypoxia)، مما يجعل النبات عرضة للأمراض ويتسبب في عدم تنفس الجذور أو امتصاص العناصر (Cetinkaya et al., 2019).
   - **انضغاط التربة:** الوزن الزائد للماء الساكن فوق التربة قد يؤدي إلى انضغاط المسامات السطحية وتكون "قشرة ملحية" أو طينية تمنع نفاذ الهواء لاحقاً.

3. التحديات الكيميائية (pH, EC, and Salinity):

- **تراكم الأملاح:** عندما تتبخر المياه الموجودة على السطح في الحوض، تتراكم الأملاح في الطبقة العلوية، مما يتطلب زيادة في "معدل غسل الأملاح"؛ أي إضافة المزيد من المياه، وهذا يزيد من استهلاك الموارد بشكل كبير (Walker, 2003).
- **غسل المغذيات:** عند غمر التربة بشكل مستمر، يتم غسل العناصر الغذائية الأساسية مثل النيتروجين بعيداً عن منطقة الجذور، مما يؤثر على التوازن الكيميائي للتربة وقيم الأس الهيدروجيني (pH) لها (Vallejo-Gomez et al., 2023).



شكل 2.4: الري بالاحواض

3.1.1.4 الري بالخطوط أو الأثلام

يُعد الري بالأثلام (Furrow Irrigation) أحد أنظمة الري السطحي، حيث يتم توجيه المياه عبر قنوات متوازية صغيرة (أثلام) تُشق بين صفوف المحاصيل. وبدلاً من غمر كامل سطح الحقل، تتدفق المياه في قاع الأثلام وتنتقل إلى منطقة الجذور جانبياً وعمودياً من خلال الخاصية الشعرية وقوى الامتصاص في التربة (Walker, 2003). وفي هذا النظام، تُستخدم المساحة السطحية للأثلام كمستودع مؤقت لنقل المياه وتوزيعها عبر الحقل.

1.3.1.1.4 عيوب وآثار الري بالخطوط والأثلام

1. **عدم تجانس الرطوبة:** تمتص التربة عند بداية الأثلام (مدخل الثلم) كميات من المياه أكبر بكثير مما تمتصه عند نهايتها، مما يؤدي إلى عدم تجانس في نمو المحاصيل (Walker & Skogerboe, 1987).
2. **صعوبة التحكم في "زمن القطع":** من الصعب يدوياً تحديد اللحظة الدقيقة لقطع إمدادات المياه (زمن القطع)، بحيث تصل المياه إلى نهاية الثلم دون حدوث فواقد كبيرة في صورة جريان سطحي عند النهاية (Tailwater runoff).
3. **كثافة العمالة:** يتطلب هذا النظام مراقبة مستمرة لتوزيع التدفق بين الأثلام لضمان عدم انسداد بعضها أو فيضانها.

يؤثر الري بالأثلام على الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة بالشكل التالي:

- **ترسب الأملاح على "أكتاف" الأثلام:** وفقاً لـ Walker (2003)، تتحرك المياه جانبياً من الثلم إلى منطقة نمو النبات حاملة الأملاح الذائبة، والتي تترسب على قمة الخطوط (أكتاف الأثلام) بعد تبخر المياه، مما يرفع قيم الموصلية الكهربائية (EC) ويضر ببادرات النبات.
- **غسل المغذيات والنيتروجين:** يؤدي التدفق المستمر للمياه في قاع الثلم إلى غسل الأسمدة الكيميائية (Leaching) بعيداً عن منطقة الجذور، مما يغير من قيم pH التربة ويقلل من كفاءة التسميد.
- **انضغاط مسامات القاع:** الجريان المستمر للمياه في قاع الأثلام قد يؤدي لتكون طبقة طينية صماء (Sealing) تمنع نفاذ الماء والهواء لاحقاً، وهو ما يشار إليه في دراسة (Çetinkaya et al., 2019) كأثر سلبي على صحة التربة.



شكل 3.4: الري بالخطوط و الاثلام

2.4 الري المجدول يدوياً وزمنياً

تُعد طرق الري المجدول يدوياً وزمنياً بمثابة مرحلة انتقالية بين الري التقليدي العشوائي والري الذكي القائم على الحساسات. تكمن مشكلتها الأساسية في أنها تعتمد على "التخمين" أو "التثبيت" (Fixed Scheduling) دون مراعاة لاحتياجات النبات الحقيقية المتغيرة.

1.2.4 الري المعتمد على المؤقتات الثابتة

يعتمد هذا النوع من الري على المؤقتات التي تتحكم في فتح وإغلاق الصمامات وفقاً لجدول زمني ثابت، وتتمثل آليته وقصوره في الآتي:

- **الآلية والقصور:** يتم ضبط الري ليعمل في أوقات محددة وبمدد زمنية ثابتة، ويصف Walker (2003) في دليل SIRMOD هذا النوع من الإدارة بأنه يفتقر للمرونة تجاه التغيرات الطوبوغرافية والبيئية.
- **تجاهل معادلة البخر-نتح:** تكمن المشكلة الأكبر في تجاهل المتغيرات المناخية مثل درجة الحرارة، الرطوبة، وسرعة الرياح؛ حيث يؤكد المرجع الأساسي لمنظمة الفاو (Allen et al., 1998) أن احتياجات النبات المائية تتغير يومياً بناءً على مؤشر البخر-نتح (Evapotranspiration).
- **عواقب الري المجدول زمنياً:** قد يتسبب الري المجدول زمنياً في بلل التربة في الأيام الماطرة أو الباردة، مما يؤدي إلى هدر المياه وظهور فطريات الجذور.

2.2.4 الري المعتمد على التقدير البصري

يعتمد هذا النوع من الري على "حواس المزارع" لتقدير احتياجات التربة، وهو أسلوب يفتقر إلى الدقة العلمية للأسباب التالية:

- **خداع جفاف السطح:** يُعد هذا التقدير مضللاً من الناحية الهندسية؛ حيث يشير (Vallejo-Gomez et al., 2023) إلى أن سطح التربة قد يبدو جافاً تماماً نتيجة تأثير الرياح أو الحرارة المباشرة، بينما لا تزال منطقة الجذور الفعالة (Root Zone) تحتفظ برطوبة كافية للنمو.
- **الخطأ في كمية الإضافة:** يؤدي الاعتماد على النظر إما إلى الري الناقص الذي يجهد النبات، أو الري الزائد الذي يسبب غسل الأملاح والمغذيات بعيداً عن منطقة الجذور، مما يغير من قيم الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية (EC) للتربة بشكل غير محسوب، ويؤثر سلباً على التوازن الكيميائي والفيزيائي للوسط الزراعي.

3.4 الري بالرش والتقطير

يُعد الري بالرش والتقطير من أنظمة الري الحديثة المضغوطة (Pressurized Irrigation) التي تعتمد على ضخ المياه عبر شبكة من الأنابيب تحت ضغط معين، وهي تمثل القفزة التقنية التي سبقت عصر الري الذكي (Walker, 2003). تُعتبر هذه الأنظمة هجينة؛ فهي متطورة من الناحية الميكانيكية (أنابيب ومضخات)، ولكنها بدائية من الناحية الإدارية والتشغيلية (Manual Management)، حيث تفتقر للقدرة على الاستجابة اللحظية لمتغيرات التربة (Ayaz et al., 2019).

يؤدي الاعتماد على الإدارة اليدوية في هذه الأنظمة المتطورة ميكانيكياً إلى هدر مائي كبير نتيجة تجاهل التغيرات اليومية في معدلات البخر-نتح (Allen et al., 1998). كما أن غياب الحساسات يجعلها عاجزة عن مراقبة التوازنات الكيميائية الحرجة مثل الموصلية الكهربائية (EC) والحموضة (pH)، مما قد يسبب تدهوراً صامتاً لخصوبة التربة بمرور الوقت (Vallejo-Gomez et al., 2023).

- **القصور في الاستجابة:** رغم دقة توزيع المياه في الري بالتنقيط، إلا أن الإدارة اليدوية لا تستطيع التكيف مع التغيرات السريعة في رطوبة التربة الناتجة عن التقلبات المناخية.
- **التدهور الكيميائي الصامت:** تراكم الأملاح وتغير قيم pH بسبب عدم دقة مواقيت الري يؤثر على "منطقة الجذور" بشكل تراكمي، وهو ما لا يمكن اكتشافه بالعين المجردة حتى يصل إلى مرحلة التأثير على إنتاجية المحصول.

1.3.4 الري بالرش

يُعد الري بالرش (Sprinkler Irrigation) نظاماً لتوزيع مياه الري يحاكي هطول الأمطار الطبيعي؛ حيث يتم ضخ المياه تحت ضغط معين من خلال شبكة من الأنابيب، ثم رشها في الهواء عبر فوهات (رشاشات) بحيث تتفتت إلى قطرات صغيرة تسقط على سطح التربة، مما يتيح تغطية مساحات واسعة بانتظام (Murty, 2002).

1.1.3.4 عيوبه

تواجه أنظمة الري بالرش تحديات تقنية وبيئية جوهرية تؤثر على كفاءتها التشغيلية وصحة التربة:

- **الفواقد المناخية:** تتسبب الحرارة وسرعة الرياح في تبخر جزء كبير من المياه في الهواء قبل وصولها إلى سطح التربة، مما يقلل من كفاءة الري (Allen et al., 1998).
- **عدم تجانس التوزيع:** تؤدي الرياح إلى توزيع غير متكافئ للمياه، مما يجعل بعض مناطق الحقل رطبة بشكل زائد بينما تعاني مناطق أخرى من الجفاف (Murty, 2002).
- **تكون القشرة السطحية:** يؤدي اصطدام قطرات الماء بقوة على سطح التربة إلى تفتيت حبيباتها وتكون "قشرة صلبة" تمنع نفاذ الهواء، مما يؤدي إلى إجهاد الجذور (Çetinkaya et al., 2019).
- **متطلبات الطاقة العالية:** يحتاج هذا النظام إلى ضغط تشغيلي يتراوح بين (5.1 - 4 بار)، مما يرفع تكاليف الطاقة بشكل كبير (Murty, 2002).
- **مشاكل الانسداد:** تتطلب الفوهات (الرشاشات) صيانة ومراقبة مستمرة بسبب تراكم الترسبات الملحية والشوائب التي تعيق التدفق (Walker, 2003).
- **تلف الأسمدة والمبيدات:** الرش العلوي يؤدي إلى غسل الأوراق والأشجار، مما يقلل من كفاءة الأسمدة والمبيدات المطبقة (Vallejo-Gómez et al., 2023).
- **نمو الفطريات:** تبلل أوراق النبات لفترات طويلة يخلق بيئة مثالية لنمو الأمراض الفطرية (Murty, 2002).

2.3.4 الري التقطير

يُعد الري بالتنقيط (Drip Irrigation) نظاماً رياً مضغوطاً يقوم بتوزيع المياه ببطء وبشكل متكرر مباشرة فوق أو تحت سطح التربة عند منطقة جذور النبات. يتم ذلك عبر شبكة من الأنابيب



شكل 4.4: الري بالرش

تنتهي بفتحات دقيقة تسمى "النقاطات" (Emitters)، والتي تخرج منها المياه على شكل قطرات متتابعة.

1.2.3.4 عيوبه

تعد مشكلة الانسداد هي اكبر مشكل لهذا النظام فرواسب تساهم in سد النقاطات بسهولة تاما مما يتطلب الصيانة واستعمال نظام الفلترة باستمرار (Walker, 2003). - تكلفة مرتفعة فنظام يتطلب شراء نقاطات وانابيب و فلاتر ومضخات فهو مكلف مقارنة بالانظمة اخرى - الري زائد غير مرئي قد يترك مزارع نظام يعمل لفترات طويلة مما يسبب غسل الاسمدة فهدا يتسبب في تغير في قيم ec و ph دون ان يلاحظ (Vallejo-Gómez et al., 2023)



شكل 5.4: الري بالتقطير

4.4 المقارنة بينهما

الفرق بين الري التقليدي والري الذكي

وجه المقارنة	الري الذكي (Smart/IoT)	الري التقليدي (Traditional)
أسلوب التحكم	نظام مؤتمت يعتمد على التغذية الراجعة من المستشعرات.	يدوي أو ميكانيكي يعتمد على الحدس البشري.
كفاءة استخدام المياه	توفير دقيق للمياه حسب حاجة النبات، مما يقلل الهدر بنسبة كبيرة.	انخفاض الكفاءة بسبب السقي الزائد والتبخر السطحي.
مراقبة التربة	مراقبة مستمرة لخصائص التربة لضمان بيئة نمو مثالية.	غياب المراقبة الكيميائية والفيزيائية اللحظية (pH, EC).
القوى العاملة	تقليل الاعتماد على العنصر البشري بنسبة تصل إلى 80%.	الحاجة الدائمة لمراقبة الحقل وفتح الصمامات.
إدارة البيانات	تخزين سحابي (Cloud) وتحليل للبيانات عبر تطبيقات ذكية.	لا توجد سجلات تاريخية لنمو المحصول أو استهلاك الماء.
الاستدامة والبيئة	حماية الموارد الطبيعية وتقليل الأسمدة الكيماوية.	خطر تملح التربة وتلوث المياه الجوفية بالأسمدة الزائدة.

جدول 1.4: مقارنة بين نظام الري الذكي والري التقليدي

يُعد الري الذكي ابتكاراً حديثاً في إدارة الموارد المائية مقارنة بالري التقليدي، إذ يعتمد على استخدام تقنيات "إنترنت الأشياء" (IoT) وأجهزة الاستشعار والأنظمة الآلية لمتابعة رطوبة التربة والظروف المناخية بصورة فورية (Ali, 2009; Hassanli et al., 2010)، مما يتيح تحديد الكميات المطلوبة من المياه في الوقت المناسب بدلاً من الاعتماد على الخبرة البشرية أو الجداول الزمنية الثابتة. يساهم الري الذكي في تحسين إنتاجية المحاصيل وتقليل استهلاك المياه والطاقة والأسمدة، فضلاً عن الحد من تدهور التربة (Phocaides, 2007). بينما يتميز الري التقليدي بسهولة التطبيق وانخفاض تكلفته الأولية، لكنه يعاني من نقص الكفاءة والاستدامة، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد المائية (FAO, 2007). وعليه، فإن الانتقال إلى أنظمة الري الذكي يمثل توجهاً استراتيجياً لتحقيق الزراعة المستدامة.

يتضح من المقارنة أن الري الذكي يمثل حلاً أكثر كفاءة واستدامة من الري التقليدي، بفضل اعتماده على التقنيات الحديثة التي تساهم في ترشيد استهلاك المياه وتحسين مردودية الإنتاج الزراعي (Hassanli et al., 2010). ورغم أن الري التقليدي لا يزال مستخدماً بسبب بساطته وانخفاض تكلفته، إلا أن التحديات المرتبطة بندرة المياه والتغيرات المناخية تجعل من تبني أنظمة الري الذكي ضرورة مستقبلية لتحقيق تنمية زراعية مستدامة (FAO, 2007).

5.4 خاتمة الفصل

تناول هذا الفصل الجوانب النظرية التي يقوم عليها مشروع نظام الري الذكي المعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء، حيث تم عرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بالزراعة الذكية، وإنترنت الأشياء، وأهم خصائص التربة المؤثرة في نمو النباتات، والمتمثلة في الرطوبة، ودرجة الحموضة ،(pH) والموصلية الكهربائية ،(EC) والعناصر الغذائية الكبرى .(NPK) كما تم التطرق إلى مختلف أنظمة الري التقليدية والحديثة، مع إبراز مزايا أنظمة الري الذكية ودورها في ترشيد استهلاك المياه وتحسين كفاءة الإنتاج الزراعي.

كما تم استعراض مكونات النظام المقترح وأهدافه التقنية والاقتصادية والبيئية، مع توضيح الدور الذي تؤديه كل وحدة في تحقيق نظام متكامل قادر على مراقبة خصائص التربة واتخاذ قرارات الري بصورة آلية. وتشكل هذه الدراسة النظرية الأساس العلمي الذي يعتمد عليه الجانب التطبيقي، والذي سيتم التطرق إليه في الفصل الموالي من خلال عرض مراحل تصميم وإنجاز النظام المقترح وآلية عمله.

الفصل الثاني

تصميم و انجاز نظام الري الذكي

5 - تصميم النظام ومكوناته

1.5 تقديم الجهاز

يعد هذا الجهاز نظام ري ذكيًا صُمم للمساهمة في حل مشكلة الاستهلاك المفرط للمياه في المجال الزراعي. تتمثل وظيفته الأساسية في مراقبة حالة التربة باستمرار وتزويد النبات بالكمية المناسبة من المياه عند الحاجة ، وبالتالي نتفادي هدر الماء او تقليله في حالة الحاجة عند النبات. كما يعتمد على مجموعة من المستشعرات التي تقيس خصائص التربة ، ثم يقوم بمعالجة هذه البيانات واتخاذ قرار تشغيل أو إيقاف الري تلقائيًا. وعليه يقوم بتحسين ظروف نمو النبات، وزيادة مردوديته ، كما يقلل الجهد البشري اللازم لمتابعة عملية الري. ويعد هذا النوع من الأنظمة أحد تطبيقات الزراعة الذكية التي تهدف إلى تحقيق إنتاج زراعي أكثر كفاءة واستدامة من خلال الاستخدام الأمثل للمياه والتقنيات الحديثة. Pérez-Blanco, C. D., et al. (2023)

2.5 الاهداف

1.2.5 الهدف العام من المشروع

جاءت فكرة هذا المشروع بحيث نريد تطوير الطرق القديمة للري ونعطاها لمسة حديثة لكي تكون أكثر ذكاء وفعالية.

هذا لأننا نواجه تحديات كبيرة بسبب نقص المياه واستخدامها بشكل سيئ في الزراعة.

النظم التقليدية للري ليس لديها دقة كافية لتقدير احتياجات النباتات، مما يؤدي إلى إهدار المياه أو عدم توفرها بكمية كافية، وبالتالي تأثير سلبي على جودة المحاصيل وطريقة إنتاجها.

لذا، ونتيجة لهذه المشكلة، قمنا باقتراح نظام ري ذكي. هذا النظام سوف يستخدم حساسات لقياس رطوبة التربة ودرجة الحرارة وملوحتها، وبهذا سوف نحصل على معلومات دقيقة حول حالة التربة في الوقت الحالي.

بعد ذلك، سوف نمرر هذه المعلومات إلى متحكم دقيق ليقرر تلقائيًا متى يجب تشغيل أو إيقاف

نظام الري، مع التأكد من توفير المياه بكمية مناسبة للنبات. الهدف من هذا المشروع هو تحسين كيفية استخدام المياه، وتقليل الجهد الذي يقوم به البشر، ورفع جودة الإنتاج الزراعي. كما يهدف إلى دعم التحول نحو زراعة ذكية ومستدامة باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء .Prakash, S. S., Usha, R. Karuppiah, N., Saravanan, S., Kalaiyarasi, M., & Karunanithi, K. (2025).

2.2.5 الأهداف التقنية

تركز هذه الدراسة على تطوير نظام ري ذكي يستخدم متحكم ESP32 وتقنيات إنترنت الأشياء.

يعتمد النظام على مجموعة من الحساسات التي تراقب رطوبة وملوحة التربة، إضافة إلى قياس درجة حرارة ورطوبة الهواء بشكل فوري (2021) .Ullah, F., et al .

الهدف هو جعل عملية الري تلقائية باستخدام خوارزميات ذكية، مع توفير اتصال لاسلكي يتيح متابعة النظام والتحكم فيه عن بُعد بسهولة.

كما يسعى المشروع إلى إنشاء نظام مدمج يكون فعالًا في استهلاك الطاقة، قادرًا على جمع البيانات وعرضها في الوقت الحقيقي، مع إمكانية تطويره وتوسيعه ليخدم تطبيقات الزراعة الحديثة وتحسين استغلال المياه. (2025) .Chang, Y. H., Wu, F. C., & Lin, H. W

3.2.5 الأهداف الاقتصادية

يركز المشروع على تقليل استهلاك المياه من خلال نظام ري ذكي يروّي النباتات بناءً على احتياجاتها الحقيقية، مما يقلل من الهدر ويزيد من كفاءة استخدام المياه.

كما يهدف إلى خفض تكاليف التشغيل والصيانة مقارنة بأنظمة الري التقليدية، بفضل أتمتة الري وتقليل الحاجة لتدخل الإنسان المستمر.

بالإضافة إلى ذلك، يستخدم هذا الأخير مكونات إلكترونية منخفضة التكلفة ومتوفرة بسهولة، ليكون حلاً اقتصادياً يناسب المزارعين وأصحاب المشاريع الزراعية، ويساعد على زيادة الإنتاج وتحسين العائد المالي على المدى الطويل. .ATO (2026)

4.2.5 الأهداف البيئية

يركز المشروع على حماية البيئة من خلال إدارة مستدامة للمياه، حيث يضمن استخدام الماء بشكل رشيد وبكميات مناسبة حسب حاجات التربة والمحاصيل.

يساعد النظام في تقليل الهدر الناتج عن الري الزائد أو غير المنتظم، وهو تحدٍ كبير في الزراعة، خصوصاً في المناطق التي تعاني من قلة المياه.

كما يحرص على الحفاظ على جودة التربة بمراقبة رطوبتها وملوحتها، مما يقلل من خطر تملح التربة وتدهور خصوبتها بسبب سوء الري.

بالإضافة إلى ذلك، يدعم المشروع الزراعة الذكية والمستدامة بتحسين استغلال الموارد الطبيعية وتقليل الأثر البيئي الناتج عن الإفراط في استخدام المياه والطاقة، مما يساهم في حماية البيئة وضمان استدامة الإنتاج الزراعي للأجيال القادمة ,.H. Rhee, & E., Ngaiza (2025) .

5.2.5 الأهداف الوظيفية

• ومراقبة رطوبة التربة بشكل مستمر. • قياس درجة الحرارة والرطوبة البيئية. • جمع البيانات وعرضها في الزمن الحقيقي. • التحكم الآلي واليدوي في عملية الري.

وصف مكونات نظام الري الذكي

6.2.5 لوحة ESP32

في هذا المشروع، يُعدّ معالج ESP32 الوحدة الرئيسية للنظام، حيث يعمل كعقل متحكم مسؤول عن جمع البيانات ومعالجتها واتخاذ القرارات المناسبة.

ويتصل المعالج بشبكة Wi-Fi لتمكين التواصل مع منصة Arduino Cloud، مما يسمح بمراقبة النظام والتحكم فيه عن بُعد.

يقوم معالج ESP32 باستقبال البيانات من مختلف المستشعرات وتحليلها بشكل مستمر، ثم يقارن القيم المقاسة بالحدود المحددة مسبقاً.

وعند انخفاض مستوى رطوبة التربة عن القيمة المطلوبة، يُفعّل المعالج مرحل (Relay) للتحكم في تشغيل مضخة الري، مما يضمن توفير الكمية المناسبة من المياه للنباتات.

وعند الوصول إلى مستوى الرطوبة المطلوب، يتم إيقاف المضخة تلقائياً لتجنب الهدر في استهلاك المياه.. ,M. Nesterenko, O., Sytnyk, O., Drozd (2025)

Attribute	Specifications
CPU	CPU Dual Core Tensilica Xtensa LX6 (32 Bit)
Operating voltage	3.3 V - 5 V
Input / Output	30 pin GPIO/ADC/DAC/PWM/SPI/I2C
Wi-Fi	802.11 b/g/n/e/i (2.4 GHz)
Bluetooth	4.2 (BLE)

جدول 1.5: الخصائص والمواصفات التقنية للوحة التطوير V1 DevKit ESP32



شكل 1.5: لوحة ESP32

7.2.5 لماذا نختار ESP32

لقد أردنا الاستعانة بمتحكم ESP32 ضمن هذا المشروع لكونه يتمتع بقدرة ممتازة على توفير مستوى عالٍ من الأداء، والاتصال، والمرونة التي تعتبر مناسبة جداً لمثل هذه التطبيقات الذكية.

إن متحكم ESP32 يتضمن اتصال Wi-Fi وBluetooth مما يمكن هذا المتحكم من نقل بيانات المعلومات في الوقت الحقيقي إلى المنصات السحابية دون الحاجة إلى أي ملحقات أخرى.

وعندما يتعلق الأمر بمعالجة البيانات، يتفوق هذا المتحكم عن المتحكمات التقليدية كالمحركات Arduino Uno نتيجة لوجود المعالج الثنائي النواة وبقدرة 32 bit بالإضافة إلى رفع سرعة التردد.

بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام المتحكم ESP32 يوفر لنا قدرة كبيرة في تغطية ذاكرة الوصول العشوائي، وهذا يعني أن هذا المتحكم قادر على التعامل مع العديد من المستشعرات في آن واحد مع الاتصال السحابي.

وإلى جانب ذلك، فإن هذا المتحكم يستطيع التواصل بسهولة مع العديد من البروتوكولات من خلال واجهة UART، وI2C وSPI مما يعني توافر تفاعل مع العديد من المستشعرات، منها المستشعرات المتعددة لتربة باستخدام البروتوكول RS485.

8.2.5 حساس التربة متعدد الوظائف

حساس التربة 7-in-1 هو جهاز زراعي متعدد الوظائف يُستخدم لمراقبة أهم خصائص التربة في الأنظمة الزراعية الحديثة.

يقوم هذا الحساس بقياس رطوبة التربة، ودرجة الحرارة، والتوصيل الكهربائي (EC)، ومستوى الحموضة (pH)، بالإضافة إلى العناصر الغذائية الأساسية مثل النيتروجين (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K).

يتميز هذا نوع من الحساسات بقدرته على تحسين إدارة التربة واتخاذ قرارات دقيقة في الري والتسميد، مما يساهم في رفع جودة المحاصيل وزيادة الإنتاجية.

كما أنه مصمم بمواد قوية ومقاومة للماء وفق معيار IP68، مع مجسات مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ لضمان العمل في الظروف الزراعية القاسية .(FAO) (2021).



شكل 2.5: حساس التربة

9.2.5 المرحل (Relay)

يوضح الجدول والمواصفات خصائص مرحل (Relay) أحادي القناة، والذي يتيح التحكم في الأجهزة ذات القدرة العالية مثل المحركات أو مضخات المياه باستخدام إشارة منخفضة الجهد صادرة من متحكم دقيق مثل ESP32.

عند استقبال طرف الإدخال (IN) لإشارة تحكم ، يقوم المرحل بتغيير حالته مما يسمح بمرور التيار بين الطرفين COM و (Normally Open) NO.

وعند انقطاع الإشارة، يتم فصل الدائرة الكهربائية والعودة إلى الحالة الطبيعية عبر الطرف NC (Normally Closed).

يُستخدم هذا النوع من المرحلات بشكل واسع في أتمتة العمليات، مثل تشغيل وإيقاف الأجهزة تلقائيًا في أنظمة الري الذكية . ,Abdelkhalek A., et al. (2021)

Attribute	Specifications
Operating voltage	5 V DC
Maximum current	10 A (NO), 5 A (NC)
Maximum load current	10 A at 250 VAC / 15 A at 125 VAC
Connection pins	Vcc, Gnd, In, NO, Com, NC

جدول 2.5: المواصفات التقنية للمرحل



شكل 3.5: المرحل

10.2.5 مضخة المياه

يبرز الجدول والرسم التوضيحي خصائص مضخة المياه، وهي عبارة عن مضخة تستخدم محركًا كهربائيًا يقوم بتحريك مروحة داخلية (Impeller) تؤدي دور الدفع للمياه التي تدخل من فتحة مضخة إلى فتحة ضغط، وبالتالي تمكن من رفعها حتى ارتفاع 3 أمتار.

كما يمكن لهذه المضخة إمكانية تحويل كمية تتراوح بين 240 لتر في الساعة، وبالتالي تكون مناسبة لاستخداماتها كأنظمة للري، وإعادة دورة المياه، الحاضنات المائية، أو تنقيتها، وذلك حسب الحاجة .

وبفضل أنها ذات ضوضاء منخفضة أقل من 40 ديسيبل، ولها قدرة على العمل في السوائل التي قد تتخطى حرارتها 60 درجة مئوية، لذلك تُعد هذه المضخة من أكثر المضخات كفاءةً وملاءمةً للاستخدام في أنظمة الري الذكية، نظراً لاستهلاكها المنخفض للطاقة، وأدائها المستقر، وعمرها الافتراضي الطويل . (Hassan, M. R. et al. (2024

Attribute	Specifications
Operating voltage	6 V
Noise level	اقل من 40 dB
Fluid temperature	0 °C to 60 °C
Working Liquid	Water, oil, gasoline

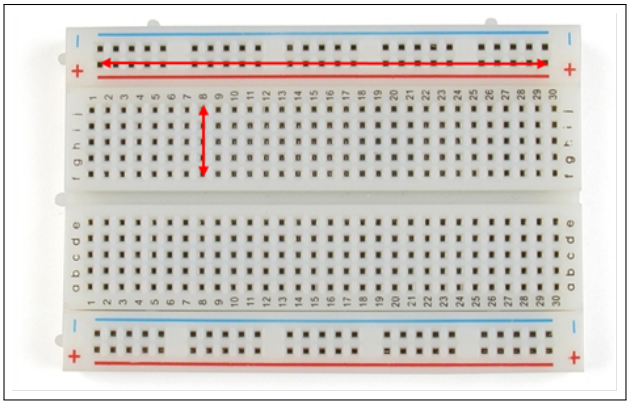
جدول 3.5: المواصفات التقنية لمضخة المياه



شكل 4.5: مضخة المياه

11.2.5 لوحة التجارب (Breadboard)

Breadboard هي لوحة إلكترونية تعليمية تُستخدم لبناء النماذج الأولية (Prototyping) للدوائر الكهربائية الإلكترونية دون الحاجة إلى عملية اللحام، حيث تحتوي على شبكة من الفتحات الموصولة داخلياً بطريقة منظمة تسمح بتركيب المكونات وتوصيلها مؤقتاً من أجل الاختبار والتعديل بسهولة قبل التنفيذ النهائي. Integrated. Maxim (2026).



شكل 5.5: لوحة التجارب

12.2.5 مزود الطاقة (External Power Supply)

وحدة أو مصدر طاقة مستقل يُستخدم لتزويد الدوائر الإلكترونية أو الأنظمة الكهربائية بجهد وتيار مناسبين من خارج اللوحة الرئيسية (مثل Arduino أو ESP32)، وذلك لضمان تشغيل مستقر خاصة عند الحاجة إلى تيار أعلى من قدرة المتحكم. S. Monk, & P., Scherz, (2016)



شكل 6.5: مزود الطاقة

13.2.5 وحدة الاتصال MAX485

تُعد وحدة MAX485 إحدى وحدات الاتصال المستخدمة لتحويل إشارات الاتصال التسلسلي وفق معيار RS485 إلى إشارات TTL المتوافقة مع المتحكمات الدقيقة مثل ESP32 وArduino.

وتتميز هذه الوحدة بقدرتها على دعم نقل البيانات لمسافات طويلة مع توفير مقاومة عالية للتشويش الكهرومغناطيسي، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الصناعية والزراعية التي تتطلب اتصالاً مستقراً وموثوقاً.

في هذا المشروع، استُخدمت وحدة MAX485 كواجهة اتصال بين مستشعر التربة متعدد الوظائف 7 في 1 العامل ببروتوكول RS485 ومتحكم ESP32، حيث تتولى عملية تحويل الإشارات وتبادل البيانات بين الطرفين، مما يضمن قراءة دقيقة لمختلف معطيات التربة ونقلها بكفاءة إلى وحدة المعالجة المركزية للنظام. Texas Instruments. (2011)

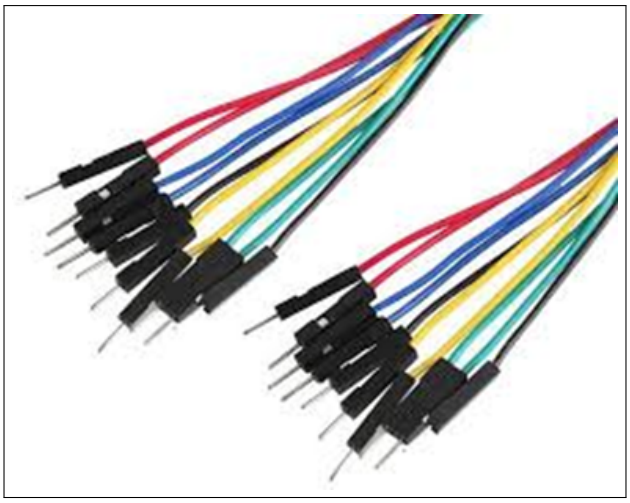


شكل 7.5: وحدة الاتصال MAX485

14.2.5 أسلاك التوصيل

أسلاك التوصيل هي أسلاك كهربائية صغيرة تُستخدم لربط المكونات الإلكترونية ببعضها داخل الدوائر الكهربائية أو الإلكترونية، مثل ربط الحساسات (Sensors) بوحدات التحكم الدقيقة مثل ESP32 أو Arduino.

تسمح هذه الأسلاك بمرور الإشارات الكهربائية أو الطاقة بين العناصر المختلفة في الدائرة، وتكون عادةً معزولة بطبقة بلاستيكية لحماية السلك من التلامس أو القصر الكهربائي . Texas Instruments. (2011)



شكل 8.5: اسلاك التوصيل

15.2.5 وحدة GSM SIM

وحدة GSM SIM هي أداة اتصال خلوي تسمح للأنظمة المدمجة وأجهزة إنترنت الأشياء بالاتصال بشبكات الهاتف المحمول لنقل البيانات بشكل لاسلكي.

تدعم الوحدات مثل SIM800L وSIM7600G تقنيات خلويّة متنوعة، ممّا يتيح لنقاط الاستشعار تبادل البيانات من خلال شبكات GSM أو GPRS أو LTE، دون الحاجة إلى شبكات Wi-Fi المحلية.

وتقدم هذه الوحدات تغطية واسعة، الأمر الذي يجعلها مثالية لتطبيقات مثل المراقبة عن بعد، والتحكم، والأنظمة اللامركزية لإنترنت الأشياء. Foundation، Pi Raspberry (2026)



شكل 9.5: وحدة SIM GSM

Raspberry Pi 16.2.5

الـ Raspberry Pi هو حاسوب صغير جدًا، وهو مناسب جداً لمشاريعنا التعليمية والأنظمة الصغيرة في الأجهزة.

لقد تم تطويره من قبل مؤسسة Raspberry Pi. يعتبر هذا الحاسوب الصغير خياراً رائعاً لاستخدامه في مشاريعنا التعليمية وإنترنت الأشياء.

الـ Raspberry Pi يتميز بعدة خصائص، فهو حاسوب صغير الحجم، ويعمل باستعمال طاقة منخفض، ويستطيع تشغيل نظام تشغيل مثل Raspberry Pi OS.

كما أنه يدعم الاتصال بالإنترنت عبر Wi-Fi وBluetooth، بالإضافة إلى ذلك يمكننا ربط الحساسات والأجهزة الخارجية به عن طريق منافذ GPIO . ,C. Pérez-Blanco, D. et al. (2023)



شكل 10.5: لوحة Pi Raspberry

3.5 مبدا عمل الجهاز

في البداية، يتم جمع البيانات من خلال مستشعر التربة 7-in-1 الذي يقيس عدة خصائص مهمة مثل رطوبة التربة، درجة الحرارة، التوصيل الكهربائي (EC)، ودرجة الحموضة (pH)، وهذا يعطينا فكرة شاملة عن حالة التربة.

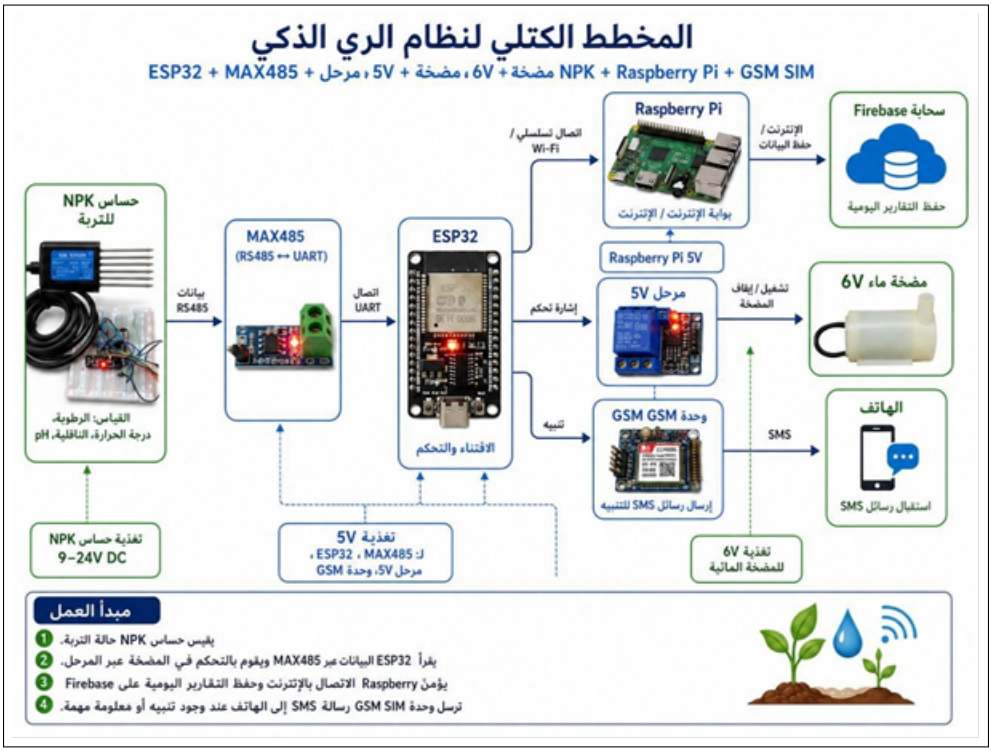
بعد ذلك، تصل هذه البيانات إلى المتحكم ESP32 الذي يعتبر العقل الرئيسي للنظام، حيث يقوم بقراءة القيم وتحليلها واتخاذ القرار المناسب بخصوص تشغيل أو إيقاف الري.

ويتم نقل بيانات المستشعر إلى ESP32 عبر وحدة MAX485 التي تقوم بتحويل الإشارات بين RS485 وTTL.

عندما يحتاج النبات إلى الماء، يقوم ESP32 بتفعيل وحدة الريليه (Relay Module) التي بدورها تشغل مضخة المياه، وفي حالة وصول التربة إلى المستوى المناسب يتم إيقافها بشكل تلقائي.

كما يتم إرسال البيانات إلى Raspberry Pi الذي يقوم بحفظها ومعالجتها ومتابعة حالة النظام بشكل عام، مما يسمح بمراقبة أفضل للأداء وتحليل النتائج.

بالإضافة إلى ذلك، توجد وحدة GSM التي تسمح بإرسال تنبيهات أو معلومات للمستخدم عن بعد عبر شبكة الهاتف، خصوصاً في حال حدوث تغييرات مهمة في حالة التربة أو تشغيل المضخة. وأخيراً، يتم الاعتماد على مصدر طاقة خارجي لتشغيل جميع مكونات النظام بشكل مستقر، مما يضمن أن العملية كاملة تعمل بشكل تلقائي وبدون تدخل يدوي.



شكل 11.5: المخطط الكتلي لنظام الري الذكي

6 - تصميم وإنجاز التطبيق الذكي

1.6 تقديم التطبيق

مع التطور المتسارع الذي تشهده الزراعة الذكية والمستدامة (Agriculture 4.0)، لم تعد إدارة المياه مجرد جداول زمنية صامتة، بل تحولت إلى منظومة تفاعلية تقودها المؤشرات الحية للتربة.

ومن هنا، يأتي دور هذا التطبيق الذكي ليكون عصب المشروع وواجهة التحكم المركزية التي تربط المستخدم بكل تفاصيل الحقل وأجهزته الفيزيائية.يعمل التطبيق كمنصة رصد متكاملة تتابع المؤشرات في الوقت الفعلي؛ فهو يستقبل القراءات الديناميكية القادمة من مستشعرات الحقل —مثل مستويات الرطوبة، والرقم الهيدروجيني (pH)، والتوصيل الكهربائي (EC)— ثم يترجمها على شاشة الهاتف في شكل واجهات رسومية (GUI) مبسطة وسهلة الفهم (Barkunan et al., 2019).

بناءً على هذه البيانات، يمنح التطبيق المستخدم خيارين للتحكم (Kodali & Sahu, 2016):

1. الوضع التلقائي (Automatic Mode): وفيه يتخذ النظام القرار بالكامل بناءً على خوارزميات مبرمجة مسبقاً، حيث يتم تشغيل مضخة المياه أو إيقافها فور تخطي القراءات للحدود الحرجة المسموح بها (Barkunan et al., 2019).

2. الوضع اليدوي (Manual Mode): ويمنح المستخدم كامل الصلاحية للتدخل الفوري والتحكم بالمضخة بضغطة زر واحدة، وذلك بفضل الاعتماد على برتوكولات اتصال خفيفة وسريعة الاستجابة مثل MQTT و HTTP (Kodali & Sahu, 2016).

ولا تقف مهمة التطبيق عند حدود اللحظة الحالية؛ بل يضم نظاماً متكاملاً لحفظ وتخزين البيانات (Data Logging) سحابياً أو محلياً (Ferrández-Pastor et al., 2018).

هذه الأرشفة المستمرة لسجلات الري وقراءات التربة تتيح للتطبيق إجراء تحليلات إحصائية متقدمة وعرضها في مخططات زمنية واضحة (Goap et al., 2018).

من خلال هذا السجل التاريخي، لن يتمكن المزارع من فهم سلوك تربته ومعدلات استهلاكه للمياه على المدى الطويل فحسب، بل يضع بيده النواة الأساسية لبناء نماذج تنبؤية مستقبلية تضمن استدامة المحصول وترشيد الموارد بشكل غير مسبوق (Goap et al., 2018)، مدعومة بنظام تنبيهات

ذكي (Smart Notifications) يتدخل فوراً لإخطاره بأي هبوط مفاجئ في المؤشرات أو أي خلل طارئ في عمل المضخة.

2.6 أهداف التطبيق

تتمحور الأهداف الأساسية لتطوير هذا التطبيق الذكي حول تقديم حل برمجي متكامل يسهل عملية الانتقال من الري التقليدي إلى الري المؤتمت، وتتلخص في النقاط التالية:

1.2.6 الأهداف التقنية والبرمجية

• توفير واجهة تحكم مركزية ومبسطة (GUI): تيسير التعامل مع البيانات المعقدة القادمة من الحقل، وتحويل القراءات الرقمية لمستشعرات الرطوبة، الرقم الهيدروجيني (pH)، والتوصيل الكهربائي (EC) إلى رسومات بيانية ومؤشرات مرئية واضحة يمكن فهمها والتعامل معها دون حاجة لخبرة برمجية مسبقة (Barkunan et al., 2019).

• تحقيق الاستجابة الفورية والتحكم عن بُعد: إلغاء القيود الجغرافية التي تلزم المزارع بالتواجد في الحقل، من خلال بناء قنوات اتصال سريعة وخفيفة تضمن نقل أمر تشغيل أو إيقاف المضخة من التطبيق إلى نظام الري في أجزاء من الثانية (Kodali & Sahu, 2016).

• أتمتة اتخاذ القرار (Automation): تقليل التدخل البشري والخطأ الإنساني في عمليات الري، من خلال تفعيل الوضع التلقائي الذي يجعل التطبيق والمتحكم يعملان كعقل مدبر يغلق ويفتح المضخة بناءً على حاجة التربة الفعلية وفور تخطي القراءات للحدود المبرمجة (Barkunan et al., 2019).

• بناء سجل بيانات تاريخي (Data Logging): أرشفة وحفظ قراءات المستشعرات وتفاصيل الري في قاعدة بيانات منظمة، لتكون هذه البيانات مرجعاً إحصائياً يوضح نمط تغير التربة والمحصول (Ferrández-Pastor et al., 2018).

2.2.6 الأهداف التطبيقية والبيئية

• ترشيد استهلاك المياه والطاقة: الحد من الهدر المائي الناتج عن الري العشوائي أو المجدول زمنياً دون مراعاة لحالة التربة، مما يساهم بشكل مباشر في خفض فواتير الطاقة وتشغيل المضخات، والحفاظ على الثروة المائية المستدامة (Barkunan et al., 2019).

• تحليل البيانات واستدامة المحصول: استخدام السجلات التاريخية المخزنة لإجراء تحليلات إحصائية متقدمة، مما يمنح المزارع القدرة على فهم سلوك التربة ومعدلات استهلاك المياه على المدى

الطويل، ويشكل نواة لبناء نماذج تنبؤية مستقبلية تضمن استدامة المحصول وترشيد الموارد (Goap et al., 2018).

• الوقاية والتدخل المبكر (Risk Management): تقليل الخسائر المادية عبر نظام التنبيهات الفورية؛ ففي حال حدوث قفزة مفاجئة في المؤشرات أو وجود خلل طارئ في عمل المضخة، يقوم التطبيق بإخطار المستخدم فوراً لاتخاذ الإجراء المناسب قبل تضرر المحصول (Goap et al., 2018).

3.6 الواجهة الخارجية للتطبيق

يعكس شعار تطبيق Smart Irrigation جوهر الزراعة الذكية والري الحديث القائم على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)؛ حيث يدمج في تصميمه بين الطبيعة والتكنولوجيا بشكل متناسق وعصري.

يتجسد هذا التمازج في قطرة ماء مركزية ترمز إلى الإدارة الرشيدة للموارد المائية، وتنبثق منها نبتة خضراء تعبر عن النمو والحياة النباتية.

ولإضفاء الطابع التقني الرقمي، دُمجت مسارات لدوائر إلكترونية ذكية داخل الشعار، مع إشارات دقيقة للمؤشرات الحيوية للتربة مثل الرقم الهيدروجيني (pH)، ودرجة الحرارة، ونسب المغذيات (NPK)، مما يوضح للمشاهد فوراً أن المنظومة ترتكز على تحليل شامل لخصائص التربة.

أما الهوية اللونية للشعار، فقد استندت إلى تباين مدروس بين الأزرق والأخضر؛ إذ يمثل الأزرق عنصر الماء وعالم التكنولوجيا الرقمية، في حين يرمز الأخضر إلى الطبيعة، والخصوبة، والاستدامة البيئية، مما يمنح الشعار طابعاً مألوفاً يربطه مباشرة بقطاع الزراعة الذكية. وفيما يخص الواجهة الخارجية للتطبيق، فقد روعي فيها البساطة التامة لتوفير تجربة مستخدم مريحة وخالية من التعقيد.

تبرز الشاشة الافتتاحية شعار التطبيق واسمه بشكل واضح وجذاب، بالتوازي مع تصميم أيقونة احترافية تظهر على شاشة الهاتف الذكي بجانب التطبيقات الأخرى كمنتج جاهز للاستخدام الفعلي في السوق.

تعتمد هذه الواجهة على توزيع بصري متوازن وألوان هادئة ومريحة للعين، مما يسهل على المزارع التنقل داخل التطبيق والوصول السريع إلى قراءات التربة وإدارة نظام الري بمرونة تامة.



شكل 1.6: الواجهة الخارجية للتطبيق

4.6 خصائص التطبيق

1.4.6 ربط الجهاز بالتطبيق

تُعد هذه الواجهة أول واجهة تشغيلية في تطبيق ، حيث تمثل نقطة البداية التي تسمح للمستخدم بربط الهاتف الذكي بوحدة الاستشعار الذكية المسؤولة عن جمع بيانات التربة.

وتعتمد هذه العملية على تقنية Bluetooth Low Energy (BLE) التي توفر اتصالًا لاسلكيًا منخفض استهلاك الطاقة، مما يضمن تبادل البيانات بكفاءة بين التطبيق ووحدة الاستشعار. عند الدخول إلى الواجهة، يبدأ التطبيق تلقائيًا في البحث عن الأجهزة المتوفرة ضمن نطاق الاتصال، ويظهر للمستخدم مؤشر المسح الذي يوضح أن عملية الاكتشاف قيد التنفيذ.

وبعد انتهاء عملية البحث، يتم عرض الأجهزة المكتشفة في قائمة منظمة تتضمن اسم كل وحدة استشعار إلى جانب قيمة RSSI التي تعبر عن قوة الإشارة اللاسلكية، وهو ما يساعد المستخدم على اختيار الجهاز الأقرب والأكثر استقرارًا من حيث الاتصال.

تحتوي كل بطاقة جهاز على زر Connect الذي يتيح إنشاء اتصال مباشر مع وحدة الاستشعار المختارة.

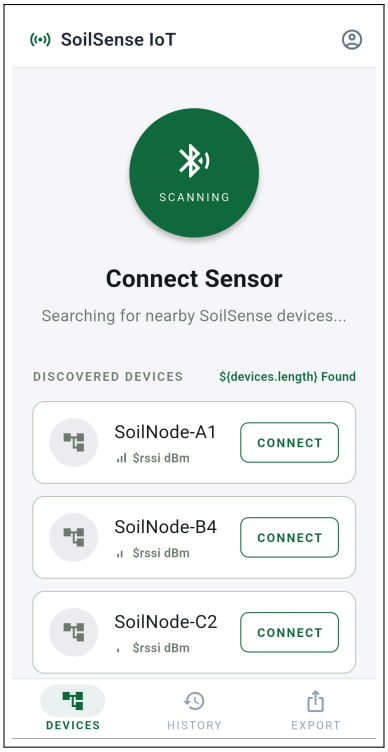
وبمجرد نجاح عملية الربط، يصبح التطبيق قادرًا على استقبال البيانات المرسلة من الحساسات

المختلفة، مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة والرطوبة الجوية، تمهيدًا لعرضها وتحليلها في الواجهات اللاحقة.

كما تتضمن الواجهة قسمًا مخصصًا للإرشادات والمساعدة، يظهر في حالة عدم العثور على أي جهاز متاح، حيث يقدم مجموعة من التعليمات التي تساعد المستخدم على التحقق من تشغيل وحدة الاستشعار والتأكد من وجودها ضمن نطاق الاتصال اللاسلكي.

ويساهم هذا القسم في تحسين تجربة الاستخدام وتقليل المشكلات المرتبطة بعملية الربط.

وبشكل عام، تُعد هذه الواجهة حلقة الوصل الأساسية بين التطبيق ووحدة الاستشعار الذكية، إذ تضمن إنشاء اتصال موثوق يسمح بنقل البيانات الحقلية في الزمن الحقيقي، مما يشكل الأساس الذي تعتمد عليه باقي وظائف النظام المتعلقة بالمراقبة والتحليل واتخاذ قرارات الري.



شكل 2.6: الواجهة الاولى للتطبيق

2.4.6 مراقبة وتحليل بيانات التربة

تمثل هذه الشاشة اللوحة الأساسية داخل التطبيق لمتابعة حالة التربة وإدارة عملية الري؛ حيث تستقبل البيانات مباشرة من الحساسات وتعرضها بشكل منظم، مما يتيح للمستخدم مراقبة وضع الحقل واتخاذ القرارات السليمة فوراً وفي الوقت الحقيقي.

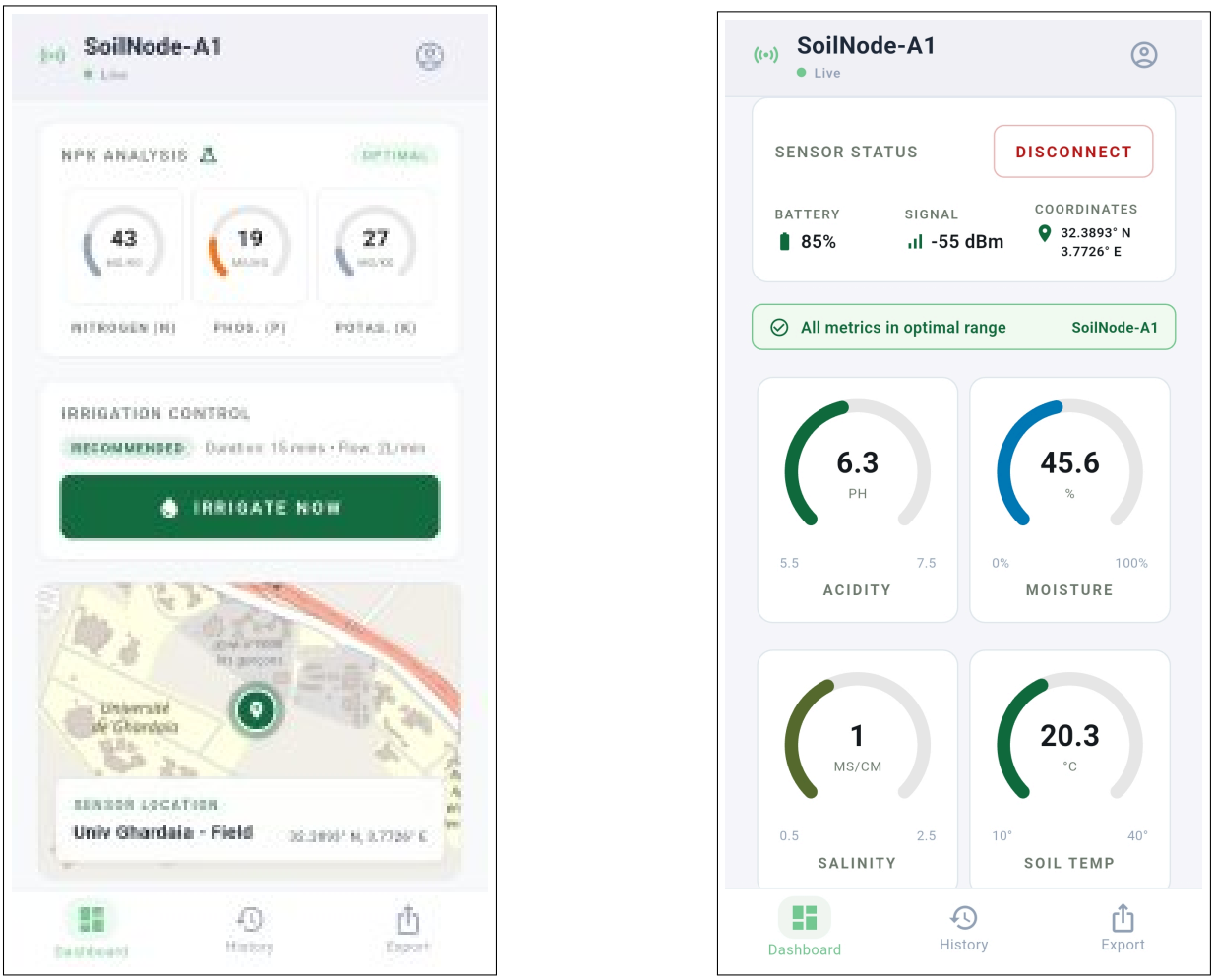
وتحتوي الواجهة على عدة مؤشرات تقيس خصائص التربة، حيث تظهر نسبة الرطوبة، ودرجة

الحرارة، ونسبة الحموضة (pH)، إلى جانب قيمة الموصلية الكهربائية (EC) التي تحدد مستوى الملوحة والعناصر الذائبة في التربة.

ويتم توضيح وضع كل قراءة عبر مؤشرات وألوان متنوعة تنبه المستخدم بلمحة سريعة عما إذا كانت النسب في النطاق الطبيعي أو أنها تتطلب تدخلاً طارئاً.

كما تضم الواجهة قسماً مخصصاً لتحليل العناصر المعدنية (NPK) في التربة، والذي يستعرض: • نسبة النيتروجين (Nitrogen) • نسبة الفوسفور (Phosphorus) • نسبة البوتاسيوم (Potassium) وتساهم هذه البيانات مجتمعة في تقييم مستوى خصوبة التربة وتوجيه عمليات التسميد الزراعي بشكل أفضل. علاوة على ذلك، توفر الشاشة جزءاً خاصاً بالتحكم في الري (Irrigation Control)، حيث يقدم التطبيق إرشادات وتوصيات تشمل مدة السقي ومعدل تدفق المياه، مع إتاحة خيار تشغيل نظام الري يدوياً بواسطة زر مخصص، إلى جانب تفعيل نظام التحكم التلقائي في المضخة لتعمل ذاتياً بمجرد انخفاض الرطوبة.ولربط البيانات بالموقع الجغرافي، تم دمج خريطة داخل الواجهة تساعد على تحديد موقع المستخدم أو موقع النظام الزراعي نفسه، مما يسهل مراقبة الحقول وتتبع حالة التربة وإدارتها عبر المناطق المختلفة.

باختصار، تتميز هذه الواجهة بتنظيمها الواضح وتصميمها العصري الذي يرتكز على الألوان والمؤشرات البصرية لتسهيل قراءة وتحليل البيانات، مما يرفع من كفاءة وسهولة استخدام التطبيق في مراقبة التربة وإدارة الري الذكي.



شكل 3.6: واجهة قراءة البيانات

3.4.6 حفظ وتحليل بيانات

تُخصص هذه الواجهة لحفظ البيانات وعرض السجل التاريخي للقياسات التي يتم جمعها من الحساسات، حيث تسمح للمستخدم بمتابعة تطور خصائص التربة مع مرور الوقت وتحليل التغيرات المسجلة بشكل مستمر.

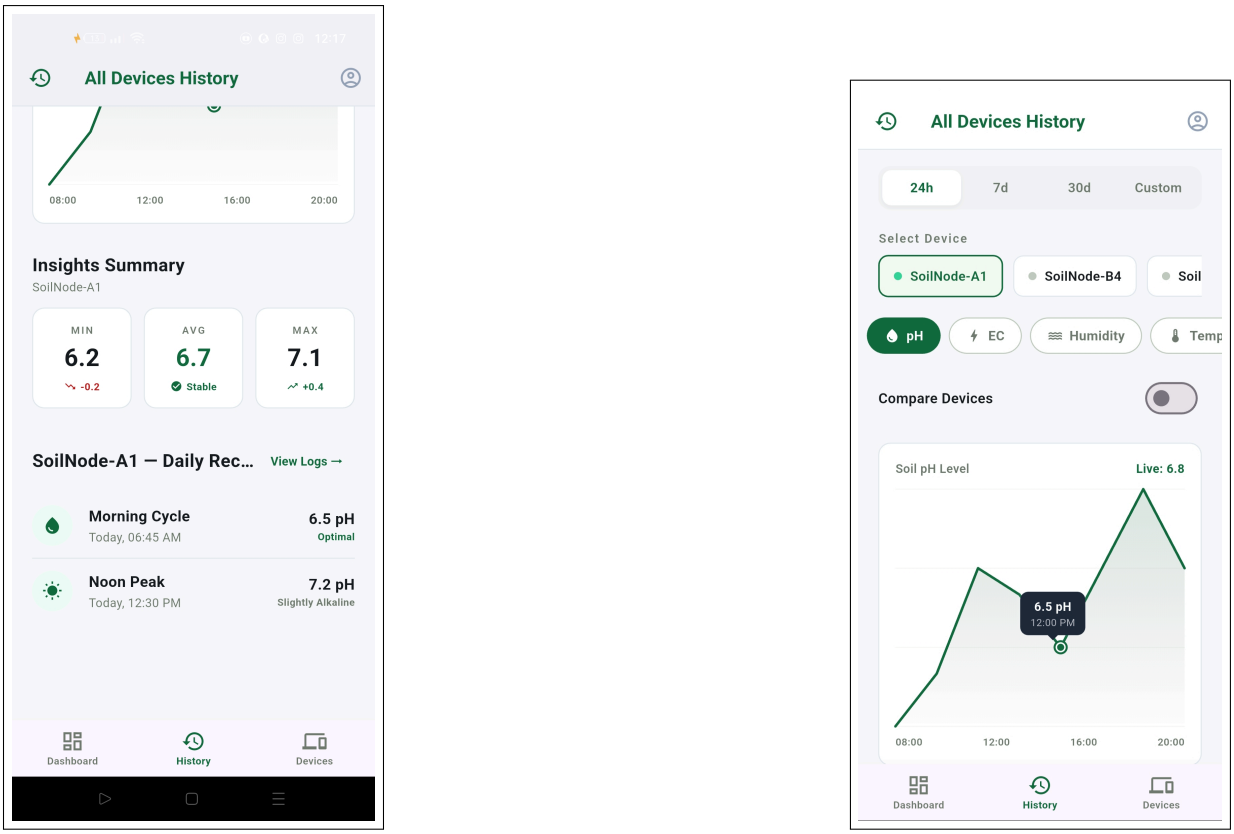
وتُعد هذه الخاصية من أهم وظائف التطبيق، لأنها تساعد على مراقبة حالة التربة واتخاذ قرارات دقيقة فيما يخص الري والتسميد.وتحتوي الواجهة على رسوم بيانية توضح تغير القيم المقاسة مثل درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC)، والرطوبة، ودرجة الحرارة خلال فترات زمنية مختلفة، مثل 24 ساعة أو 7 أيام أو 30 يوماً، مع إمكانية اختيار مدة مخصصة لعرض البيانات.

ويساعد هذا العرض البياني المستخدم على فهم تطور حالة التربة وملاحظة أي تغيرات قد تؤثر على نمو النباتات.

كما تعرض الواجهة ملخصاً إحصائياً للقيم المسجلة، يشمل: • القيمة الدنيا (MIN) • القيمة المتوسطة (AVG) • القيمة القصوى (MAX) وذلك من أجل إعطاء نظرة شاملة حول استقرار بيانات التربة ومدى ملاءمتها للزراعة.

إضافة إلى ذلك, توفر الواجهة سجلاً يومياً للقياسات (Daily Records)، حيث يتم حفظ مختلف القراءات مع توقيت تسجيلها، مما يسمح للمستخدم بالرجوع إلى البيانات السابقة ومقارنتها بسهولة.

وتتميز هذه الواجهة بتنظيم بسيط وواضح يعتمد على الرسوم البيانية والمؤشرات الرقمية، الأمر الذي يسهل عملية تحليل البيانات ومتابعة حالة التربة بشكل مستمر داخل التطبيق الذكي.



شكل 4.6: واجهة الحفظ

4.4.6 تصدير وتحليل البيانات

واجهة تصدير وحفظ البيانات تسمح هذه الواجهة للمستخدم بحفظ البيانات المسجلة داخل التطبيق وتصديرها من أجل الاستفادة منها في عمليات المتابعة والتحليل.

وتُعد هذه الخاصية من الوظائف المهمة داخل النظام، حيث تساهم في تنظيم القياسات المحصل عليها من الحساسات والاحتفاظ بها لفترات زمنية مختلفة.

تحتوي الواجهة على جزء مخصص لتحديد المجال الزمني للبيانات، وذلك من خلال اختيار تاريخ البداية وتاريخ النهاية، مما يتيح للمستخدم استخراج البيانات الخاصة بفترة معينة فقط.

كما توفر إمكانية اختيار نوع القياسات المراد حفظها أو تصديرها، مثل درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC)، ورطوبة التربة، ودرجة الحرارة، بالإضافة إلى عناصر NPK.

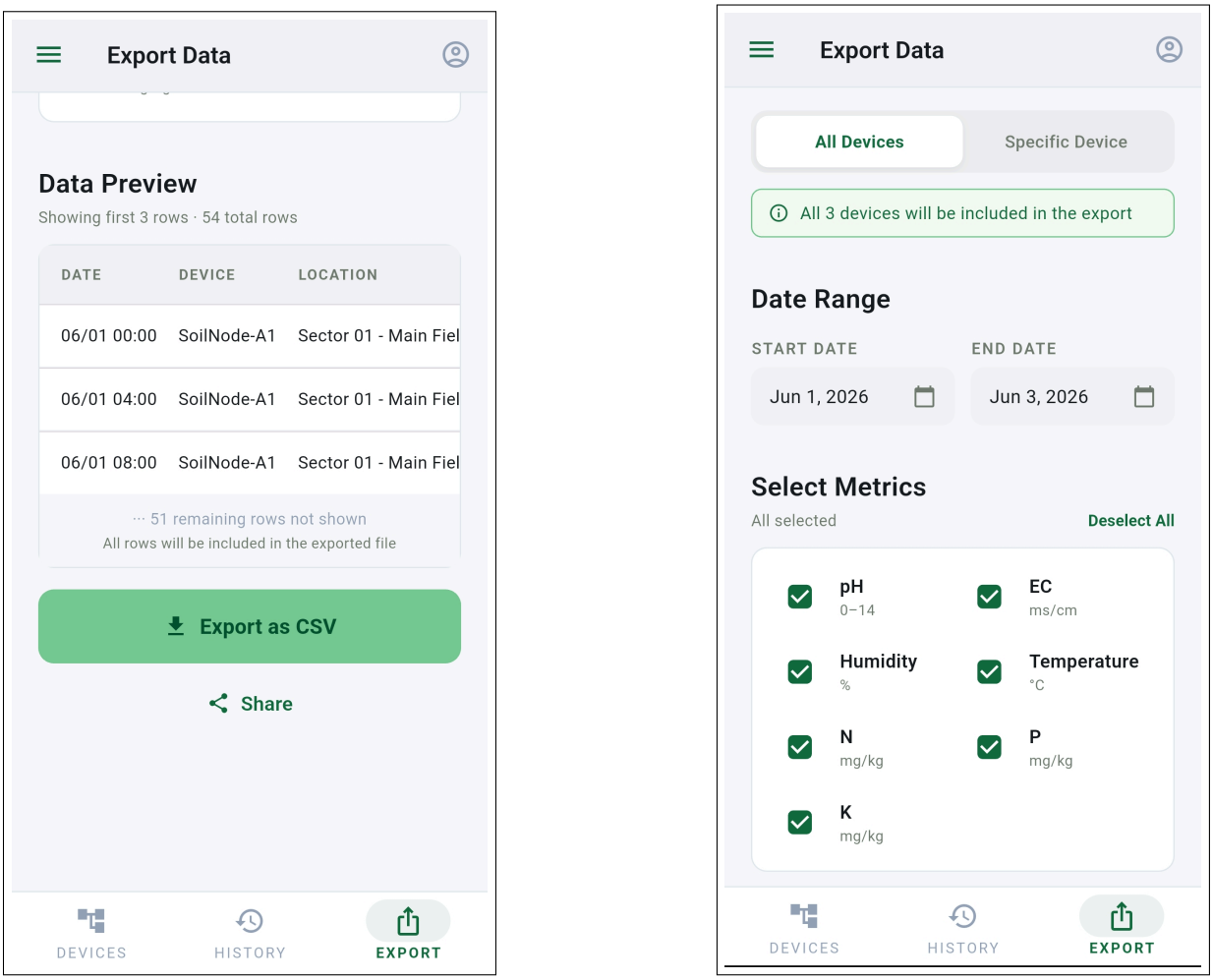
بعد تحديد البيانات المطلوبة، يعرض التطبيق جدولاً يتضمن مختلف القياسات المسجلة مع تواريخها، الأمر الذي يسمح بمراجعة البيانات والتأكد منها قبل عملية التصدير.

كما يمكن للمستخدم حفظ الملفات بصيغة CSV، وهي صيغة تُستخدم في تخزين البيانات الرقمية وإعادة استعمالها في برامج التحليل والإحصاء.

إضافة إلى ذلك، توفر الواجهة إمكانية مشاركة الملفات المصدرة، مما يسهل عملية تبادل البيانات

واستغلالها في الدراسات والمتابعة الزراعية.

وتتميز هذه الواجهة بالبساطة وسهولة الاستخدام، حيث تساعد على تنظيم المعلومات وحفظها بطريقة تسهل الرجوع إليها وتحليلها لاحقاً.



شكل 5.6: واجهة تصدير المعلومات

5.6 لغة البرمجة DART

تُعد Dart لغة برمجة حديثة طورتها شركة Google بهدف إنشاء تطبيقات عالية الأداء تعمل على مختلف المنصات، بما في ذلك الهواتف الذكية والويب وسطح المكتب.

تتميز هذه اللغة بسهولة تعلمها وبنيتها البرمجية الواضحة، كما تدعم البرمجة الكائنية (Object-Oriented Programming)، مما يسهل تطوير التطبيقات وصيانتها.

اعتمدت هذه الدراسة على لغة Dart باعتبارها اللغة الرسمية لإطار العمل Flutter المستخدم في تطوير التطبيق الذكي الخاص بنظام الري الذكي.

وتوفر Dart مجموعة من المزايا المهمة، مثل سرعة التنفيذ، وإمكانية إعادة استخدام الشيفرة البرمجية، ودعم التحديث الفوري للتطبيق أثناء التطوير (Hot Reload)، وهو ما يساهم في تسريع عملية التصميم والاختبار.

كما تسمح لغة Dart بإنشاء واجهات مستخدم تفاعلية وسلسة، إضافةً إلى سهولة التكامل مع قواعد البيانات وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، مما يجعلها خياراً مناسباً لتطوير التطبيقات الذكية التي تعتمد على جمع البيانات ومعالجتها وعرضها للمستخدم بصورة فعالة.

1.5.6 لماذا تم اختيار لغة Dart

تم اختيار لغة Dart باعتبارها اللغة الأساسية المعتمدة في إطار تطوير Flutter، كما أنها تتميز بسهولة تعلمها وبنية برمجية واضحة تساعد على تطوير تطبيقات ذات أداء جيد.

إضافة إلى ذلك، توفر اللغة مجموعة من الأدوات التي تسهل تنظيم الشفرة البرمجية وصيانتها وتطويرها مستقبلاً، مما يجعلها مناسبة لإنجاز تطبيقات الهواتف الذكية.

6.6 آلية عمل التطبيق المحمول والتكامل مع نظام الري الذكي

يعتمد النظام المقترح على التكامل بين وحدة التحكم ESP32 والتطبيق المحمول من أجل مراقبة حالة التربة والتحكم في عملية الري بشكل ذكي وفعال.

في البداية، تقوم مجموعة المستشعرات المدمجة في النظام بقياس مختلف المعلمات الزراعية، بما في ذلك رطوبة التربة، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية للهواء، وقيمة الأس الهيدروجيني (pH)، والتوصيلية الكهربائية (EC)، بالإضافة إلى تركيز العناصر الغذائية الأساسية (النيتروجين N، الفوسفور P، والبوتاسيوم K).

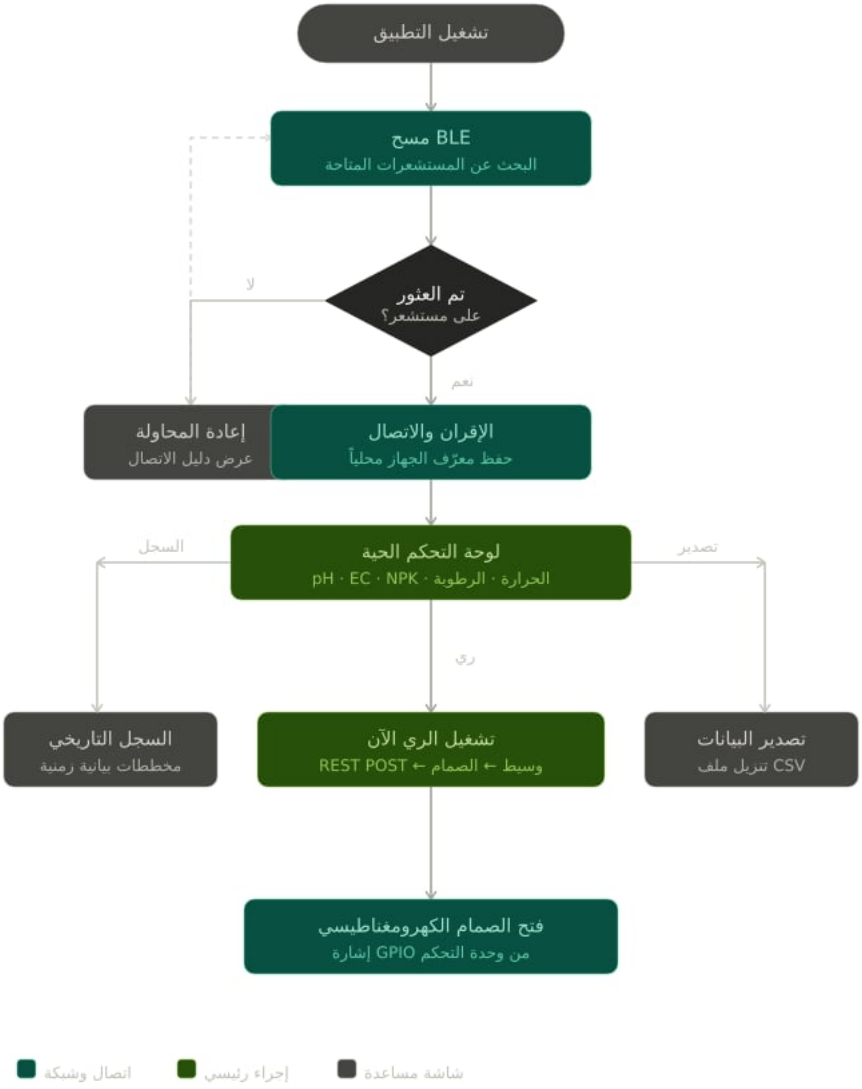
تُرسل هذه البيانات إلى وحدة ESP32 التي تتولى عملية جمعها ومعالجتها وتحويلها إلى معلومات قابلة للاستغلال.

بعد ذلك، يتم نقل البيانات لاسلكياً إلى التطبيق المحمول باستخدام تقنية البلوتوث منخفض الطاقة (Bluetooth Low Energy - BLE)، مما يسمح بعرض القراءات بشكل فوري للمستخدم من خلال واجهة رسومية سهلة الاستخدام.

يوفر التطبيق إمكانية مراقبة جميع المؤشرات الزراعية في الزمن الحقيقي، كما يسمح للمستخدم بالتحكم اليدوي في عملية الري من خلال تشغيل أو إيقاف مضخة المياه عن بُعد.

عند إرسال أمر التشغيل، تستقبل وحدة ESP32 الأمر عبر الاتصال اللاسلكي وتقوم بتفعيل المرحل (Relay) المسؤول عن تشغيل المضخة لمدة محددة مسبقاً، ثم يتم إيقافها تلقائياً لضمان ترشيد استهلاك المياه ومنع الإفراط في الري.

يساهم هذا التكامل بين المستشعرات ووحدة المعالجة والتطبيق المحمول في توفير نظام ذكي لمراقبة التربة وإدارة عملية الري، مما يساعد على تحسين استغلال الموارد المائية ورفع كفاءة الإنتاج الزراعي اعتماداً على تقنيات إنترنت الأشياء.



شكل 6.6: مخطط يمثل طريقة عمل التطبيق

7.6 خاتمة الفصل

خُصص هذا الجزء لتصميم وإنجاز النظام المقترح، حيث تم تطوير جهاز ذكي قادر على قياس أهم خصائص التربة وربطه بتطبيق محمول يتيح متابعة البيانات وإدارة عملية الري.

وقد شملت مراحل الإنجاز تصميم الجانب المادي للنظام وبرمجته، إضافة إلى تطوير واجهات التطبيق والوظائف المرتبطة بعرض البيانات وتخزينها والتحكم في النظام.

وأظهرت النتائج العملية نجاح التكامل بين الجهاز والتطبيق، حيث تمكّن النظام من قياس البيانات وإرسالها وعرضها بشكل آني، كما أثبت فعاليته في التحكم الآلي في عملية الري وفقاً لمستوى رطوبة التربة. وبذلك، أكدت التجارب المنجزة قدرة النظام على تحقيق الأهداف المسطرة، مما يبرز أهمية توظيف التقنيات الحديثة في تحسين إدارة الري ودعم تطبيقات الزراعة الذكية.

الفصل الثالث

التجارب و النتائج

7 - التجربة والنتائج

1.7 مقدمة

بعد الانتهاء من تصميم وإنجاز النظام الذكي لمراقبة التربة وتطوير التطبيق الخاص بإدارة عملية الري، كان من الضروري الانتقال إلى مرحلة التجارب العملية من أجل التحقق من مدى كفاءة النظام في أداء المهام المطلوبة.

وتُعتبر هذه المرحلة من أهم مراحل المشروع، لأنها تسمح بتقييم أداء مختلف مكوناته والتأكد من صحة النتائج التي يقدمها.

في هذا الفصل، سيتم عرض مجموعة من الاختبارات التي أُجريت على النظام المنجز، وذلك بهدف التأكد من قدرة الحساسات على قياس مختلف خصائص التربة، والمتمثلة في درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC)، ودرجة الحرارة، ورطوبة التربة.

كما سيتم التحقق من فعالية عملية إرسال البيانات إلى التطبيق وعرضها بشكل لحظي، بالإضافة إلى اختبار آلية تخزين البيانات واسترجاعها عند الحاجة.

وسيتم كذلك تقييم أداء نظام الري الآلي من خلال دراسة استجابة المضخة للتغيرات المسجلة في نسبة رطوبة التربة، ومدى نجاح النظام في تشغيلها وإيقافها وفق الشروط المحددة مسبقاً.

وفي نهاية هذا الفصل، سيتم تحليل النتائج المتحصل عليها ومناقشتها من أجل إبراز مدى فعالية النظام المقترح وإمكانية الاستفادة منه في تطبيقات الزراعة الذكية

2.7 إجراء التجربة

بعد الانتهاء من تصميم وإنجاز النظام الذكي لمراقبة التربة وتطوير التطبيق الخاص بإدارة عملية الري، كان من الضروري الانتقال إلى مرحلة التجارب العملية من أجل التحقق من مدى كفاءة النظام في أداء المهام المطلوبة.

وتُعتبر هذه المرحلة من أهم مراحل المشروع، لأنها تسمح بتقييم أداء مختلف مكوناته والتأكد من صحة النتائج التي يقدمها.

في هذا الفصل، سيتم عرض مجموعة من الاختبارات التي أُجريت على النظام المنجز، وذلك بهدف التأكد من قدرة الحساسات على قياس مختلف خصائص التربة، والمتمثلة في درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC)، ودرجة الحرارة، ورطوبة التربة.

كما سيتم التحقق من فعالية عملية إرسال البيانات إلى التطبيق وعرضها بشكل لحظي، بالإضافة إلى اختبار آلية تخزين البيانات واسترجاعها عند الحاجة.

وسيتم كذلك تقييم أداء نظام الري الآلي من خلال دراسة استجابة المضخة للتغيرات المسجلة in نسبة رطوبة التربة، ومدى نجاح النظام في تشغيلها وإيقافها وفق الشروط المحددة مسبقاً.

وفي نهاية هذا الفصل، سيتم تحليل النتائج المتحصل عليها ومناقشتها من أجل إبراز مدى فعالية النظام المقترح وإمكانية الاستفادة منه في تطبيقات الزراعة الذكية



شكل 1.7: تربة مشبعة بالمواد العضوية للتجربة

1.2.7 اختبار قراءة الحساس

لاختبار الجانب العملي من مشروعنا، قمنا بتجهيز عينة التربة التربة المدروسة وبدأنا التجربة. حرصنا على غرس الحساس بعناية بالقرب من منطقة الجذور لنضمن أن القراءات التي سنحصل عليها تعكس الحالة الحقيقية التي يعيش فيها النبات.

بمجرد تشغيل النظام، لاحظنا أن الحساس تمكن بنجاح من التقاط أهم المؤشرات التي نحتاجها. فقد ظهرت أمامنا على شاشة تطبيق الهاتف قراءات دقيقة لدرجة الحموضة (pH)، ونسبة الرطوبة، والحرارة، إلى جانب الموصلية الكهربائية (EC) التي أعطتنا فكرة واضحة عن مستوى الملوحة والعناصر الذائبة.

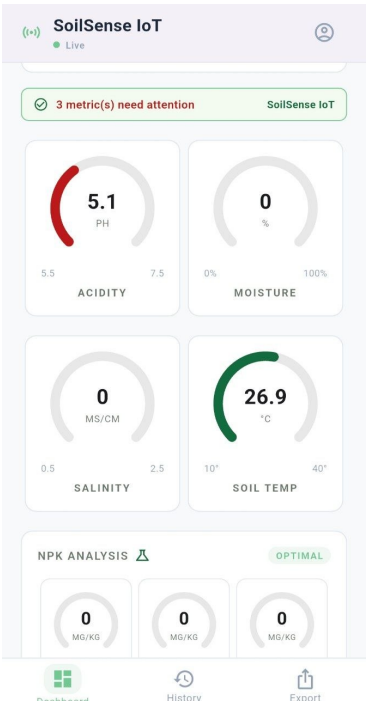
المميز في الأمر أن هذه البيانات كانت تصلنا بشكل لحظي ومباشر.

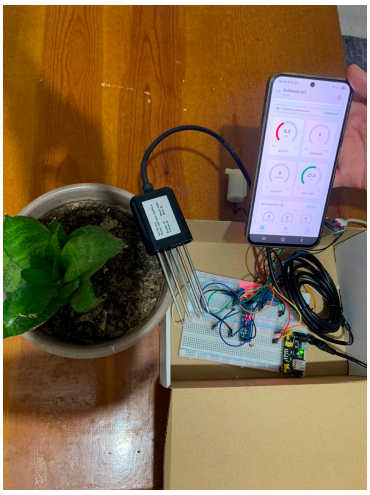
ولنتأكد أكثر من سرعة استجابة النظام، قمنا بتغيير مكان الحساس وتجربته في أجزاء مختلفة من التربة.

وكما توقعنا، تغيرت القيم المقاسة فوراً، مما يثبت أن نظامنا قادر فعلاً على تتبع أي تغير يطرأ على التربة في الزمن الحقيقي.

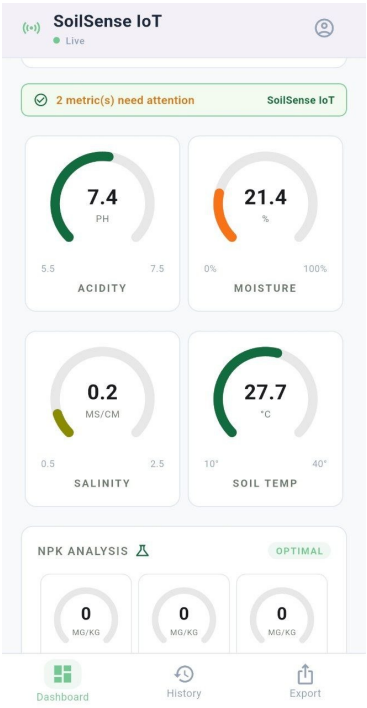
وقد ساعدتنا واجهة التطبيق التي صممناها في قراءة هذه التغيرات بسهولة، حيث عرضت الأرقام والرسوم البيانية بشكل بسيط يسهل فهمه.

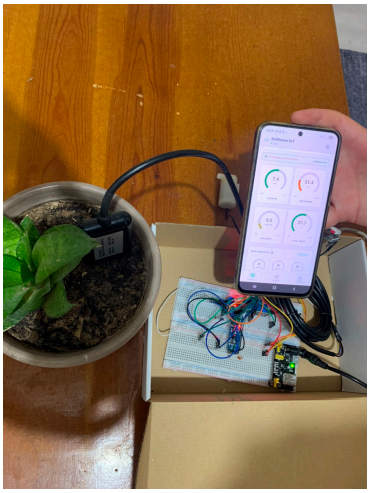
في النهاية، أكدت لنا هذه التجربة العملية أن النظام الذي طورناه يعمل بكفاءة عالية في جمع وعرض البيانات الزراعية، وأنه يمكن أن يكون أداة مساعدة حقيقية للمزارع لاتخاذ قرارات دقيقة حول أوقات الري والعناية بالمحاصيل.





شكل 2.7: عرض القيم المقاسة من الحساس على واجهة التطبيق





شكل 3.7: اختبار قراءة خصائص التربة باستعمال الحساس داخل التربة

2.2.7 اختبار نظام الري

بعد أن تأكدنا من نجاح قراءة بيانات التربة، انتقلنا إلى المرحلة التالية وهي اختبار نظام الري للتحقق من قدرته على التحكم في تشغيل المضخة وتدفق المياه.

قمنا بتوصيل المضخة بالدائرة الإلكترونية، ووضعنا أنبوب السحب في وعاء به ماء، بينما وجهنا أنبوب الري نحو الوعاء الزراعي الذي نجري عليه التجربة.

بمجرد تشغيل النظام، بدأنا بمراقبة البيانات على تطبيق الهاتف، مع التركيز بشكل خاص على نسبة الرطوبة لأنها المعيار الأساسي الذي برمجنا النظام ليعتمد عليه.

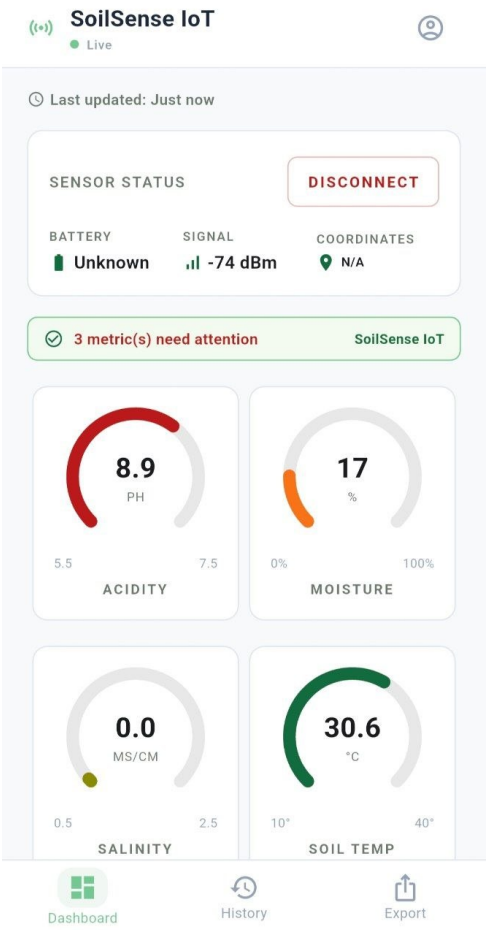
عندما انخفضت نسبة الرطوبة عن الحد الذي ضبطناه مسبقاً، لاحظنا أن المتحكم أرسل فوراً إشارة تشغيل للمضخة، لتبدأ عملية ضخ المياه نحو التربة.

وطوال فترة الري، استمرت الحساسات في إرسال القراءات، مما سمح لنا بمتابعة ارتفاع نسبة الرطوبة على التطبيق بشكل لحظي.

كانت استجابة المضخة للأوامر دقيقة جداً، حيث تمكنت من سقي التربة دون أي تدخل يدوي منا. والأهم من ذلك، أنه بمجرد وصول رطوبة التربة إلى المستوى المطلوب، توقفت عملية الري تلقائياً، مما يثبت نجاح الكود البرمجي وآلية التحكم التي اعتمدناها في المشروع.

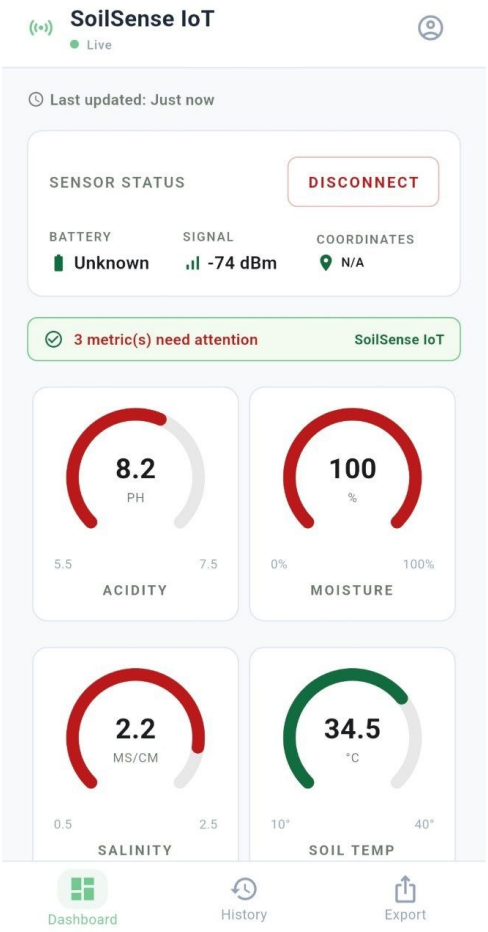
أثبتت لنا هذه التجربة أن نظامنا لا يكتفي بمجرد مراقبة خصائص التربة، بل يمتد لاتخاذ القرار وتنفيذ عملية الري بشكل آلي تماماً.

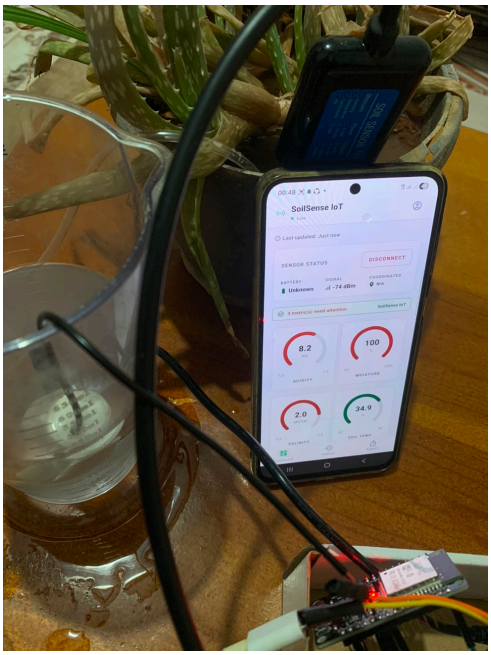
وهذا يعكس الهدف الأساسي من عملنا، وهو تحسين إدارة الموارد المائية وتقليل هدر المياه في المجال الزراعي.





شكل 4.7: قراءة نسبة الرطوبة عند غرس الحساس داخل التربة





شكل 5.7: اختبار تشغيل المضخة و مراقبة عملية الري من خلال التطبيق

3.7 تحليل النتائج

من خلال تحليلنا لنتائج التجارب التي أجريناها على نظام الري الذكي، تأكدنا من الأداء الجيد للمشروع، خاصة فيما يتعلق بالتحكم الآلي وسرعة استجابة الحساسات.

لقد تمكن نظامنا من قراءة نسبة رطوبة التربة بشكل دقيق ومباشر، وهذا ما سمح له بأخذ قرارات السقي آلياً بناءً على حاجة الأرض الفعلية، بعيداً عن التخمين أو التدخل اليدوي المستمر.

كما لاحظنا من خلال استخدامنا لتطبيق الهاتف أن التحكم في تشغيل وإيقاف المضخة كان يتم بسلاسة تامة.

فالاستجابة كانت شبه فورية، بمجرد إرسالنا للأمر من الهاتف، تستجيب المضخة على أرض الواقع. هذا التوافق السريع يثبت قوة الاتصال بين وحدة التحكم والتطبيق، وهو ما ساهم بشكل مباشر في ترشيد استهلاك المياه وتقليل الهدر مقارنة بطرق السقي التقليدية.

ميدانياً، أثبتت التجربة أن النظام قادر على الحفاظ على رطوبة مثالية للنباتات بشكل متوازن.

فالمضخة لا تتدخل إلا إذا جفت التربة ونزلت الرطوبة عن العتبة التي برمجناها مسبقاً.

هذا العمل الدقيق يؤكد لنا نجاح الخوارزمية (الكود البرمجي) التي اعتمدناها في تسيير المشروع.

إلى جانب ذلك، صممنا واجهة التطبيق لتكون بسيطة وواضحة، مما أتاح لنا مراقبة حالة التربة والتحكم في النظام عن بعد بكل سهولة وبدون الحاجة للتواجد في الحقل.

كخلاصة عامة، تؤكد هذه النتائج أن مشروعنا يقدم حلاً عملياً وذكياً لتحسين إدارة مياه السقي في القطاع الزراعي.

ونطمح مستقبلاً لتطوير هذا العمل أكثر، كأن ندمج فيه تقنيات الذكاء الاصطناعي ليتنبأ باحتياجات النبتة المائية قبل حدوث الجفاف.

4.7 خاتمة الفصل

من خلال تحليلنا لنتائج التجارب التي أجريناها على نظام الري الذكي، تأكدنا من الأداء الجيد للمشروع، خاصة فيما يتعلق بالتحكم الآلي وسرعة استجابة الحساسات.

لقد تمكن نظامنا من قراءة نسبة رطوبة التربة بشكل دقيق ومباشر، وهذا ما سمح له بأخذ قرارات السقي آلياً بناءً على حاجة الأرض الفعلية، بعيداً عن التخمين أو التدخل اليدوي المستمر. كما لاحظنا من خلال استخدامنا لتطبيق الهاتف أن التحكم في تشغيل وإيقاف المضخة كان يتم بسلاسة

تامة.

فالاستجابة كانت شبه فورية؛ بمجرد إرسالنا للأمر من الهاتف، تستجيب المضخة على أرض الواقع. هذا التوافق السريع يثبت قوة الاتصال بين وحدة التحكم والتطبيق، وهو ما ساهم بشكل مباشر في ترشيد استهلاك المياه وتقليل الهدر مقارنة بطرق السقي التقليدية.

ميدانياً، أثبتت التجربة أن النظام قادر على الحفاظ على رطوبة مثالية للنباتات بشكل متوازن. فالمضخة لا تتدخل إلا إذا جفت التربة ونزلت الرطوبة عن العتبة التي برمجناها مسبقاً.

هذا العمل الدقيق يؤكد لنا نجاح الخوارزمية (الكود البرمجي) التي اعتمدناها في تسيير المشروع.

إلى جانب ذلك، صممنا واجهة التطبيق لتكون بسيطة وواضحة، مما أتاح لنا مراقبة حالة التربة والتحكم في النظام عن بعد بكل سهولة وبدون الحاجة للتواجد في الحقل.

كخلاصة عامة، تؤكد هذه النتائج أن مشروعنا يقدم حلاً عملياً وذكياً لتحسين إدارة مياه السقي في القطاع الزراعي.

ونطمح مستقبلاً لتطوير هذا العمل أكثر، كأن ندمج فيه تقنيات الذكاء الاصطناعي ليتنبأ باحتياجات النبتة المائية قبل حدوث الجفاف.

الخاتمة

في ختام هذا المشروع، تمكنا من تصميم وإنجاز نظام ذكي متكامل لمراقبة التربة والتحكم في عملية الري.

اعتمدنا في هذا العمل على دمج الحساسات الإلكترونية مع تطبيق هاتف ذكي قمنا بتطويره خصيصاً لهذا الغرض.

وقد سمح لنا هذا النظام بقراءة وتتبع أهم خصائص التربة، كنسبة الرطوبة، الحرارة، درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC)، وعرضها بشكل مباشر ومستمر على شاشة الهاتف.

التجارب العملية التي أجريناها أثبتت نجاح النظام في أداء المهام المطلوبة منه على أكمل وجه.

فقد كانت عملية إرسال البيانات واستقبالها مستقرة، والأهم من ذلك أن نظام الري الآلي أثبت كفاءته في تشغيل وإيقاف المضخة ذاتياً بناءً على مدى جفاف التربة.

كما وفر لنا التطبيق واجهة سهلة لتسجيل هذه البيانات ومراقبتها عن بعد وبدون تعقيد.

نرى أن هذا العمل يمكن أن يساهم فعلياً في حل مشكلة هدر مياه السقي وتقليل الجهد البشري الملقى على عاتق المزارع، مما يجعله خطوة مشجعة نحو تطبيق مفهوم الزراعة الذكية.

وكأي عمل أكاديمي، يبقى هذا المشروع قابلاً للتوسعة والتحسين مستقبلاً، كأن نضيف حساسات أخرى لقياس جودة المياه، أو ندمج خوارزميات تحليل البيانات لتقديم تنبؤات ونصائح زراعية دقيقة في المواسم القادمة.

Bibliography

[1] Food and Agriculture Organization (FAO), "FAOSTAT Database," Rome, Italy: FAO. Available:

[2] Food and Agriculture Organization (FAO), "The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)," Rome, Italy: FAO, 2021.

[3] Food and Agriculture Organization (FAO), "The global status of salt-affected soils," Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, Tech. Rep., 2022.

[4] Food and Agriculture Organization (FAO), "Technical report on soil degradation, clay dispersion, and desertification risks," Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, Tech. Rep. FAO-SOIL-2024, 2024.

[5] M. I. Lafta and W. D. Abdullah, "Precision agriculture and its role in confronting climate crises and water resource scarcity," Journal of Agricultural Sciences, vol. 12, no. 2, pp. 45–58, 2024.

[6] J. Diamond, Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. New York, NY, USA: W. W. Norton & Company, 1997.

[7] M. Mazoyer and L. Roudart, A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis. London, UK: Earthscan, 2006.

[8] S. Khanna and R. Kaur, "Evolution of modern agriculture through internet of things (IoT): A review," IEEE Access, vol. 7, pp. 10234–10245, 2019.

[9] P. Ibrahim, A. S. Ali, and M. Hussein, "Location-based agricultural management using smart sensing technologies," in Proceedings of the IEEE International Conference on Smart Agriculture (ICSA), 2018, pp. 112–117.

[10] P. K. Singh, R. Sharma, and S. Kumar, "Enhancing crop quality and competitiveness through multi-sensor data fusion," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 194, p. 106782, 2022.

[11] A. Al-Ali, A. Tabassam, and T. Zayed, "Cyber-physical architecture for smart agriculture based on cloud computing," IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 4, pp. 6120–6131, 2019.

[12] E. Ayaz, S. Felek, and M. A. Gökalp, "Smart irrigation systems based on ESP32 and cloud platforms: A comparative study on water use efficiency," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 9, pp. 3241–3252, 2019.

[13] A. Abdelkhalek et al., "IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32 Edtf," Smart Cities, vol. 4, no. 4, pp. 1230–1245, 2021.

[14] F. Ullah et al., "Internet of Things for Smart Agriculture: Technologies, Practices and Future Directions," Sensors, vol. 21, no. 11, p. 3412, 2021.

[15] S. O. Ojo, Y. Zhao, and B. Wang, "Smart Irrigation Monitoring and Control Strategies for Improving Water Use Efficiency in Precision Agriculture: A Review," Agricultural Water Management, vol. 260, p. 107324, 2022.

[16] C. D. Pérez-Blanco et al., "Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review," Agronomy, vol. 13, no. 2, p. 342, 2023, doi: 10.3390/agronomy13020342.

[17] M. R. Hassan et al., "IoT-Based Smart Agriculture Irrigation and Monitoring System," Engineering Proceedings, vol. 64, no. 1, p. 25, 2024.

[18] D. H. Ngoma, D. Nkongo, H. M. Abdul-Rahman, B. H. Muna, A. P. Buberwa, E. Ngaiza, and H. Rhee, "Design and Development of IoT Smart Drip Irrigation and Fertigation Prototype for Small and Medium Scale Farmers: A Case Study of Tomato Farmers in Tanzania," Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, pp. 1–23, 2025, doi: 10.1007/s40030-024-00857-7.

[19] N. Kouache and A. Mokhtara, "Soil sustainability and monitoring of soluble salts in arid and Saharan regions," University of Ghardaia, Algeria, Tech. Rep. UG-2025-04, 2025.

[20] M. Munns and M. Tester, "Mechanisms of salinity tolerance," Annual Review of Plant Biology, vol. 59, pp. 651–681, 2008.

[21] R. Zaman, S. Islam, and M. A. Rahman, "Soil salinization dynamics in coastal agricultural lands due to tidal floods," Environmental Earth Sciences, vol. 80, no. 11, p. 412, 2021.

[22] G. W. Thomas, "Soil pH and soil acidity," in Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, SSSA Book Series, 1996, pp. 475–490.

[23] N. C. Brady and R. R. Weil, The Nature and Properties of Soils, 15th ed. Columbus, OH, USA: Pearson, 2016.

[24] O. Lauber, K. S. Ramirez, and J. Fierer, "The biogeographical distribution of soil bacterial communities in relation to soil pH," Applied and Environmental Microbiology, vol. 74, no. 12, pp. 3721–3730, 2008.

[25] S. S. Chele, M. T. Oh, and K. J. Kim, "Ion antagonism and oxidative stress analysis under soil salinity accumulation," Plant Physiology and Biochemistry, vol. 166, pp. 201–214, 2021.

[26] B. Musa, A. Al-Khafaji, and H. Technical, "Uncontrolled NPK accumulation and its impact on the physical structure of agricultural soils," Soil and Tillage Research, vol. 238, p. 106012, 2024.

[27] M. Adhikary, P. Dey, and S. Das, "Kinetics of nitrogen fertigation and chemical-physical phosphorus fixation in soils," Journal of Soil Science and Plant Nutrition, vol. 24, no. 1, pp. 89–104, 2024.

[28] G. Ahansal, A. Bouaziz, and Y. Fact, "Comparative efficiency of traditional vs. smart drip irrigation systems under severe evaporation," Agricultural Water Management, vol. 262, p. 107411, 2022.

[29] H. Çetinkaya, M. Erdem, and T. Ak, "Surface irrigation defects and root hypoxia (oxygen stress) in orchard crops," Scientia Horticulturae, vol. 256, p. 108543, 2019.

[30] W. R. Walker and G. V. Skogerboe, Surface Irrigation: Theory and Practice. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1987.

[31] M. D. Dukes, "Classic agricultural automation: Time-based irrigation and solenoid valve scheduling systems," Transactions of the ASABE, vol. 55, no. 2, pp. 501–510, 2012.

[32] S. S. Raheja, N. Kumar, and V. Sharma, "Analysis of open-loop control system deficiencies in crop irrigation management," International Journal of Automation and Computing, vol. 18, no. 3, pp. 411–422, 2021.

[33] G. Vellidis, M. Tucker, and C. Perry, "Closed-loop smart irrigation systems utilizing real-time soil data feedback," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 61, no. 1, pp. 44–54, 2008.

[34] J. Elijah, T. A. Rahman, and I. Orikumhi, "An economic feasibility and operational cost reduction analysis for cloud-managed smart farming," IEEE Access, vol. 6, pp. 54211–54223, 2018.

[35] M. Ghodrat, R. Rasouli, and A. H. Gandomi, "Wireless sensor network design and multi-criteria analysis of root zone environments," IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 14, pp. 4651–4662, 2017.

[36] W. R. Walker, "SIRMOD: Surface irrigation simulation, evaluation and design," Utah State University, Logan, UT, USA, Software Documentation and Technical Guide, 2003.

[37] J. Gutiérrez, J. F. Villa-Medina, and A. Nieto-Garibay, "Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 63, no. 1, pp. 166–176, 2014.

[38] G. Kamienski, T. Soininen, and M. Intel, "Continuous monitoring of chemical and physical soil characteristics (pH, EC) using IoT sensor networks," IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 2, pp. 1890–1902, 2019.

[39] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in labor and resource optimization," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 118, pp. 66–84, 2015.

[40] Y. H. Chang, F. C. Wu, and H. W. Lin, "Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object Detection," Sensors, vol. 25, no. 6, p. 1656, 2025, doi: 10.3390/s25061656.

[41] O. Drozd, O. Sytnyk, and M. Nesterenko, "Models and Methods for Building a Decentralized IoT System – ESP32-Based Sensors Using the MQTT Protocol," Control, Navigation and Communication Systems, no. 4, pp. 51–55, 2025.

[42] S. S. Prakash, R. Usha, N. Karuppiah, S. Saravanan, M. Kalaiyarasi, and K. Karunanithi, “Smart Home and Security Systems: An IoT-Based Approach Utilizing ESP32 and Multisensor Integration,” E3S Web of Conferences, vol. 616, p. 02004, 2025, doi: 10.1051/e3sconf/202561602004.

[43] ATO Automation, “7-in-1 Soil Sensor.” Available:

[44] SparkFun Electronics, ”How to Use a Breadboard (Prototyping Basics).” Available:

[45] Texas Instruments, ”Power Supply Design Basics,” Application Report SLVA477A. Available:

[46] Maxim Integrated, ”MAX485 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers Datasheet,” San Jose, CA, USA: Analog Devices.

[47] P. Scherz and S. Monk, Practical Electronics for Inventors, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2016.

[48] Raspberry Pi Foundation, “Raspberry Pi 4 Model B Specifications.” Available:

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة غرداية

مركز تطوير المقاولاتية

مشروع مؤسسة اقتصادية كمذكرة تخرج وفق القرار
الوزاري 1275 المتمم والمعدل بموجب القرار 008
الموسوم بـ:

تصميم وتطوير نظام ري ذكي متكامل يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لتحسين جودة التربة

ضمن متطلبات نيل شهادة ماستر – مؤسسة اقتصادية، تخصص الري الحضري

إعداد الطالب:
- جبريط محمد رياض
- عجيلة كمال عماد الدين
- شنيني عبد المؤمن احمد المختار

تحت إشراف:
- أولاد بلخير الشيخ
- عنيشل عبد الله
- أولاد النوي نورالدين

نوقشت يوم: 22 جوان 2026 أمام اللجنة المكونة من الأساتذة :

اللقب والاسم	الرتبة	الصفة
مشري بشير	أستاذ مساعد أ	رئيسا
أولاد بلخير الشيخ	أستاذ محاضر أ	مشرفا ومقررا
أولاد النوي نور الدين	أستاذ محاضر أ	مشرف مساعد أول
عنيشل عبد الله	أستاذ محاضر أ	مشرف مساعد ثاني
لشهب السنة	أستاذ محاضر ب	ممتحنا
بيشي إسماعيل	أستاذ محاضر أ	ممثل مركز تطوير المقاولاتية
رزاق موسى	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 01
العابد عبد القادر	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 02

الموسم الجامعي: 2025 - 2026

فهرس المحتويات

مقدمة **1**

1 وصف فكرة المشروع **2**

1.1 فكرة المشروع 2

2.1 أهداف المشروع 2

3.1 تسمية المشروع 3

4.1 موقع المشروع وأسباب اختياره 3

5.1 المنتج وطريقة التشغيل 3

6.1 الزبائن المستهدفون 4

7.1 الموقع وقنوات التشغيل 4

8.1 فريق العمل 5

2 نموذج العمل التجاري BMC **6**

1.2 شرائح العملاء (Customer Segments) 6

2.2 القيمة المقترحة (Value Proposition) 8

3.2 العلاقات مع العملاء (Customer Relationships) 8

4.2 القنوات (Channels) 8

5.2 مصادر الإيرادات (Revenue Streams) 8

6.2 الأنشطة الرئيسية (Key Activities) 9

7.2 الموارد الرئيسية (Key Resources) 9

8.2 الشراكات الرئيسية (Key Partners) 9

9.2 هيكل التكاليف (Cost Structure) 9

3 تحليل SWOT **10**

1.3 تحليل SWOT للمشروع 10

1.1.3 نقاط القوة (Strengths) 10

2.1.3 نقاط الضعف (Weaknesses) 11

3.1.3 الفرص (Opportunities) 11
4.1.3 التهديدات (Threats) 11

4 دراسة السوق واستراتيجية التسويق **12**
1.4 تحديد السوق والزبائن 12
2.4 دراسة المنافسين 12
1.2.4 المنافسون المباشرون 13
2.2.4 المنافسون غير المباشرين 13
3.4 تقييم المخاطر 13
4.4 تقدير تكاليف و إيرادات المشروع 14

5 الجوانب القانونية والإجرائية **17**
1.5 الشكل القانوني المناسب للمشروع 17

الخاتمة العامة **18**

النموذج الأولي **22**

مقدمة

تُعد المقاولاتية من أهم الوسائل التي تساهم في تشجيع الابتكار وخلق فرص العمل من خلال تحويل الأفكار إلى مشاريع اقتصادية قابلة للتجسيد. وتكتسب المشاريع المصغرة أهمية كبيرة لكونها تساهم في دعم التنمية المحلية وتوفير حلول عملية لمختلف المشكلات التي تواجه المجتمع.

وفي هذا السياق، يندرج مشروعنا ضمن مجال الزراعة الذكية، حيث يهدف إلى تطوير نظام ذكي لمراقبة خصائص التربة والتحكم في عملية الري باستعمال تطبيق محمول. ويسعى هذا المشروع إلى المساهمة في ترشيد استهلاك المياه وتحسين متابعة المحاصيل الزراعية من خلال توظيف التقنيات الحديثة في خدمة القطاع الفلاحي.

1 - وصف فكرة المشروع

1.1 فكرة المشروع

فكرة مشروعنا ببساطة تتمثل في تصميم وإنجاز نظام ذكي يراقب حالة التربة ويسير عملية السقي آلياً. اعتمدنا في هذا الحل على ربط مجموعة من الحساسات بلوحة إلكترونية وتطبيق هاتف قمنا بتطويره خصيصاً لهذا الغرض. الهدف الأساسي من هذا العمل هو تزويد الفلاح بمعلومات دقيقة ومباشرة عن أرضه، لكي يبني قراراته على أرقام حقيقية ومدروسة بدل الاعتماد على التخمين أو التقدير العشوائي.

عملياً، يقوم نظامنا بقياس أهم العوامل التي تؤثر على صحة النبات، وهي: نسبة الرطوبة، حرارة التربة، درجة الحموضة (pH)، والموصلية الكهربائية (EC). تُرسل كل هذه القراءات فوراً إلى تطبيق الهاتف لكي نتمكن من متابعتها عن بعد وفي أي وقت. بالإضافة إلى ذلك، برمجنا النظام ليتحكم في مضخة الماء بشكل ذاتي؛ حيث تشتغل آلياً بمجرد أن تنخفض رطوبة التربة وتتوقف فور وصولها للمستوى الكافي.

نرى أن هذا المشروع يقدم حلاً ملموساً للعديد من المشاكل اليومية في قطاع الفلاحة، وخاصة مشكلة تبذير مياه السقي وصعوبة مراقبة الحقول باستمرار. فمن خلال توظيف هذه التقنيات الحديثة، يمكننا مساعدة المزارعين على ترشيد استهلاك المياه، تقليل الجهد اليومي الملقى على عاتقهم، وبالتالي تحسين مردودية المحاصيل بطريقة أكثر فعالية واستدامة.

2.1 أهداف المشروع

- **المراقبة اللحظية:** تتبع حالة التربة خطوة بخطوة وقراءة أهم التغيرات التي تطرأ عليها (مثل نسبة الرطوبة، الحرارة، مستوى الحموضة pH، والموصلية الكهربائية EC).
- **سهولة الوصول للمعلومة:** تصميم واجهة تطبيق بسيطة وعملية تضع كل هذه القراءات في هاتف المستخدم ليطلع عليها في أي وقت.
- **الاقتصاد في المياه:** وقف الهدر المائي من خلال ربط تشغيل المضخة بحاجة التربة الفعلية للماء، وليس بالتقدير العشوائي.
- **تخفيف الجهد البشري:** تقليل حاجة المزارع للتواجد المستمر في الحقل وتفقد الأرض يدوياً.
- **حفظ وتوثيق البيانات:** إنشاء قاعدة بيانات تسجل القياسات القديمة، مما يسمح للفلاح بمراجعتها لاحقاً لدراسة تطور حقله وبناء قرارات صحيحة للمواسم القادمة.

- **رفع جودة المحصول:** لأن توفير بيئة نمو مستقرة ومدروسة للنبتة ينعكس مباشرة على تحسين الإنتاج.
- **توفير حل اقتصادي:** تصميم جهاز بتكلفة معقولة ليكون في متناول أصحاب المزارع البسيطة والمتوسطة، وليس حكراً على المشاريع الكبرى فقط.
- **نشر ثقافة التكنولوجيا الزراعية:** تشجيع المزارعين على تجربة تبني تقنيات "الزراعة الذكية" لضمان استدامة الموارد الطبيعية.

3.1 تسمية المشروع

Smart irrigation: نظام ذكي لمراقبة خصائص التربة وإدارة عملية الري باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء وتطبيقات الهواتف الذكية.

4.1 موقع المشروع وأسباب اختياره

عندما فكرنا في الفئة المستهدفة والمكان الأنسب لتطبيق مشروعنا، وجهنا تركيزنا بالأساس نحو الأراضي الزراعية التي تعتمد على السقي المستمر وتواجه صعوبات حقيقية في تسيير الموارد المائية.

تتأكد الحاجة لنظامنا أكثر في المناطق التي تتميز بحرارة مرتفعة ونقص أو تذبذب في مصادر المياه، وخاصة في المزارع الشاسعة. ففي ظروف بيئية كهذه، يصبح من المتعب والمكلف جداً للفلاح أن يعتمد على الطرق التقليدية لمراقبة حالة التربة، كما أن السقي اليدوي لمساحات كبيرة يأخذ منه وقتاً وجهداً كبيرين، ناهيك عن الهدر المحتمل للماء بسبب سوء التقدير.

من هنا جاء اختيارنا وتصميمنا لهذا المشروع، ليكون حلاً عملياً يخفف من هذا العبء. فالنظام الذي طورناه يزود المزارع بمعلومات دقيقة ومباشرة عن حالة أرضه، ويأخذ عنه عبء اتخاذ قرار السقي. وبناءً على ذلك، نرى أن هذا الحل قابل للتطبيق والنجاح في أي بيئة زراعية تحتاج إلى مراقبة دائمة للتربة وتحكم ذكي ودقيق في استهلاك المياه، من أجل الحد من التبذير ورفع مردودية الإنتاج.

5.1 المنتج وطريقة التشغيل

يتمثل المشروع في تطوير نظام ذكي لمراقبة خصائص التربة وإدارة عملية الري بالاعتماد على تقنيات الاستشعار وتطبيقات الهواتف الذكية.

يتكون النظام من جهاز إلكتروني مزود بمجموعة من الحساسات القادرة على قياس مؤشرات مختلفة تشمل رطوبة التربة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية (EC)، ثم إرسال هذه البيانات لاسلكياً إلى تطبيق محمول يتيح للمستخدم متابعتها واتخاذ القرارات المناسبة. كما يوفر النظام إمكانية التحكم في تشغيل المضخة بشكل تلقائي أو يدوي حسب احتياجات التربة.

من الميزات المهمة التي حرصنا على إضافتها للتطبيق هي خاصية تسجيل القراءات وتخزينها في قاعدة بيانات. هذا الخيار يسمح للفلاح بالعودة لتاريخ القياسات السابقة وتصدير البيانات ومشاركتها للحصول على استشارات دقيقة.

تمر عملية إنجاز المنتج بالمراحل التالية:

- اقتناء المكونات الإلكترونية والحساسات.
- تجميع الدارة الإلكترونية وربط مختلف المكونات.
- برمجة المتحكم الإلكتروني وتطوير وظائف النظام.
- تطوير التطبيق المحمول وربطه بالجهاز.
- اختبار النظام والتأكد من دقة القياسات وسلامة التشغيل.
- تركيب المنتج وتجهيزه للتسويق.

أما التجهيزات والعتاد اللازم فتشمل: حاسوب للتطوير، متحكم ESP32، حساسات (الرطوبة، الحرارة، pH، EC)، مضخة مياه، مرحل (Relay)، ومعدات التركيب.

6.1 الزبائن المستهدفون

يوجه المشروع إلى مختلف الفاعلين في القطاع الزراعي:

- المزارعون الأفراد الذين يديرون استغلالات صغيرة ومتوسطة.
- أصحاب البيوت البلاستيكية الذين يحتاجون إلى مراقبة دقيقة للظروف الزراعية داخل البيئات المغلقة.
- المستثمرون في المجال الفلاحي والمؤسسات الزراعية الواسعة.
- المشاتل والحدائق والمساحات الخضراء.

7.1 الموقع وقنوات التشغيل

يوجه المشروع إلى المناطق التي تعرف نشاطًا زراعيًا وتعتمد على الري بشكل مستمر. يتم توفير المنتج عبر عدة قنوات توزيع تشمل البيع المباشر للمزارعين، والتعاون مع المؤسسات الزراعية والتعاونيات الفلاحية، إضافة إلى التسويق الرقمي عبر وسائل التواصل الاجتماعي.

القيم المقترحة

- **أداة ذكية وعملية للتسيير الدقيق:** استبدال الطرق التقليدية بنظام يقرأ البيانات الحيوية للتربة وينقلها مباشرة لهاتف المستخدم.
- **الاقتصاد في مياه السقي:** ربط أمر تشغيل المضخة بالحاجة الفعلية للتربة فقط.
- **الدمج بين المراقبة اللحظية والتحكم الآلي:** توفير جهاز واحد يجمع بين المراقبة عن بعد واتخاذ الإجراءات آلياً.
- **إراحة المزارع وتوفير راحة البال:** تقليل الجهد اليومي والتدخل اليدوي المستمر.

- **قرارات مبنية على أرقام دقيقة:** التخلص من العشوائية في تسيير المزرعة.
- **رفع مردودية المحاصيل:** توفير بيئة نمو مثالية ومستقرة.
- **تخزين البيانات:** الاحتفاظ بسجلات القراءات وتقييمها على المدى الطويل.
- **حل اقتصادي وبسيط:** واجهة استخدام سهلة تناسب الفلاحين المحترفين وهواة الزراعة.

8.1 فريق العمل

يعتمد عملنا على فريق متكامل يجمع بين المهارات التقنية، الزراعية، والتجارية:

- **مسير المشروع:** المنسق العام المشرف على سير العمل واتخاذ القرارات اليومية.
- **مهندس الأنظمة المدمجة (Hardware):** يتكفل بتصميم الدارة الإلكترونية، وتوصيل الحساسات، وبرمجة الجهاز.
- **مطور تطبيق الهاتف (Software):** يقوم بتطوير التطبيق ليكون بسيطاً ويسهر على إدارة قاعدة البيانات.
- **مستشار أو تقني زراعي:** لتوجيهنا وتزويدنا بالمعايير الصحيحة لخصائص التربة.
- **مسؤول التسويق والمبيعات:** يتولى التعريف بالمنتج والتواصل المباشر مع الفلاحين لفهم احتياجات السوق.

في البداية يمكن أن يغطي الشخص الواحد أكثر من دور لتقليل التكاليف، ومع توسع النشاط سيتم توظيف كفاءات إضافية.

2 - نموذج العمل التجاري BMC

1.2 شرائح العملاء (Customer Segments)

يستهدف مشروع نظام الري الذكي ومراقبة خصائص التربة مجموعة متنوعة من العملاء داخل القطاع الزراعي، وذلك وفقًا لطبيعة نشاطهم واحتياجاتهم المتعلقة بإدارة الموارد المائية ومتابعة حالة التربة.

1. المزارعون الأفراد
تشمل هذه الفئة أصحاب الحيازات الزراعية الصغيرة والمتوسطة الذين يعتمدون على الري بشكل دوري ويواجهون صعوبة في تحديد الكميات المناسبة من المياه. يساعدهم النظام على مراقبة حالة التربة بصورة مستمرة واتخاذ قرارات أكثر دقة فيما يتعلق بالسقي، مما يساهم في تقليل استهلاك المياه وتحسين الإنتاج.

2. أصحاب البيوت البلاستيكية
تتميز البيوت البلاستيكية بحاجتها إلى متابعة دقيقة للظروف الزراعية بسبب تأثيرها المباشر على نمو المحاصيل وجودتها. لذلك يوفر المشروع إمكانية مراقبة مؤشرات التربة بشكل لحظي والتحكم في عملية الري بما يتوافق مع احتياجات النباتات داخل البيئة المغلقة.

3. المستثمرون في المجال الفلاحي
تشمل هذه الفئة الأفراد أو الجهات التي تدير مشاريع زراعية بهدف تحقيق مردودية اقتصادية أكبر. ويتيح لهم المشروع تحسين إدارة الموارد، وتقليل تكاليف التشغيل، ورفع كفاءة الإنتاج من خلال الاعتماد على البيانات بدل التقدير التقليدي.

4. المؤسسات والمستثمرات الزراعية
تشمل المزارع والمؤسسات ذات المساحات الزراعية الواسعة التي تحتاج إلى حلول تقنية لتسهيل متابعة التربة وتقليل الاعتماد على المراقبة اليدوية، إضافة إلى تحسين تنظيم عمليات الري.

5. أصحاب المشاتل والحدائق والمساحات الخضراء
تستهدف هذه الفئة الجهات التي تعمل في إنتاج النباتات أو تسيير الحدائق، حيث يساعد النظام على الحفاظ على الظروف المناسبة للنباتات وتقليل الاستهلاك غير الضروري للمياه.

6. الجهات المهتمة بالحلول الزراعية الحديثة
وتضم الهيئات أو المشاريع التي تتبنى تقنيات الزراعة الذكية وتسعى إلى إدماج الأنظمة الرقمية في مراقبة وتحسين العمليات الزراعية.

وبذلك يستهدف المشروع فئات متعددة تختلف في حجم النشاط الزراعي، لكنها تتشارك في الحاجة إلى مراقبة التربة وتحسين كفاءة استخدام المياه ورفع جودة الإنتاج.

<table>
<tr>
<td rowspan="2">شرائح العملاء

• المزارعون الأفراد.
• أصحاب البيوت البلاستيكية.
• المستثمرون في المجال الفلاحي.
• المؤسسات والمستثمرات الزراعية.
• مشاتل النباتات والحدائق.</td>
<td>العلاقة مع العملاء

• تقديم الدعم الفني والإجابة عن استفسارات المستخدمين.
• مرافقة الزبون في تركيب النظام واستعمال التطبيق.
• توفير تحديثات دورية لتحسين أداء التطبيق والنظام.
• متابعة آراء الزبائن واقتراحاتهم لتطوير الخدمة.
• الحفاظ على التواصل المستمر عبر المنصات الرقمية ووسائل الاتصال.</td>
<td rowspan="2">القيمة المقترحة

• مراقبة آنية للتربة.
• ترشيد استهلاك المياه.
• التحكم الذكي في الري.
• متابعة عبر الهاتف المحمول.
• تقليل الجهد والتكاليف.
• حفظ وتحليل البيانات.
• تحسين الإنتاج الزراعي.</td>
<td rowspan="2">الأنشطة الرئيسية

• تصميم وتجميع الجهاز الإلكتروني وربط الحساسات.
• تطوير التطبيق المحمول وتحسين وظائفه.
• جمع بيانات التربة ومعالجتها وعرضها للمستخدم.
• اختبار النظام والتأكد من دقة القياسات وكفاءة التشغيل.
• تركيب النظام ومتابعة تشغيله لدى الزبائن.
• تقديم الدعم الفني والصيانة الدورية.
• التسويق والتعريف بالمنتج وتطويره باستمرار.</td>
<td rowspan="2">الشراكات الرئيسية

• موردو المكونات الإلكترونية لتوفير الحساسات وقطع النظام.
• المؤسسات والتعاونيات الفلاحية للوصول إلى الفئة المستهدفة.
• المستثمرات الزراعية لتجربة النظام وتقييم أدائه.
• مزودو الخدمات التقنية لتطوير التطبيق وحفظ البيانات.
• هيئات دعم المؤسسات الناشئة والمشاريع المصغرة للمرافقة والدعم.
• شركاء التسويق والتوزيع للتعريف بالمنتج وتوسيع انتشاره.</td>
</tr>
<tr>
<td>قنوات البيع

• البيع المباشر للمزارعين والمستثمرات الزراعية.
• التسويق عبر مواقع التواصل الاجتماعي والمنصات الرقمية.
• المشاركة في المعارض والتظاهرات الفلاحية.
• التعاون مع التعاونيات والمؤسسات الزراعية.
• التوزيع عبر محلات ومنافذ بيع التجهيزات الزراعية.</td>
<td>الموارد الرئيسية

• الحساسات والمكونات الإلكترونية الخاصة بقياس خصائص التربة.
• الجهاز ووحدة التحكم المستخدمة في تشغيل النظام.
• التطبيق المحمول وقاعدة البيانات الخاصة بحفظ المعلومات.
• الموارد البشرية المتخصصة في البرمجة والإلكترونيات.
• معدات التطوير والاختبار والصيانة.
• المعرفة التقنية والخبرة في المجال.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">مصادر الإيرادات

• الري الذكي للمزارعين والمؤسسات الزراعية.
• تقديم خدمات تركيب وتشغيل النظام.
• خدمات الصيانة والمتابعة التقنية الدورية.
• تطوير وإضافة خصائص أو تحديثات مستقبلية للتطبيق.
• تقديم خدمات تحليل وحفظ البيانات الزراعية مستقبلاً.</td>
<td colspan="3">هيكلية التكاليف

• تكاليف شراء الحساسات والمكونات الإلكترونية.
• تكاليف تصنيع وتجميع الجهاز.
• تكاليف تطوير التطبيق وصيانته.
• تكاليف البرمجة والاختبارات التقنية.
• تكاليف التسويق والترويج للمنتج.
• تكاليف النقل والتركيب وخدمة ما بعد البيع.</td>
</tr>
</table>

جدول 1.2: مخطط نموذج العمل التجاري BMC

2.2 القيمة المقترحة (Value Proposition)

يقوم المشروع على تقديم حل ذكي يساهم في تحسين إدارة الري ومراقبة خصائص التربة من خلال الاعتماد على تقنيات الاستشعار والتطبيقات المحمولة. ويوفر النظام إمكانية متابعة مؤشرات التربة بصورة آنية تشمل الرطوبة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية (EC)، الأمر الذي يساعد المستخدم على اتخاذ قرارات مبنية على بيانات فعلية بدل الاعتماد على التقدير التقليدي.

وتكمن القيمة التي يقدمها المشروع في تقليل استهلاك المياه، وتبسيط عملية المراقبة الزراعية، وتخفيض الجهد المبذول، إضافة إلى دعم الإنتاج الزراعي عبر توفير معلومات تساعد على تحسين ظروف نمو النباتات.

3.2 العلاقات مع العملاء (Customer Relationships)

يعتمد المشروع على بناء علاقة مستمرة مع العملاء تقوم على المرافقة التقنية والمتابعة بعد اقتناء النظام. ويتم ذلك من خلال تقديم الدعم الفني أثناء التركيب والتشغيل، والاستجابة للاستفسارات والمشكلات التي قد تواجه المستخدم، إضافة إلى توفير تحديثات دورية تساهم في تحسين أداء التطبيق والنظام.

كما يسعى المشروع إلى الحفاظ على رضا العملاء من خلال التواصل المستمر وجمع الملاحظات بما يسمح بتطوير الخدمة بصورة تتوافق مع احتياجات المستخدمين.

4.2 القنوات (Channels)

يعتمد المشروع على مجموعة من القنوات للوصول إلى العملاء وضمان تقديم المنتج بطريقة فعالة. وتشمل هذه القنوات التسويق الرقمي عبر المنصات الإلكترونية ووسائل التواصل الاجتماعي، إضافة إلى البيع المباشر والتعاون مع المؤسسات والتعاونيات الفلاحية.

كما يمكن الاستفادة من المعارض والأنشطة المرتبطة بالمجال الزراعي للتعريف بالنظام وتوسيع دائرة المستفيدين منه.

5.2 مصادر الإيرادات (Revenue Streams)

يعتمد المشروع على تحقيق الإيرادات أساسًا من خلال بيع النظام الذكي للمستخدمين، إلى جانب توفير خدمات مرتبطة بتركيب الجهاز وتشغيله. كما يمكن تعزيز الإيرادات مستقبلاً من خلال خدمات الصيانة والدعم التقني، وإضافة خصائص متقدمة داخل التطبيق أو تقديم خدمات تحليل البيانات الزراعية.

ويهدف تنويع مصادر الإيرادات إلى ضمان استمرارية المشروع ودعم إمكانيات تطويره.

6.2 الأنشطة الرئيسية (Key Activities)

ترتكز الأنشطة الأساسية للمشروع على تصميم وتجميع النظام الإلكتروني وتطوير التطبيق المسؤول عن عرض البيانات وإدارة عملية الري. كما تشمل عمليات الاختبار والمعايرة للتأكد من دقة القياسات وجودة الأداء.

وتشمل الأنشطة كذلك متابعة التشغيل، تحسين الخدمات المقدمة، وتطوير النظام بما يتوافق مع احتياجات المستخدمين.

7.2 الموارد الرئيسية (Key Resources)

يعتمد المشروع على مجموعة من الموارد الضرورية لضمان تشغيله واستمراريته، وتشمل الموارد التقنية المتمثلة في الحساسات والمكونات الإلكترونية والتطبيق وقواعد البيانات.

كما يعتمد على الموارد البشرية المتمثلة في الكفاءات المتخصصة في البرمجة والإلكترونيات والمتابعة التقنية، إضافة إلى المعرفة والخبرة اللازمة لتطوير حلول الزراعة الذكية.

8.2 الشراكات الرئيسية (Key Partners)

يقوم المشروع على التعاون مع عدة جهات تساهم في دعمه وتطويره، وتشمل موردي المكونات الإلكترونية، والمؤسسات الفلاحية، والجهات الداعمة للمشاريع المصغرة.

كما تمثل الجهات التقنية وشركاء التسويق عنصرًا مهمًا في ضمان وصول المنتج إلى السوق وتحسين فرص نجاحه.

9.2 هيكل التكاليف (Cost Structure)

يتضمن المشروع مجموعة من التكاليف المرتبطة بمراحل التطوير والتشغيل، وتشمل تكاليف اقتناء الحساسات والمعدات الإلكترونية، وتكاليف تطوير التطبيق وتجميع النظام.

كما تشمل التكاليف عمليات الاختبار والصيانة والتسويق وخدمات ما بعد البيع، بهدف ضمان جودة المنتج واستمرارية تقديم الخدمة.

3 - تحليل SWOT

1.3 تحليل SWOT للمشروع

نقاط القوة (Strengths)	نقاط الضعف (Weaknesses)
- مشروع مبتكر يجمع بين الزراعة الذكية و IoT. - مراقبة آنية لمؤشرات التربة (pH, EC، الرطوبة، الحرارة). - تحكم آلي ويدوي عبر تطبيق محمول. - المساهمة في ترشيد استهلاك المياه وتقليل الهدر. - سهولة الاستخدام والمراقبة عن بعد. - قابلية النظام للتطوير المستقبلي.	- محدودية شهرة المنتج في السوق عند الانطلاق. - الحاجة إلى تمويل إضافي للتطوير والتسويق. - الاعتماد على توفر شبكة الإنترنت في مناطق قد تكون نائية. - حاجة بعض المستخدمين للتدريب التقني. - تكاليف الصيانة الدورية.
الفرص (Opportunities)	**التهديدات (Threats)**
- تزايد الاهتمام بالزراعة الذكية وترشيد استهلاك المياه. - دعم الدولة للمشاريع الابتكارية في الفلاحة. - سوق زراعية واسعة متعطشة للحلول الرقمية. - عقد شراكات استراتيجية مع التعاونيات. - إمكانية دمج الذكاء الاصطناعي مستقبلاً.	- تردد بعض المزارعين في تبني التقنيات الجديدة. - ظهور منافسين بحلول مشابهة. - تقلب أسعار المكونات الإلكترونية في السوق. - التطور التكنولوجي السريع الذي يتطلب تحديثات مستمرة. - الظروف البيئية القاسية وتأثيرها على العتاد.

جدول 1.3: تحليل SWOT للمشروع

1.1.3 نقاط القوة (Strengths)

يتميز مشروع نظام الري الذكي بعدة نقاط قوة تجعله قادرًا على تقديم قيمة مضافة للمستخدمين في القطاع الزراعي. فهو يجمع بين تقنيات إنترنت الأشياء وتطبيقات الهواتف الذكية من أجل توفير مراقبة آنية لخصائص التربة والتحكم في عملية الري بطريقة أكثر دقة وفعالية. كما يساهم النظام في ترشيد استهلاك المياه وتحسين إدارة الموارد المائية، وهو ما يتوافق مع التوجهات الحديثة للزراعة الذكية.

2.1.3 نقاط الضعف (Weaknesses)

رغم المزايا التي يوفرها المشروع، إلا أنه يواجه بعض نقاط الضعف التي قد تؤثر على انتشاره في المراحل الأولى. من أبرزها محدودية شهرة المنتج في السوق مقارنة بالحلول التقليدية المعروفة، إضافة إلى الحاجة إلى موارد مالية لتغطية تكاليف التطوير والتسويق، وضعف أو انعدام تغطية شبكة الإنترنت في بعض المناطق.

3.1.3 الفرص (Opportunities)

يستفيد المشروع من وجود فرص عديدة تدعم إمكانية نجاحه وتطوره مستقبلاً. ويأتي في مقدمتها التوسع المتزايد في استخدام التكنولوجيا داخل القطاع الزراعي، والاهتمام المتنامي بالحلول التي تساعد على ترشيد استهلاك المياه وتحسين الإنتاجية.

4.1.3 التهديدات (Threats)

قد يواجه المشروع بعض التحديات الخارجية التي تؤثر على نموه واستمراريته، من بينها تردد بعض المزارعين في تبني التقنيات الحديثة، ظهور منافسين يمتلكون إمكانيات مالية أو تقنية أكبر، والتقلبات في أسعار المكونات الإلكترونية.

4 - دراسة السوق واستراتيجية التسويق

1.4 تحديد السوق والزبائن

ينتمي مشروع IoT SoilSense إلى سوق التقنيات الزراعية الذكية، وهو سوق يشهد نمواً متزايداً نتيجة الحاجة إلى تحسين استغلال الموارد المائية ورفع كفاءة الإنتاج الزراعي. ويستهدف المشروع بشكل أساسي المزارعين وأصحاب المستثمرات الزراعية الذين يبحثون عن حلول حديثة لمراقبة التربة والتحكم في عمليات الري بطريقة أكثر دقة وفعالية. أما من حيث الزبائن المستهدفين، فيشمل المشروع الفلاحين أصحاب الحيازات الصغيرة والمتوسطة، وأصحاب البيوت البلاستيكية، والمشاتل الزراعية، إضافة إلى المستثمرين في القطاع الزراعي. وتتميز هذه الفئة بالحاجة المستمرة إلى متابعة حالة التربة وتقليل استهلاك المياه وتحسين مردودية المحاصيل الزراعية. وبالنسبة للخصائص العامة للزبائن، فإنهم ينتمون إلى مختلف الفئات العمرية النشطة في المجال الزراعي، مع تفاوت في مستوى الدخل حسب حجم النشاط الزراعي. ويرتكز المشروع في مرحلته الأولى على السوق المحلية، خاصة المناطق ذات النشاط الزراعي المكثف، مع إمكانية التوسع مستقبلاً إلى أسواق أوسع على المستوى الوطني. ويمثل المشروع حلاً عملياً لفئة من الزبائن تسعى إلى تبني التكنولوجيا الحديثة في الزراعة، لما يوفره من سهولة في المتابعة واتخاذ القرار اعتماداً على بيانات دقيقة وفورية حول حالة التربة واحتياجات الري.

2.4 دراسة المنافسين

تُعد دراسة المنافسين من المراحل الأساسية في إعداد المشروع، إذ تسمح بالتعرف على الحلول المتوفرة في السوق وتحديد نقاط القوة والضعف فيها، مما يساعد على إبراز المزايا التنافسية التي يقدمها المشروع. وفي حالة مشروعنا، يمكن تصنيف المنافسين إلى منافسين مباشرين وآخرين غير مباشرين. يتمثل المنافسون المباشرون في الشركات والمؤسسات التي توفر أنظمة مراقبة التربة والري الذكي المعتمدة على الحساسات والتطبيقات الرقمية، حيث تتميز هذه الأنظمة بدقة القياس وتعدد الوظائف، إلا أن أسعارها غالبًا ما تكون مرتفعة بالنسبة لصغار المزارعين، كما أن بعضها يتطلب تجهيزات معقدة أو اشتراكات إضافية للاستفادة من جميع الخدمات. أما المنافسون غير المباشرين فيشملون الوسائل التقليدية المعتمدة في متابعة حالة التربة وعمليات الري، مثل الاعتماد على الخبرة الشخصية للمزارع أو أجهزة القياس المنفصلة التي لا توفر إمكانية المراقبة عن بعد أو حفظ البيانات وتحليلها. ومن خلال تحليل المنافسة، يتبين أن مشروعنا يتميز بتقديم حل متكامل يجمع بين مراقبة خصائص التربة وعرض البيانات عبر تطبيق هاتفي سهل الاستخدام، مع إمكانية متابعة القراءات في الزمن الحقيقي وتخزينها وتحليلها. كما يساهم في ترشيد استهلاك المياه وتبسيط عملية اتخاذ القرار الزراعي، مما يمنحه قيمة مضافة مقارنة بالحلول التقليدية وبعض الأنظمة المتوفرة في السوق.

1.2.4 المنافسون المباشرون

يتمثل المنافسون المباشرون في الشركات التي توفر أنظمة مراقبة التربة والري الذكي المعتمدة على الحساسات، حيث تتميز بدقة القياس لكن أسعارها غالبًا ما تكون مرتفعة.

المنافس	نقاط القوة	نقاط الضعف
أنظمة الري الآلي التقليدية	منتشرة ومعروفة	لا توفر مراقبة دقيقة للتربة
أجهزة قياس التربة المستوردة	دقة جيدة	أسعار مرتفعة
أنظمة IoT الزراعية الأجنبية	خصائص متقدمة	تكلفة مرتفعة وصعوبة الصيانة

جدول 1.4: تحليل المنافسين المباشرين

2.2.4 المنافسون غير المباشرين

يشملون الوسائل التقليدية المعتمدة في متابعة حالة التربة وعمليات الري.

المنافس	نقاط القوة	نقاط الضعف
الري اليدوي	تكلفة أولية منخفضة	استهلاك كبير للمياه
الخبرة الشخصية للفلاح	لا تحتاج أجهزة وتكاليف	غير دقيقة وتعتمد على التخمين

جدول 2.4: تحليل المنافسين غير المباشرين

3.4 تقييم المخاطر

تُعد عملية تقييم المخاطر خطوة ضرورية لدراسة مختلف العوامل التي قد تؤثر على نجاح المشروع واستمراريته. فبالرغم من المزايا التي يقدمها نظامنا، إلا أن المشروع قد يواجه بعض التحديات خلال مراحل التطوير والتسويق والتشغيل. من بين أهم المخاطر المحتملة ضعف إقبال الزبائن في المراحل الأولى من إطلاق المنتج، خاصة بسبب محدودية المعرفة بالتقنيات الزراعية الذكية لدى بعض المزارعين وتفضيلهم للطرق التقليدية. كما قد يشكل نقص التمويل عائقًا أمام تطوير المشروع وتوسيع نشاطه، لاسيما فيما يتعلق بتغطية تكاليف التصنيع والتسويق والصيانة. ومن المخاطر الأخرى احتمال ظهور منافسين يقدمون منتجات مشابهة أو أكثر تطورًا، مما يستدعي العمل المستمر على تحسين النظام وإضافة مزايا جديدة للحفاظ على القدرة التنافسية. كما يمكن أن تؤثر التقلبات في أسعار المكونات الإلكترونية على تكلفة الإنتاج، وهو ما قد ينعكس على سعر المنتج النهائي. إضافة إلى ذلك، قد تواجه المنظومة بعض الأعطال التقنية المرتبطة بالحساسات أو الاتصال بين الجهاز والتطبيق، الأمر الذي يتطلب توفير خدمات دعم وصيانة فعالة لضمان استمرارية عمل النظام وتحقيق رضا المستخدمين. وعلى الرغم من هذه المخاطر، فإن اعتماد استراتيجية مناسبة للتسويق والتطوير المستمر، إلى جانب توفير الدعم الفني اللازم، من شأنه أن يساهم في الحد من آثارها وتعزيز فرص نجاح المشروع واستدامته على المدى الطويل.

الخطر	درجة التأثير	الحل المقترح
ضعف الإقبال في البداية	متوسط	حملات تعريفية وتجارب مجانية
نقص التمويل	مرتفع	البحث عن دعم وتمويلات المؤسسات الناشئة
ظهور منافسين	متوسط	تطوير المنتج باستمرار
أعطال تقنية	متوسط	توفير خدمة صيانة ودعم فني
تقلب أسعار المكونات الإلكترونية	مرتفع	تنويع الموردين وتخزين القطع الأساسية

جدول 3.4: تقييم المخاطر للبيئة الخارجية والداخلية

4.4 تقدير تكاليف و إيرادات المشروع

البيان (دينار جزائري)	N+1	N+2	N+3	N+4
المبيعات والمنتوجات الملحقة	1,800,000	3,600,000	6,300,000	9,000,000
تغيرات المخزونات والمنتجات المصنعة	0	0	0	0
الإنتاج المثبت	0	0	0	0
إعلانات الإستغلال	0	0	0	0
1. إنتاج السنة المالية	**1,800,000**	**3,600,000**	**6,300,000**	**9,000,000**
المشتريات المستهلكة	720,000	1,440,000	2,520,000	3,600,000
الخدمات الخارجية والإستهلاكات الأخرى	180,000	300,000	450,000	600,000
2. إستهلاك السنة المالية	**900,000**	**1,740,000**	**2,970,000**	**4,200,000**
3. القيمة المضافة للإستغلال	**900,000**	**1,860,000**	**3,330,000**	**4,800,000**
أعباء المستخدمين	120,000	240,000	360,000	480,000
الضرائب والرسوم والمدفوعات المماثلة	0	0	0	0
4. إجمالي فائض الإستغلال	**780,000**	**1,620,000**	**2,970,000**	**4,320,000**
المنتجات العملياتية الأخرى	0	0	0	0
الأعباء العملياتية الأخرى	50,000	80,000	120,000	150,000
المخصصات للإهتلاكات والمؤونات وخسارة القيمة	0	0	0	0
إسترجاع على خسائر القيمة والمؤونات	0	0	0	0
5. النتيجة العملياتية	**730,000**	**1,540,000**	**2,850,000**	**4,170,000**
المنتوجات المالية	0	0	0	0
الأعباء المالية	0	0	0	0
6. النتيجة المالية	**0**	**0**	**0**	**0**
7. النتيجة العادية قبل الضرائب (6+5)	**730,000**	**1,540,000**	**2,850,000**	**4,170,000**
الضرائب الواجب دفعها عن النتائج العادية	0	0	0	0
الضرائب المؤجلة (تغيرات) عن النتائج العادية	0	0	0	0
مجموع منتجات الأنشطة العادية	1,800,000	3,600,000	6,300,000	9,000,000
مجموع أعباء الأنشطة العادية	1,070,000	2,060,000	3,450,000	4,830,000
8. النتيجة الصافية للأنشطة العادية	**730,000**	**1,540,000**	**2,850,000**	**4,170,000**
عناصر غير عادية منتجات	0	0	0	0
عناصر غير عادية أعباء	0	0	0	0
9. النتيجة غير عادية	**0**	**0**	**0**	**0**
10. صافي نتيجة السنة المالية	**730,000**	**1,540,000**	**2,850,000**	**4,170,000**

جدول 4.4: جدول حسابات النتائج (TCR)

البيان (دينار جزائري)	N+1	N+2	N+3	N+4
تدفقات الأموال الخزينة المتأتية من الأنشطة العملياتية				
صافي نتيجة السنة المالية	730,000	1,540,000	2,850,000	4,170,000
تصحيحات من أجل :				
الإهتلاكات والأرصدة	0	0	0	0
تغيير الضرائب المؤجلة	0	0	0	0
تغيير المخزونات	20,000-	30,000-	40,000-	50,000-
تغيير الزبائن والحسابات الدائنة الأخرى	10,000-	20,000-	30,000-	50,000-
تغيير الموردين والديون الأخرى	30,000	40,000	50,000	70,000
نقص أو زيادة قيمة التنازل الصافية من الضرائب	0	0	0	0
تدفقات الخزينة الناجمة عن النشاط (أ)	**730,000**	**1,530,000**	**2,830,000**	**4,140,000**
تدفقات أموال الخزينة المتأتية من عمليات الإستثمار				
مسحوبات عن إقتناء تثبيتات	350,000-	100,000-	150,000-	200,000-
تحصيلات التنازل عن تثبيتات	0	0	0	0
تأثير تغيرات محيط الإدماج	0	0	0	0
تدفقات أموال الخزينة المرتبطة بعمليات الإستثمار (ب)	**350,000-**	**100,000-**	**150,000-**	**200,000-**
تدفقات أموال الخزينة المتأتية من عمليات التمويل				
الحصص المدفوعة للمساهمين	0	0	0	0
زيادة رأس المال النقدي	400,000	0	0	0
إصدار قروض	0	0	0	0
تسديد قروض	0	0	0	0
تدفقات أموال الخزينة المرتبطة بعمليات التمويل (ج)	**400,000**	**0**	**0**	**0**
تغير أموال الخزينة للفترة (أ+ب+ج)	**780,000**	**1,430,000**	**2,680,000**	**3,940,000**
أموال عند الإفتتاح	0	780,000	2,210,000	4,890,000
أموال الخزينة عند الإقفال	**780,000**	**2,210,000**	**4,890,000**	**8,830,000**
تغير أموال الخزينة	**780,000**	**1,430,000**	**2,680,000**	**3,940,000**

جدول 5.4: جدول تدفقات الخزينة (TFT)

5 - الجوانب القانونية والإجرائية

1.5 الشكل القانوني المناسب للمشروع

بعد دراسة الخيارات المتاحة، وجدنا أن الصيغة الأنسب لانطلاق مشروعنا هي المؤسسة ذات الشخص الوحيد وذات المسؤولية المحدودة (EURL). لم يكن هذا الاختيار عشوائياً، بل اعتمدنا فيه على عدة مبررات عملية تناسب طبيعة مشروعنا كشركة تكنولوجية مصغرة:

- **استقلالية القرار:** تمنح الحرية الكاملة في التسيير واتخاذ القرارات دون تعقيدات في مرحلة الانطلاق.
- **حماية الممتلكات الشخصية:** يضمن هذا الشكل القانوني أن أي مخاطر مالية محتملة للشركة ستبقى محصورة حصراً في حدود رأس المال المستثمر، مما يجنبنا المخاطرة بالأموال الخاصة.
- **سهولة التأسيس والمرونة:** تتميز الـ EURL ببساطة إجراءاتها الإدارية وسهولة إنشائها، وهو ما يتماشى تماماً مع طموحنا في إطلاق مؤسسة ناشئة (Startup) بطريقة سريعة وبتكاليف قانونية معقولة.

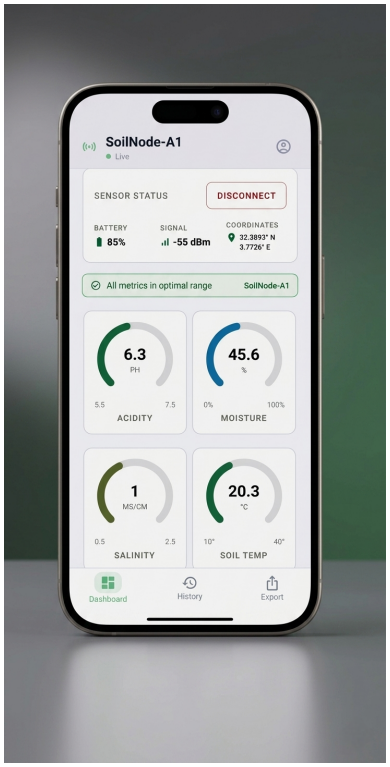
الخاتمة العامة

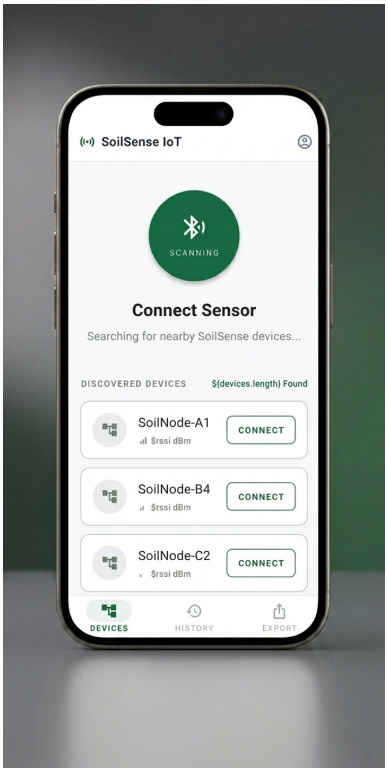
في ختام هذا العمل، تم تصميم وإنجاز نظام ري ذكي يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء بهدف مراقبة خصائص التربة وتحسين إدارة عملية الري. وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها نجاح النظام في قياس مختلف المؤشرات المرتبطة بحالة التربة وإرسالها إلى التطبيق المحمول وعرضها بشكل آني، مما مكّن من متابعة ظروف التربة واتخاذ قرارات أكثر دقة فيما يتعلق بعملية السقي. كما أثبتت التجارب فعالية النظام في الاستجابة لتغيرات رطوبة التربة والمساهمة في أتمتة عملية الري.

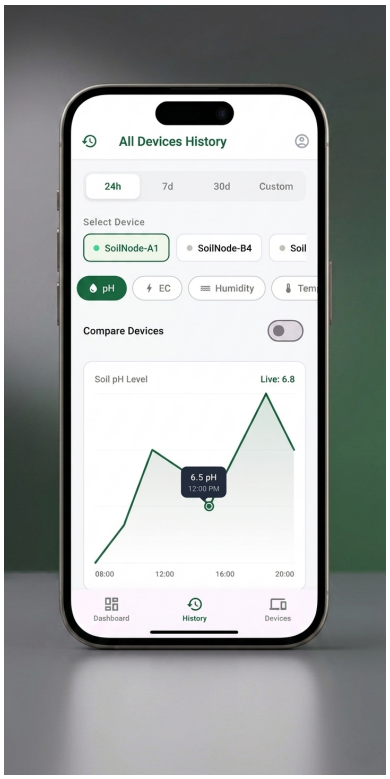
ومن الناحية الاقتصادية، أبرزت الدراسة وجود إمكانات واعدة لتجسيد المشروع وتحويله إلى مؤسسة مصغرة موجهة للقطاع الزراعي، حيث أظهرت دراسة السوق وجود فئات متنوعة من الزبائن المحتملين، على غرار المزارعين وأصحاب البيوت البلاستيكية والمؤسسات الزراعية. كما بيّن تحليل البيئة الداخلية والخارجية للمشروع امتلاكه لمقومات نجاح مهمة تتمثل في طابعه الابتكاري، وسهولة استخدامه، وقدرته على المساهمة في ترشيد استهلاك المياه وتحسين الإنتاج الزراعي.

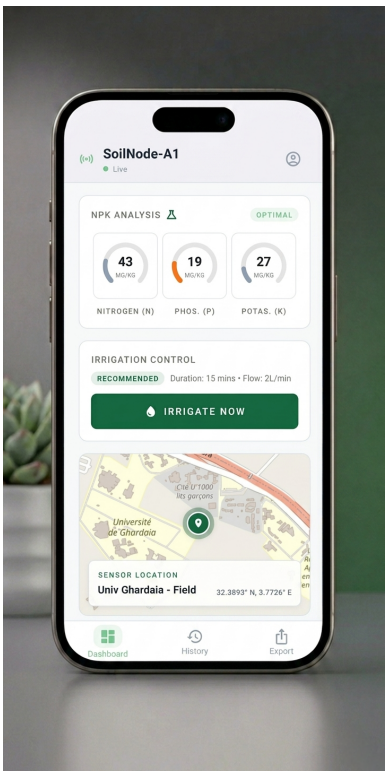
وعمومًا، تؤكد النتائج المحققة أن المشروع يمثل حلاً عملياً يجمع بين التكنولوجيا والقطاع الزراعي، كما يفتح آفاقًا مستقبلية لتطويره من خلال إضافة وظائف جديدة وتحسين قدراته الذكية، بما يدعم توجهات الزراعة الحديثة ويساهم في تحقيق استغلال أكثر كفاءة واستدامة للموارد المائية.

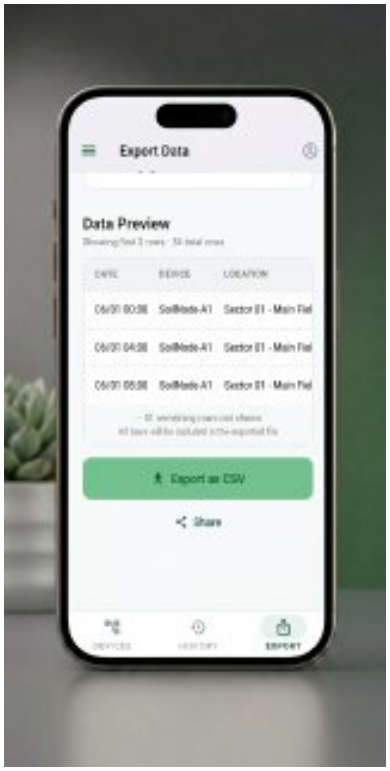
النموذج الاولي

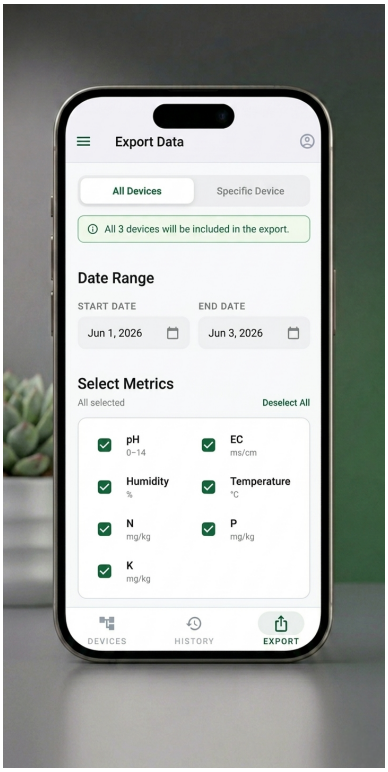

SoilNode-A1
Live
SENSOR STATUS
DISCONNECT
BATTERY
85%
SIGNAL
-55 dBm
COORDINATES
32.3893° N
3.7726° E
All metrics in optimal range
SoilNode-A1
6.3
PH
5.5
7.5
ACIDITY
45.6
%
0%
100%
MOISTURE
1
MS/CM
0.5
2.5
SALINITY
20.3
°C
10°
40°
SOIL TEMP
Dashboard
History
Export

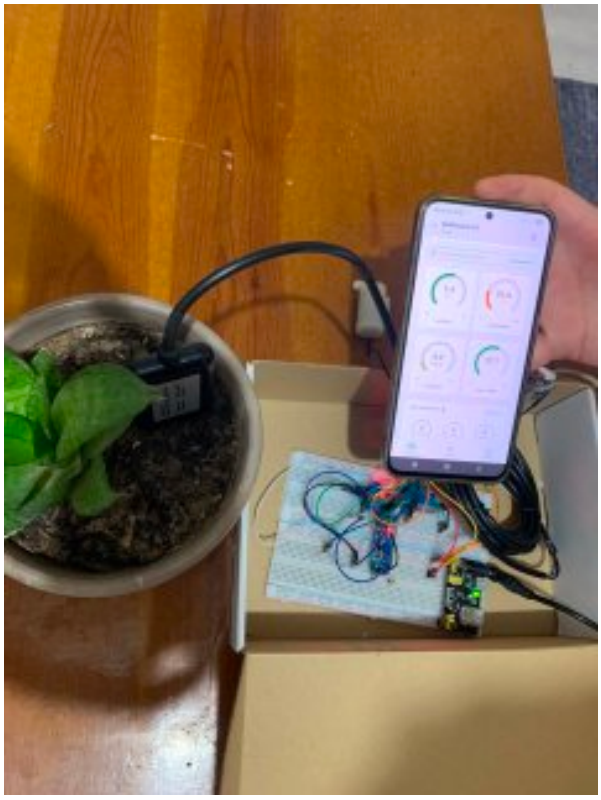

SoilSense IoT
SCANNING
Connect Sensor
Searching for nearby SoilSense devices...
DISCOVERED DEVICES
${devices.length} Found
SoilNode-A1
$rssi dBm
CONNECT
SoilNode-B4
$rssi dBm
CONNECT
SoilNode-C2
$rssi dBm
CONNECT
DEVICES
HISTORY
EXPORT


All Devices History
24h
7d
30d
Custom
Select Device
SoilNode-A1
SoilNode-B4
Soil
pH
EC
Humidity
Compare Devices
Soil pH Level
Live: 6.8
6.5 pH
12:00 PM
08:00
12:00
16:00
20:00
Dashboard
History
Devices


SoilNode-A1
Live
NPK ANALYSIS
OPTIMAL
43
MG/KG
19
MG/KG
27
MG/KG
NITROGEN (N)
PHOS. (P)
POTAS. (K)
IRRIGATION CONTROL
RECOMMENDED
Duration: 15 mins • Flow: 2L/min
IRRIGATE NOW
SENSOR LOCATION
Univ Ghardaia - Field
32.3893° N, 3.7726° E
Dashboard
History
Export


Export Data
Data Preview
Export as CSV
Share
DEVICES
EXPORT


Export Data
All Devices
Specific Device
All 3 devices will be included in the export.
Date Range
START DATE
END DATE
Jun 1, 2026
Jun 3, 2026
Select Metrics
All selected
Deselect All
pH
0–14
EC
ms/cm
Humidity
%
Temperature
°C
N
mg/kg
P
mg/kg
K
mg/kg
DEVICES
HISTORY
EXPORT



شهادات التكوين



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة والمؤسسات المصغرة

NESDA

الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

جامعة غرداية

الرقم: 47/015 / 012

شهـادة تكويـن في المقاولاتية موقتة

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): **محمد رياض جبريط** الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 100011491008420000

الكلية: كلية العلوم والتكنولوجيا

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية و إنشاء المؤسسات المصغرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة: من 2026/04/05 الى 2026/04/23

حرر بغرداية 2026/05/21

مدير تطوير المقاولاتية

CFE

مركز تطوير المقاولاتية
د. راضية عبد الحميد



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة والمؤسسات المصغرة

NESDA

الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

جامعة غرداية

الرقم: 47/015 / 046

شهـادة تكويـن في المقاولاتية موقتة

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): **كمال عماد الدين عجيلة** الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 100020558015260000

الكلية: كلية العلوم والتكنولوجيا

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية و إنشاء المؤسسات المصغرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة: من 2026/04/05 الى 2026/04/23

حرر بغرداية 2026/05/21

مدير تطوير المقاولاتية

CFE

مركز تطوير المقاولاتية
د. راضية عبد الحميد



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة والمؤسسات المصغرة

NESDA

الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

جامعة غرداية

الرقم: 47/015 / 1:54:57

شهـادة تكويـن في المقاولاتية موقتة

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): **عبد المؤمن أحمد المختار شنيني** الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 100041496000500008

الكلية: كلية العلوم والتكنولوجيا

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية و إنشاء المؤسسات المصغرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة: من 2026/04/05 الى 2026/04/23

حرر بغرداية 2026/05/31

مدير تطوير المقاولاتية

CFE

مركز تطوير المقاولاتية
د. راضية عبد الحميد

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'enseignement Supérieur et de La recherche Scientifique

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'hydraulique et de génie civil

إذن بطباعة مذكرة ماستر

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة لمحتوى المذكرة المنجزة بغرض إنشاء مؤسسة مصغرة المنجزة من طرف الطالبين:

جبريط محمد رياض

عجيلة كمال عماد الدين

شنيني عبد المؤمن احمد المختار

تخصص ري حضري

نمنـــــح نحن أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة	الصفة	المؤسسة	التوقيع
مشـــري بشيـــر	أستاذ مساعد أ	رئيســـــا	جامعة غرداية	
أولاد بلخير الشيخ	أستاذ محاضر أ	مشرفا ومقررا	جامعة غرداية	
أولاد النوي نور الدين	أستاذ تعليم عالي	مشرف مساعد أول	جامعة غرداية	
عنيشـل عبد اللـه	أستاذ محاضر أ	مشرف مساعد ثاني	جامعة غرداية	
لشهـب السنـة	أستاذ محاضر ب	ممتحـــن أول	جامعة غرداية	
بيشي إسماعيل	أستاذ محاضر أ	ممثل مركز تطوير المقاولاتية	جامعة غرداية	
رزاق موسى	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 1	CACQE	
العابد عبد القادر	مهندس	ممثل الشريك الاقتصادي 2	مديرية المصالح الفلاحية	

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة الماستر مؤسسة ناشئة تحت عنوان:

تصميم وتطوير نظام ذكي متكامل يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لتحسين جودة التربة.

إمضاء رئيس القسم

جامعة غرداية
قسم الري والهندسة المدنية
كلية العلوم و التكنولوجيا

عبد الكبير إبراهيم
رئيس قسم الري والهندسة المدنية
كلية العلوم و التكنولوجيا

Scanné avec CamScanner