

تقييم الجدوى الفنية لتطبيق مشروع نظام ري ذكي في مجال الزراعة الصحراوية: دراسة حالة مشروع مقترح بالمنطقة الصحراوية بولاية الوادي

Technical Feasibility Assessment of Implementing a Smart Irrigation System Project in Desert Agriculture: A Case Study of a Proposed Project in the Desert Region Of El Oued Province

عبد الرحمان عيسو^{1*} ، مجيد شعباني²

¹ محبر تمويل التنمية في الاقتصاد الجزائري

جامعة أحمد بوقرة بومرداس (الجزائر)، ab.aissou@univ-boumerdes.dz

² محبر مستقبل الاقتصاد الجزائري خارج المحروقات

جامعة أحمد بوقرة بومرداس (الجزائر)، m.chabani@univ-boumerdes.dz

تاريخ النشر: 2026/06/30

تاريخ المراجعة: 2026/06/28

تاريخ الاستلام: 2026/04/26

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجدوى الفنية لإدماج تقنيات الزراعة الذكية القائمة على نظام الري المتعدد في المناطق الصحراوية، من خلال دراسة حالة لمشروع مقترح لمزرعة نموذجية بالمنطقة الصحراوية بولاية الوادي. حيث اعتمدت الدراسة على المنهجي الوصفي التحليلي لتصميم نموذج تقني متكامل يربط بين الحساسات الذكية (ESP32, Soil Moisture) ومنصات المراقبة السحابية. وتوصلت الدراسة إلى أن تطبيق هذا النظام يتيح دقة عالية في مراقبة احتياجات المحاصيل لحظياً، مما يساهم في خفض استهلاك المياه بنسب معتبرة والتكيف مع الخصائص المناخية القاسية للمنطقة، مؤكدة على الجدوى الفنية للمشروع كخيار استراتيجي لتعزيز الأمن الغذائي المستدام في الجنوب الجزائري.

الكلمات المفتاحية: الزراعة الذكية؛ الجدوى الفنية؛ نظم الري المتعدد؛ المنطقة الصحراوية بولاية الوادي.

تصنيف JEL: Q15؛ Q16؛ Q33.

Abstract:

This study aims to evaluate the technical feasibility of integrating smart agriculture technologies based on a multi-irrigation system in desert regions, through a case study of a proposed model farm project in the desert region of El Oued province. The study adopts a descriptive-analytical approach to design an integrated technical model that connects smart sensors (ESP32, Soil Moisture) with cloud monitoring platforms. The findings indicate that the implementation of this system enables high accuracy in real-time monitoring of crop water requirements, contributing to a significant reduction in water consumption and enhancing adaptation to the harsh climatic conditions of the region. The study confirms the technical feasibility of the project as a strategic option to promote sustainable food security in southern Algeria.

Keywords: Smart agriculture; Technical feasibility; Multi-irrigation systems; Desert regions of El-Oued province.

Jel Classification Codes : O15; O16; O33.

I- تمهيد:

تشهد المنظومات الزراعية العالمية في السنوات الأخيرة تحولات عميقة نتيجة التقدم التكنولوجي المتسارع، خاصة في مجالات إنترنت الأشياء (IoT) والأنظمة المدججة والذكاء الاصطناعي وهو ما أدى إلى بروز مفهوم الزراعة الذكية كأحد أهم الحلول المبتكرة لمواجهة تحديات الأمن الغذائي وندرة الموارد وتعتمد هذه الزراعة على توظيف تقنيات حديثة مثل اللواقي الحساسة، وأنظمة الري الذكية والتحكم الآلي بهدف تحسين كفاءة استخدام المياه والطاقة وزيادة الإنتاجية الزراعية. وفي هذا السياق، تبرز دراسة الجدوى الفنية (التقنية)، كأداة تحليلية أساسية لتقييم إمكانية تطبيق هذه التقنيات من الناحية التشغيلية من خلال تحليل البنية التحتية، كفاءة المعدات، قابلية الصيانة ومدى ملائمة هذه التكنولوجيات للبيئة المستهدفة، بما يضمن تحقيق أفضل أداء ممكن بأقل تكلفة.

أما على المستوى الوطني تواجه الزراعة في الجزائر، خاصة في المناطق الصحراوية في الجنوب الكبير، تحديات كثيرة تتعلق أساسا بندرة الموارد المائية، ارتفاع درجات الحرارة وضعف خصائص التربة وهو ما يفرض ضرورة تبني حلول تكنولوجية مبتكرة لضمان استدامة الإنتاج الزراعي، وتعد البيئة الصحراوية مجالا خصبا لتطبيق تقنيات الزراعة الذكية، لاسيما أنظمة الري المتعددة التي تسمح بتكييف طرق الري حسب خصائص التربة والمحاصيل، مما يساهم في ترشيد استهلاك المياه وتحسين مردودية الأراضي الزراعية. غير أن تبني هذه التقنيات يتطلب تقييما دقيقا لجدواها التقنية لضمان نجاحها واستدامتها في ظل الظروف المحلية.

- إشكالية الدراسة

في ظل التحديات المتزايدة التي تواجه القطاع الزراعي في المناطق الصحراوية بالجزائر خاصة ما يتعلق بندرة المياه وارتفاع تكاليف التشغيل، يبرز التساؤل حول مدى فعالية التقنيات الحديثة في تحسين إنتاج الكتلة الزراعية. وعليه، تتمحور إشكالية هذه الدراسة حول: ما مدى الجدوى الفنية لتبني تقنيات الزراعة الذكية في المناطق الصحراوية: دراسة حالة لمزرعة نموذجية ذكية قائمة على نظام الري المتعدد بالمنطقة الصحراوية بولاية الوادي؟

- الأسئلة الفرعية

- ما مفهوم الزراعة الذكية وما أهم تقنياتها المستخدمة؟
- ما هي أهم مكونات النظام التقني للزراعة الذكية (لواقي حساسة، متحكمات، شبكات)؟
- ما مفهوم الجدوى الفنية وماهي أبرز مكونات دراستهما؟
- فيما تكمن التحديات التقنية التي قد تواجه تطبيق هذا النظام في ظل دراسة الجدوى الفنية للمشروع؟
- ما مدى ملائمة هذه التقنيات للبيئة الصحراوية في الجنوب الكبير بولاية الوادي؟

- أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من خلال مساهمتها في إبراز دور التقنيات الحديثة في تطوير القطاع الزراعي، خاصة في البيئات الصحراوية التي تعاني من محدودية الموارد. كما توفر إطارا تحليليا لتقييم الجدوى التقنية للزراعة الذكية، مما يساعد صناع القرار والمستثمرين على تبني حلول فعالة ومستدامة. إضافة إلى ذلك، تساهم الدراسة في تعزيز التوجه نحو استخدام أنظمة ري متطورة تساهم في ترشيد استهلاك المياه وتحسين الإنتاجية.

- أهداف الدراسة

- تحليل مفهوم الزراعة الذكية وأهم تقنياتها؛
- دراسة نظام الري المتعدد كحل تقني لتحسين إدارة المياه؛
- تقييم الجدوى التقنية لتطبيق هذا النظام في البيئة الصحراوية؛
- تحديد مدى ملائمة التقنيات الحديثة لظروف المناخية للجنوب الكبير بولاية الوادي؛
- اقتراح نموذج تطبيقي قابل للتنفيذ في القطاع الزراعي.

- الفجوة البحثية

رغم تزايد الدراسات حول الزراعة الذكية عالميا، إلا أن هناك نقصا واضحا في الدراسات التطبيقية التي تركز على تقييم الجدوى التقنية لهذه الأنظمة في البيئات الصحراوية، خاصة في الجزائر. كما أن معظم الدراسات تركز على الجوانب النظرية أو البيئية، دون التعمق في التحليل التقني العملي المرتبط بمدى كفاءة الأنظمة وتوافقها مع الواقع المحلي، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته.

- فرضيات الدراسة

- توجد جدوى تقنية عالية لتطبيق الزراعة الذكية في المناطق الصحراوية.
- يساهم نظام الري المتعدد في تحسين كفاءة استخدام المياه مقارنة بالأنظمة التقليدية.
- تتلاءم تقنيات الزراعة الذكية مع الظروف البيئية لمناطق الجنوب الجزائري من الناحية التقنية.
- يؤدي استخدام الأنظمة الذكية إلى تحسين الأداء الزراعي وتقليل التكاليف التشغيلية.

- المنهج المستخدم في الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال تحليل المفاهيم النظرية المرتبطة بالزراعة الذكية وأنظمة الري، إضافة إلى المنهج التطبيقي (دراسة حالة) لتقييم الجدوى التقنية لمشروع زراعي ذكي مقترح بالمناطق الصحراوية بولاية الوادي، وذلك بالاعتماد على المعطيات التقنية والبيئية المتاحة، وتحليل مكونات النظام ومدى كفاءته في الواقع العملي.

1.I- الإطار النظري للزراعة الذكية:

- مفهوم الزراعة الذكية

لم تكن التطورات التقنية في القطاع الزراعي نتاجا داخليا بحتا، بل كانت ثمرة دمج ابتكارات خارجية رائدة؛ فكما استوعبت الزراعة في القرن الماضي محركات الاحتراق والكهرباء، استوعبت في نهاية التسعينيات تقنيات الزراعة الدقيقة كأنظمة الـ (GPS) والـ (GIS) والاستشعار عن بعد التي طورت أصلا في قطاعات دفاعية ومعلوماتية. إن هذا الاندماج بين التقنيات المعلوماتية الخارجية والابتكارات الزراعية الداخلية (مثل أجهزة استشعار التربة ورش الأسمدة المتغيرة) مثل نقطة الانطلاق الحقيقية نحو عصر الزراعة الذكية؛ حيث تحولت الممارسة الزراعية من مجرد تطبيق آلي للتقنية إلى نظام 'ذكي' متكامل يعتمد على إدارة البيانات اللحظية والمعرفة العميقة، مما جعل الزراعة الدقيقة هي الجسر الذي عبر منه القطاع نحو الثورة الخضراء الثالثة القائمة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. (Council, 1997, p. 27)

تعريف الزراعة الذكية وفقا لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO): بأنها تلك الزراعة التي تزيد بشكل مستدام من الإنتاجية والقدرة على التكيف وتقلل/تزيل غازات الدفيئة (التخفيف)، وتعزز تحقيق أهداف الأمن الغذائي والتنمية الوطنية. (FAO, 2010, p. 4)

وهي تتضمن استخدام أدوات وتقنيات متنوعة لجمع البيانات المتعلقة بنمو المحاصيل، وظروف التربة، والأنماط المناخية، وغيرها من العوامل البيئية، وتحليلها، واتخاذ الإجراءات اللازمة بناء عليها. (Kamilaris, Kartakoulis, & Pretenfa, 2017, p. 25)

كما عرفت بأنها الزراعة التي يستخدم فيها المزارعون الهواتف المحمولة وغيرها من التقنيات الرقمية للتوصل إلى معلومات زراعية متخصصة وقابلة للتنفيذ بدون تأخير. (Ben Aichouba & Sedkaoui, 2022, p. 456)

ويعتمد نظام الزراعة الذكية على استخدام التقنيات الحديثة مثل: أجهزة الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، إنترنت الأشياء، الطائرات بدون طيار (الدرونز)، الذكاء الاصطناعي، ونظم تحليل ومعالجة البيانات؛ وذلك من أجل رفع كفاءة إدارة المزرعة بدءا من تسوية الأرض، مرارا بوضع البذور، والري، والتسميد، ومكافحة الآفات والأمراض، وصولا إلى الحصاد النهائي. (Kellou & Belhaoues, 2024, p. 14)

وتأسيسا على ما سبق، يمكن صياغة تعريف إجرائي للزراعة الذكية على أنها: نظام زراعي متكامل قائم على توظيف التقنيات الرقمية الحديثة (مثل أجهزة الاستشعار ونظم المعلومات الجغرافية، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي)، في جمع وتحليل البيانات اللحظية المرتبطة بالمحاصيل

والموارد الطبيعية واستخدامها في دعم اتخاذ القرار الزراعي في مختلف مراحل الإنتاج، بهدف تحسين الإنتاجية، وترشيد استخدام الموارد، وتعزيز القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية، والحد من الآثار البيئية، بما يحقق الاستدامة والأمن الغذائي.

- أهم تقنيات الزراعة الذكية

تشمل الزراعة الذكية مجموعة من التقنيات الحديثة التي تعمل بشكل متكامل لتكوين نظام زراعي ذكي قائم على البيانات والتكنولوجيا. ومن أهم المكونات ما يلي:

➤ أجهزة الاستشعار (IoT Sensors)

تعد أجهزة الاستشعار من أهم عناصر الزراعة الذكية، حيث تقوم بجمع بيانات حول: رطوبة التربة درجة الحرارة، نسبة الرطوبة، مستويات العناصر الغذائية وانتشار العناصر الضارة، حيث يتم إرسال هذه البيانات إلى أنظمة تحليل (غالبا عبر الإنترنت) لاتخاذ قرارات دقيقة. (Rizan ,

Balasundram, Shahbazi, Balachandran, & Shamshiri, 2024, p. 1448)

ويمكننا تلخيص دور أجهزة الاستشعار في النقاط التالية: (Prasad , Venathi , & Devi , 2023, p. 683)

▪ **وظيفة الجمع (Data Collection):** من خلال أجهزة تثبت في الأراضي الزراعية لجمع البيانات "عن بعد (Remotely)" وإرسالها إلى المنتج أو المزارع في الوقت المناسب.

▪ **الربط الشبكي (Network Integration):** تشير إلى أجهزة استشعار مزودة بتقنيات اتصال تسمح لها بتبادل المعلومات مع أجهزة أخرى عبر الإنترنت.

▪ **تعدد المهام (Versatility):** إن هذه اللواقي الحساسة تشمل أنواعا مختلفة، منها ما هو مخصص لمراقبة الرطوبة، ومنها ما يرتبط بمحطات الأرصاد الجوية، والمركبات، وحتى الآلات الزراعية، لضمان مراقبتها وصيانتها في الوقت الفعلي.

➤ الطائرات بدون طيار (Drones)

الطائرات المسيّرة، والمعروفة أيضا بالمركبات الجوية غير المأهولة، هي طائرات يمكن التحكم بها عن بعد وبرمجتها للطيران الذاتي، إذ تستخدم الطائرات بدون طيار في: مراقبة المحاصيل، تحليل التربة، الرش الدقيق للأسمدة والمبيدات كما توفر صورا دقيقة تساعد على اكتشاف: الإصابات المرضية، نقص العناصر الغذائية، الإجهاد المائي. (Supriya, Shiksha, Kavita, & Isha, 2021, p. 503)

➤ الروبوتات الزراعية (Robotics)

تعد الروبوتات عنصرا أساسيا آخر في الزراعة الذكية، حيث تتراوح تطبيقاتها في: الزراعة (غرس البذور)، الحصاد، إزالة الأعشاب الضارة، ورش المبيدات وغيرها. (Shamshiri, Weltzien , Hameed , & et al, 2018, p. 2)

➤ الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)

يعد الذكاء الاصطناعي عاملا أساسيا في تمكين الزراعة الذكية، إذ يتيح للمزارعين اتخاذ قرارات مبنية على البيانات استنادا إلى رؤى آنية، حيث تستطيع خوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل كميات هائلة من البيانات التي تجمعها أجهزة استشعار إنترنت الأشياء والطائرات المسيّرة وغيرها من المصادر، لتقديم توصيات عملية لتحسين نمو المحاصيل واستخدام الموارد. (Mirani, Memon, Chohan, Wagan, & Qabulio, 2021, p. 234)

كما يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالمحاصيل بناء على عوامل مختلفة مثل: أحوال الطقس وظروف التربة، والبيانات التاريخية وغيرها من المهام. كما يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي في الكشف عن أمراض المحاصيل وتشخيصها مما يتيح للمزارعين اتخاذ إجراءات استباقية لمنع خسائر المحاصيل. (Van, Kassahun, & Catal , 2020, p. 2)

انطلاقا مما سبق يمكننا القول بان الزراعة الذكية تعتمد على تكامل مجموعة من التقنيات الحديثة مثل أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار، والروبوتات، والذكاء الاصطناعي، بهدف تحسين إدارة الموارد الزراعية، ورفع كفاءة الإنتاج وتقليل التكاليف، وتحقيق الاستدامة البيئية.

2.I- الإطار النظري لدراسة الجدوى الفنية:

- مفهوم الجدوى الفنية

تكتسي دراسة الجدوى الفنية (التقنية) أهمية كبيرة في تقييم المشاريع الاستثمارية، إذ تهدف إلى تحديد مدى إمكانية تنفيذ الحل المقترح في ظل القيود المحددة، مع مراعاة توفر الموارد، ومستوى التكنولوجيا المستخدمة، والصعوبات المحتملة التي قد تواجه عملية التنفيذ، باختصار، تعد دراسة الجدوى التقنية جزءاً أساسياً من تحليل الجدوى الشامل لأي مشروع. (Vankatesh, 2022, p. 126)

➤ تعريف الجدوى الفنية (التقنية)

تعرف دراسة الجدوى الفنية بأنها عملية تحليلية تهدف إلى تقييم مدى إمكانية تنفيذ المشروع من الناحية العلمية والتقنية، من خلال التحقق من ملاءمة التكنولوجيا المستخدمة لأهداف المشروع وخطته، ومدى توافقها مع نظام التنفيذ والتفاصيل التشغيلية. كما تشمل هذه الدراسة تقييم مستوى التكنولوجيا المعتمدة وقدرتها التنافسية، وتحليل مدى مواكبتها للتطورات الحديثة وتقليص الفجوة التكنولوجية مقارنة بالدول المتقدمة، إضافة إلى فحص درجة تكرار المشروع أو تشابهه مع التقنيات والمشروعات القائمة من حيث الحجم والمستوى. ويتم هذا التقييم في الغالب بشكل نوعي بهدف الحكم على مدى صلاحية المشروع للتنفيذ من الناحية الفنية. (Donghun, 2021, p. 181)

ترتبط هذه المرحلة بإجراء دراسة هندسية فنية شاملة تضم مختلف التخصصات المرتبطة بأعمال التجهيز والبناء والتشييد وغيرها، وذلك بهدف الوصول إلى مرحلة التسليم النهائي للمشروع بكافة تجهيزاته ومعداته وبرمجياته. كما ينبغي أن تتضمن هذه الدراسة جميع تفاصيل بدء تشغيل المشروع، مع تحديد دقيق لمختلف المصاريف وفقاً لظروف ومتطلبات الأسواق المستهدفة. (Heralova, 2024, p. 567)

وتأسيساً على ما سبق يمكننا تقديم التعريف الاجرائي التالي لدراسة الجدوى الفنية بأنها: عملية تحليلية تطبيقية تهدف إلى التحقق من إمكانية تنفيذ المشروع من الناحية التقنية والهندسية، من خلال تقييم ملاءمة التكنولوجيا المستخدمة، وتحديد متطلبات التنفيذ من تجهيزات ومعدات وموارد، ودراسة مختلف الجوانب المرتبطة بالبناء والتشغيل. كما تشمل تقدير التكاليف الفنية بدقة، والتأكد من توافق المشروع مع ظروف السوق، بما يسمح بالحكم العملي على مدى قابلية المشروع للتنفيذ بكفاءة ونجاح.

➤ أهداف دراسة الجدوى الفنية (التقنية):

تسعى دراسة الجدوى الفنية (التقنية)، إلى تحقيق مجموعة من الأهداف نوجزها فيما يلي: (Hossain, Wang, Tsang, &

Poon, 2018, p. 475)

- تقييم مدى قدرة المشروع على تحقيق معايير الصناعة المعتمدة؛
- تحديد الموقع الأنسب لإقامة المشروع بما يضمن الكفاءة التشغيلية؛
- تحديد الحجم الأمثل للمشروع أو الطاقة الإنتاجية المناسبة؛
- تحليل توفر عوامل الإنتاج (المواد الخام، الطاقة، المياه، العمالة، النقل)؛
- تقييم تكاليف وجودة وسهولة الوصول إلى السلع والخدمات الضرورية؛
- الكشف عن المعوقات الفنية المحتملة التي قد تؤثر على تنفيذ المشروع.

➤ مراحل دراسة الجدوى الفنية (التقنية) للمشروع

تم دراسة الجدوى الفنية من خلال مجموعة من المراحل المنظمة التي تهدف إلى تقييم مدى إمكانية تنفيذ المشروع تقنياً، وضمان نجاحه وتقليل المخاطر المرتبطة به، وذلك كما يلي:

الجدول رقم (01): مراحل دراسة الجدوى الفنية (التقنية) للمشروع

الشرح	اسم المرحلة
يتم في هذه المرحلة تحديد جميع الاحتياجات التقنية للمشروع، مثل التكنولوجيا المستخدمة، الأداء المتوقع، ومتطلبات التشغيل، وذلك بالتنسيق بين مختلف الفرق المعنية.	تحديد المتطلبات التقنية
تشمل التعرف على القيود التي قد تؤثر على تنفيذ المشروع، مثل الميزانية، الموارد المتاحة، والوقت، إضافة إلى تحديد الافتراضات التي بنيت عليها الدراسة.	تحديد القيود والافتراضات
يتم إعداد معايير دقيقة لتقييم الجدوى الفنية، مثل الكفاءة، الأداء، القابلية للتوسع، والتكلفة، لضمان موضوعية التحليل.	وضع معايير التقييم
تتضمن تحليل مشاريع أو منتجات مشابهة، لفهم أفضل للتقنيات المستخدمة، وتحديد المخاطر المحتملة وأفضل الممارسات.	البحث والدراسة المقارنة
يتم اختبار فكرة المشروع من خلال نموذج أولي بسيط للتأكد من إمكانية تطبيقه تقنياً.	اختبار المفهوم

الصحراوية بولاية الوادي (ص ص 29-42)

اختبار الأداء	تهدف هذه المرحلة إلى تقييم كفاءة النظام أو المنتج من حيث السرعة، الجودة، وقدرته على تلبية المتطلبات.
تقييم الموارد والأمن	تشمل دراسة توفر الموارد البشرية والتقنية، إضافة إلى تقييم الجوانب الأمنية وحماية البيانات.
تحليل المخاطر ووضع خطط المعالجة	يتم تحديد المخاطر التقنية المحتملة، مثل فشل النظام أو مشاكل التكامل، مع وضع حلول لتقليل تأثيرها.
تحليل التكلفة والعائد	يتم مقارنة التكاليف المتوقعة مع الفوائد المحتملة لتحديد مدى جدوى المشروع من الناحية الاقتصادية.
التوثيق واتخاذ القرار	في النهاية، يتم تجميع نتائج الدراسة لاتخاذ قرار نهائي بشأن تنفيذ المشروع أو تعديله أو رفضه.

Source: (Chisel, 2026)

3.I. واقع وآفاق الزراعة الذكية في الجزائر

- واقع الزراعة الذكية في الجزائر

تشهد الجزائر توجها استراتيجيا نحو تحديث القطاع الزراعي من خلال "مخطط الإنعاش الاقتصادي" وإعادة إحياء "السد الأخضر"، مع التركيز على الرقمنة والابتكار. وبالرغم من توفر الأراضي إلا أن الزراعة الذكية تواجه تحديات تقنية معقدة، لا سيما في المناطق القاحلة، تتمثل في ندرة المياه، تدهور التربة وضعف البنية التحتية الطاقوية في المناطق النائية، بالإضافة إلى ارتفاع كلفة التكنولوجيات الحديثة. ولمعالجة هذه الثغرات، تبرز الحاجة إلى تعميم الطاقة الشمسية وتطوير منصات لمراقبة المحاصيل عبر الأقمار الصناعية. كما يعد تحسين "سلاسل القيمة" وتقليص الهدر الزراعي عبر إنشاء وحدات تحويل وتبريد قريبة من الإنتاج خطوة حاسمة لدعم الأمن الغذائي. أما الزراعة الصحراوية، فتعد محور الاستشراف الاقتصادي الأهم نظرا لوفرة المياه الجوفية والسطوح الشمسية، مما يتطلب سياسات تحفيزية كالإعفاءات الضريبية وتبسيط العقود. وفي مواجهة التغير المناخي، تتبنى الجزائر نهج "الزراعة الذكية مناخيا" (CSA) "لرفع الإنتاجية وتعزيز التكيف. وتظل الآفاق نحو عام 2030 واعدة، شريطة تحقيق تنسيق فعال بين القطاعين العام والخاص وتمكين الابتكار الوطني (Agriculture, 2026).

شهدت الجزائر تحولا استراتيجيا نحو الزراعة الذكية لتعزيز الأمن الغذائي، حيث يتوقع نمو سوق التكنولوجيا الزراعية ليتجاوز 5.8 مليار دولار بحلول 2028. تساهم هذه التقنيات (كاستخدام الطائرات المسيرة والري الذكي) في رفع إنتاجية المحاصيل بنسب تتراوح بين 21% و28%، وترشيد استهلاك المياه بنحو 35%، مع مساهمة القطاع الفلاحي بـ 14.7% في الناتج المحلي الإجمالي.

- أبرز إحصائيات ومؤشرات الزراعة الذكية في الجزائر:

- حجم السوق: قدرت قيمة سوق الزراعة في الجزائر بـ 4.64 مليار دولار عام 2023، ومن المتوقع أن تصل إلى 5.82 مليار دولار بحلول 2028، بمعدل نمو سنوي 4.65%.

- نمو الإنتاج: من المتوقع نمو السوق الزراعي الإجمالي ليصل إلى 40.95 مليار دولار بحلول 2030.

- كفاءة الإنتاج: تقنيات الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة يمكن أن تزيد من غلة المحاصيل بنسبة 21-28%.

- إدارة الموارد: تساهم نظم الري الذكي في تقليل فاقد المياه بنسبة 35%، وتقليل استخدام المواد الكيميائية بنسبة 12%.

- مساهمة القطاع: يسهم القطاع الفلاحي بـ 14.7% من الناتج المحلي الإجمالي، ويستقطب 2.7 مليون عامل.

حيث تهدف الجزائر إلى رفع الإنتاجية الزراعية وتحديث القطاع لمواجهة التغيرات المناخية، مع إمكانية إنتاج 30 مليون طن من الحبوب سنوياً باستخدام التقنيات الحديثة. (Rezki, 2014, p. 4)

- أهم التحديات والمعوقات للزراعة الذكية في الجزائر

تواجه الجزائر حتمية استراتيجية للانتقال نحو الزراعة الذكية كخيار لا بديل عنه لمواجهة التغيرات المناخية وضمان الأمن الغذائي المستدام، ومع ذلك، تصطدم هذه الرؤية بمجموعة من التحديات والمواجهات البنيوية والتقنية التي يمكن إجمالها فيما يلي:

➤ التحديات التقنية والبنية التحتية

- هشاشة البنية الرقمية: تبرز ضرورة ملحة لتقوية البنى التحتية الخاصة بقطاع الاتصالات وتوسيع تغطية الإنترنت عالي السرعة، كونهما العصب الأساسي لتشغيل أنظمة المراقبة والتحكم عن بعد؛

- تطوير أنظمة الإنتاج: تعاني الممارسات التقليدية من نقص في الوسائل المعلوماتية المتاحة للمزارع مما يستوجب تسخير التقنيات الحديثة لتحويل المزارع الكبرى إلى وحدات تدار عبر تطبيقات الهواتف الذكية؛

- عصرنة الزراعات المحمية: ضرورة الانتقال نحو التسيير الذكي للزراعات في البيوت البلاستيكية والأنظمة اللوجستية المرتبطة بها لرفع المردودية.

➤ العوائق البشرية والابتكارية

- **الفجوة بين البحث والتطبيق:** ضرورة تفعيل نشاطات البحث العلمي وتمتين القدرات الوطنية لتصميم حلول تكنولوجية محلية تتناسب مع البيئة الجزائرية؛
- **دمج الشباب والمبتكرين:** يواجه الشباب حاملو المشاريع والابتكارات صعوبات في الانخراط الفعلي في الاستثمارات الفلاحية، مما يتطلب تأطيرا ومتابعة دقيقة لضمان تحويل أفكارهم إلى مشاريع اقتصادية منتجة؛
- **التكوين والتأهيل:** الحاجة لرفع مستوى الوعي الرقمي لدى المزارعين التقليديين لتسهيل تبنيهم للتحويلات الذكية في ممارساتهم اليومية.
- **المعوقات التنظيمية والاستثمارية**
- **المناخ الاستثماري:** غياب سياسة تحفيزية واضحة لجلب استثمارات أجنبية ومحلية إضافية متخصصة في التكنولوجيات الزراعية الدقيقة؛
- **البيروقراطية والتسهيلات:** نقص التسهيلات الضرورية التي تضمن انخراط المبتكرين في العقار الفلاحي وتطوير أنظمة الإنتاج بشكل مرن؛
- **الإطار السياسي العام:** ضرورة خلق مناخ سياسي وتشريعي ملائم يشجع الاستثمار في "اقتصاد المعرفة" الزراعي ويوفر الحماية القانونية والمالية للمزارعين المنخرطين في التحول الرقمي.

➤ تحديات التعاون الدولي

- **نقل التكنولوجيا:** حتمية البحث عن شراكات دولية مع دول رائدة لتبادل الخبرات ونقل النماذج الناجحة في الزراعة الذكية وتكييفها مع الخصوصية الوطنية (Bouabdelli & Gharbi, 2023, p. 325)

II – الطريقة والأدوات:

تعتمد هذه الدراسة على مقارنة تطبيقية ذات طابع وصفي تحليلي لتقديم نظام ري ذكي موجه للزراعة الصحراوية، من خلال تقديم مشروع كنموذج تقني مقترح لمزرعة نموذجية بولاية الوادي تتلاءم مع خصائص البيئة الجافة. وقد تم التركيز على عرض مكونات النظام المقترح وتحليلها، والمتمثلة أساسا في المتحكم الدقيق (ESP32) ولواقط حساسة لقياس رطوبة التربة (Soil Moisture) ومنصات المراقبة السحابية، باعتبارها نماذج شائعة في تقنيات الزراعة الذكية. ولم تعتمد الدراسة على بيانات ميدانية فعلية، بل انصبت على دراسة تركيب النظام ووظائفه وكيفية تفاعله مع متطلبات الحاصيل في البيئة الصحراوية. كما تم تحليل مدى مساهمة هذه المكونات في تحسين كفاءة استخدام المياه وتوفير مراقبة آنية لاحتياجات الري. واستندت الدراسة في ذلك إلى معطيات تقنية ونماذج منشورة، مع تكييفها بما يتلاءم مع واقع الزراعة في الجنوب الجزائري. وتهدف هذه المقارنة إلى إبراز الأهمية التطبيقية للنظام المقترح وإمكانية اعتماده كحل تقني فعال في هذا المجال. يجب عرض هذه الطرق والأدوات بدقة ووضوح دون إسهاب بحيث يتمكن الباحثون الآخرون من إعادة الدراسة أو التحقق منها، ويمكن للمؤلف أن يصف الأدوات والطرق المستخدمة في شكل مخطط، جدول أو رسم بياني لشرح الأساليب التي استخدمت، في حالة التعقيد فقط، بغرض التبسيط؛ ويمكن تقسيم هذا القسم إلى أقسام فرعية، حيث تختلف محتوياته وفقاً لموضوع المقالة.

- تقديم المشروع محل الدراسة

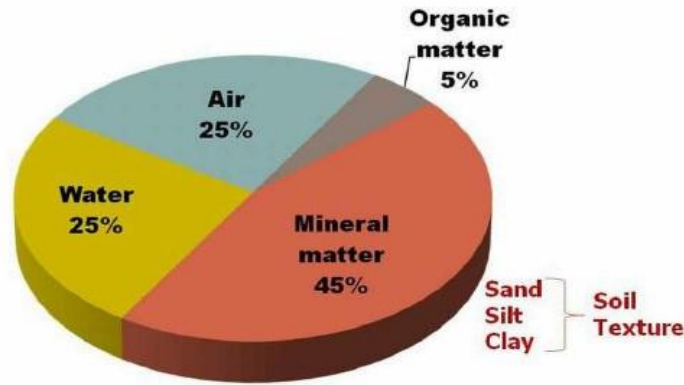
يقوم هذا المشروع على إنشاء مزرعة ذكية لإنتاج الخضر الاستهلاكية في البيئة الصحراوية الجزائرية، وبالتحديد في الجنوب الكبيرة بولاية الوادي على مساحة تقدر بـ 10 هكتارات. تم اختيار هذه المنطقة لعدة اعتبارات علمية وتقنية تجعلها بيئة مثالية لتطبيق أنظمة الزراعة الذكية، رغم طابعها الصحراوي القاسي. إذ تتميز المنطقة بوفرة الموارد المائية الجوفية العميقة، خصوصا من الخزان الجوفي الكبير، إضافة إلى توفر مساحات شاسعة غير مستغلة زراعيا، مما يتيح إمكانية التوسع في المشاريع الزراعية الحديثة. كما أن المناخ الجاف وقلة الأمطار، رغم كونهما تحديا، يشكلان دافعا قويا لاعتماد تقنيات الري الذكي التي تهدف إلى ترشيد استهلاك المياه وتحقيق أقصى كفاءة ممكنة. علاوة على ذلك، فإن شدة الإشعاع الشمسي في الجنوب الكبير بالجزائر تمثل ميزة استراتيجية يمكن استغلالها في تشغيل الأنظمة بالطاقة الشمسية، مما يقلل من تكاليف التشغيل على المدى الطويل. وبالتالي، فإن اختيار هذا الموقع لم يكن عشوائيا، بل مبني على مبدأ تحويل القيود البيئية إلى فرص تكنولوجية، وهو جوهر الزراعة الذكية في المناطق الجافة.

III – النتائج ومناقشتها:

- تجهيز المزرعة وبنائها (منظور تقني تحليلي)

➤ مكونات التربة وخصائصها:

تعد التربة نظاما حيويا معقدا يتشكل نتيجة تفاعل الصخر الأم مع العوامل البيئية والتضاريس والزمن، وتتكون التربة المثالية من 45% مواد معدنية، و 25% ماء، و 25% هواء، و 5% مادة عضوية وهذا ما يبينه الشكل رقم 01:



Source: (Gurpal, Toor, Amy, & Shober, 2019, p. 1)

كما أن خصائص التربة تتنوع تبعاً لاختلاف ظروف تكوينها، حيث تشمل خصائص فيزيائية مثل النسيج والمسامية التي تؤثر على الصرف واحتباس الماء (قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء)، وخصائص كيميائية مثل درجة الحموضة (pH) وسعة التبادل الكاتيوني (CEC) التي تتحكم في توفر العناصر الغذائية، إضافة إلى خصائص بيولوجية مرتبطة بالمادة العضوية والنشاط الميكروبي. وتكتسب دراسة التربة أهمية كبيرة في الزراعة من خلال تحسين اختيار المحاصيل وترشيد الري، كما تلعب دوراً بيئياً في تنقية الملوثات، وأهمية عمرانية في ضمان استقرار المنشآت عبر فهم كثافتها وقابليتها للانضغاط. (Wijmini, 2025, p. 1)

انطلاقاً من المعلومات المقدمة سابقاً فعملية تجهيز المزرعة تبدأ بمرحلة تهيئة الأرض التي تشمل تنظيفها من الشوائب وإجراء تحليل شامل للتربة من حيث الحموضة (pH)

■ درجة الحموضة: (pH)

في منطقة الجنوب الكبير بالجزائر تمثل التربة للقلوية (Alkali soil) ($pH > 7.5$)، وتتميز بارتفاع نسبة الصوديوم القابل للتبادل ($ESP > 15\%$)، مما يؤدي إلى تفرق حبيبات التربة، وسوء الصرف، وتكون طبقة سطحية داكنة أو صلبة (سبخ). تعيق هذه التربة نمو معظم المحاصيل لضعف التهوية وصعوبة امتصاص العناصر وتعالج بإضافة الجبس الزراعي، الكبريت، المواد العضوية، وتحسين الصرف. فالقيمة المقبولة لدرجة الحموضة في ولايات الجنوب يجب أن تكون ما بين 5.5 و 7.0 (حمضية خفيفة إلى متعادلة).

■ الملوحة (EC- التوصيل الكهربائي):

تشير ملوحة التربة إلى وجود أملاح ذائبة في التربة أو في ماء التربة بكميات تؤثر سلباً على نمو النبات، وهي ظاهرة منتشرة عالمياً حيث تقدر المساحات المتأثرة بما يقارب 3.23 مليون كيلومتر مربع حيث تنشأ الملوحة إما بشكل طبيعي أو نتيجة الأنشطة البشرية مثل الري غير المدروس وإزالة الغطاء النباتي، وتؤثر على النبات عبر تقليل قدرة الجذور على امتصاص الماء (بسبب انخفاض الجهد الأسموزي)، والتسمم الأيوني بعناصر مثل الصوديوم والكلور والبرون، إضافة إلى إعاقه امتصاص العناصر الغذائية. يتم قياس ملوحة التربة عادة من خلال التوصيل الكهربائي (EC)، الذي يعكس تركيز الأملاح، حيث تزداد قيمته بزيادة الملوحة، كما يمكن قياسها عبر إجمالي الأملاح الذائبة (TDS) أو تحليل الأيونات مثل الصوديوم Na^+ ، الكالسيوم Ca^{2+} والكلور Cl^- وتقاس هذه القيم ميدانياً باستخدام تقنيات مثل الحث الكهرومغناطيسي (EM) أو مخبرياً من خلال محاليل التربة، مع ضرورة تصحيح القياسات حسب درجة الحرارة، مما يسمح بتقييم دقيق لتأثير الملوحة على الإنتاج الزراعي. (Marcus & Richard, 2021, p. 416)

فالكثير من الخضر حساسة للملوحة العالية. إذا ارتفعت القيمة يجب أن يعطي نظامك أمراً بـ "غسل التربة" عبر زيادة كمية الري المبرمج، فالقيمة المقبولة لدرجة ملوحة التربة الموجودة في منطقة الجنوب يجب أن تكون أقل من 2.5 ds/m .

■ سعة التبادل الكاتيوني (CEC):

تشير سعة التبادل الكاتيوني (CEC) إلى قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية الموجبة ومنع فقدانها بالغسل، مما يجعلها من أهم مؤشرات خصوبة التربة. تعتمد قيمة CEC أساساً على محتوى التربة من الطين والمادة العضوية، حيث تلعب المادة العضوية دوراً رئيسياً خاصة في الترب الرملية، والجدول الموالي يوضح سعة التبادل الكاتيوني الموجودة في التربة وقيمها:

الجدول رقم (02): قيم سعة التبادل الكاتيوني (CEC)

القيمة	سعة التبادل الكاتيوني (CEC) $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$
منخفض جداً	<6
منخفض	6-12
متوسط	12-25
عالي	25-40
عالي جداً	>40

Source: (Vladimir, 2023, p. 117)

القيمة المقبولة يجب أن تكون أعلى من $25 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ فالتربة الرملية في مناطق الجنوب الكبير عادة ما تكون قيم سعة التبادل الكاتيوني فيها قليلة، لذا ينصح بإضافة المواد العضوية لتحسين هذه القيمة.

➤ درجة رطوبة وحرارة التربة

• رطوبة التربة (Soil Moisture):

تعد رطوبة التربة عنصراً أساسياً في دعم الحياة النباتية، إذ تمثل الوسيط الذي يتم من خلاله انتقال الماء والعناصر الغذائية إلى جذور النباتات، مما يجعلها شرطاً ضرورياً لنمو النبات واستمراره. كما تتحكم رطوبة التربة في العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة مثل التهوية، درجة الحرارة، النفاذية، ودرجة التماسك، وبالتالي فهي تؤثر بشكل مباشر على خصوبة التربة وكفاءة الإنتاج الزراعي. إضافة إلى ذلك، تلعب رطوبة التربة دوراً مهماً في الدورة الهيدرولوجية والمناخية من خلال تأثيرها على التبخر والنتح وتكوين الأمطار والجريان السطحي، مما يجعلها مؤشراً مهماً في إدارة المياه والزراعة والتنبؤ المناخي. ورغم أهميتها الكبيرة، لا تزال قياسات رطوبة التربة محدودة عالمياً بسبب نقص أنظمة القياس المستمرة والدقيقة، حيث يتم قياسها تقليدياً عبر تجفيف العينات في الفرن أو باستخدام تقنيات حديثة مثل الاستشعار عن بعد وأجهزة TDR. أما بالنسبة للقيم، فإن رطوبة التربة تعبر عادة كنسبة مئوية من الماء مقارنة بالكتلة أو الحجم الكلي للتربة، وتختلف حسب نوع التربة والظروف المناخية، حيث تتراوح غالباً بين: (Gabriela, 2019, p. 3)

• تربة جافة: أقل من 10 %

• تربة متوسطة الرطوبة: بين 10% و 25 %

• تربة رطبة: بين 25% و 40 %

• تربة مشبعة بالماء: أكثر من 40% وقد تصل إلى 50% أو أكثر في بعض الحالات.

وتستخدم هذه القيم كمؤشر أساسي لتحديد توقيت الري وتحسين إدارة المياه في الزراعة الذكية.

في نقطة التشغيل (Set Point) يجب ألا تنخفض عن 35% إلى 60% من السعة الحقلية، ففي الجنوب الكبير بالجزائر نظراً

للتبخر العالي، يجب ضبط الحساس ليعطي إشارة ري بمجرد انخفاض الرطوبة لتجنب صدمة الجذور.

■ حرارة التربة:

إن القيمة الحرارية المقبولة للتربة يجب أن تكون ما بين 18°C و 28°C ، التحدي في مناطق الجنوب الجزائري قد تتجاوز حرارة التربة

35°C ، وهنا تأتي جدوى مستشعر DS18B20، حيث يمكن للنظام تفعيل "ري تبريدي" خفيف لحماية الجذور.

■ المادة العضوية والتركيب:

يفضل أن تكون أكثر من 2 % في تربة الصحراء الجزائرية البكر قد تكون أقل من 1 %، وهنا تكمن الجدوى من تحليل البيانات لتعويض

هذا النقص عبر التسميد الذكي المدمج مع الري (Fertigation)

انطلاقاً مما سبق يمكننا تلخيص المتطلبات والقيم المثلى لمكونات التربة التي يتم فيها زرع الطماطم والفلفل في ولاية أدرار، وهذا ما يبينه

الجدول التالي:

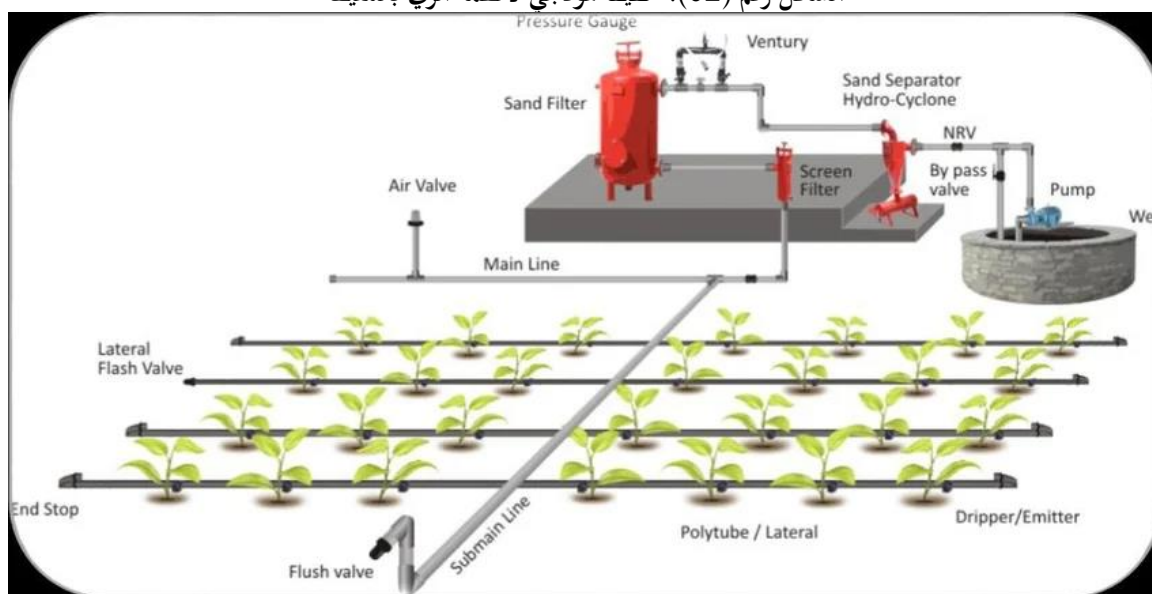
المعيار (Parameter)	القيمة المثالية لزراعة الخضر	الحالة المتوقعة في المناطق الصحراوية	الإجراء التقني المطلوب
الرطوبة (Moisture)	35% - 60%	انخفاض سريع	ري متكرر بفترات قصيرة
الحموضة (pH)	5.5 - 7.0	قلوية (7.5 - 8.5)	إضافة أحماض مع نظام الري
الملوحة (EC)	$dS/m > 2.0$	مرتفعة أحيانا	جدولة ري "غاسل" للأملح
الحرارة (Temp)	$30^{\circ}C / 20^{\circ}C$	مرتفعة جداً ($> 35^{\circ}C$)	مراقبة مستمرة وتغطية التربة

المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على الدراسات السابقة

➤ تصميم شبكة الري بالتنقيط

تعد تقنية الري بالتنقيط (Drip Irrigation) من أكثر أنظمة الري الحديثة كفاءة واستدامة في الزراعة، حيث تعتمد على توصيل المياه مباشرة إلى منطقة جذور النبات بكميات صغيرة ومنتظمة عبر شبكة من الأنابيب والمرشحات، مما يقلل من الفاقد الناتج عن التبخر والجريان السطحي مقارنة بالطرق التقليدية. يتميز هذا النظام بكونه نظام ري مضغوط يعتمد على مضخة لتوزيع المياه تحت ضغط منخفض إلى متوسط، حيث يتم إطلاق المياه بمعدل يتراوح بين 2 إلى 20 لتر/ساعة حسب نوع النبات واحتياجاته وقد أظهرت الدراسات أن الري بالتنقيط يحقق كفاءة عالية في استخدام المياه قد تصل إلى 95%، مع توفير في استهلاك المياه يصل إلى 80% مقارنة بالري التقليدي، إضافة إلى تحسين إنتاجية المحاصيل، كما يمكن أتمتة هذا النظام باستخدام المؤقتات والحساسات، مما يقلل من الجهد البشري ويزيد من دقة إدارة الري وهو ما يجعله مناسباً بشكل خاص للمناطق التي تعاني من ندرة المياه أو ارتفاع تكلفتها ويعد خياراً فعالاً لتحقيق الزراعة المستدامة وتحسين الأمن الغذائي (Barsha, Rahul, & Subrata, 2023, p. 12). وهذا ما يبينه الشكل الموالي:

الشكل رقم (02): تخطيط نموذجي لأنظمة الري بالتنقيط



Source: (Bal, Santosh, & Sushanta, 2015, p. 14)

➤ تركيب نظام متحكمات ذكي في الزراعة

يشهد مجال إنترنت الأشياء (IoT) والأنظمة المدمجة وتطبيقات المنازل الذكية تطوراً سريعاً، ويرتبط هذا التطور بشكل مباشر بتحسين العتاد الإلكتروني والمعالجات الدقيقة. ويعد المتحكم ESP32 من أكثر الشرائح استخداماً وانتشاراً حالياً، حيث يمثل تطوراً متقدماً للـ ESP8266، ويتميز بدمج الاتصال اللاسلكي Wi-Fi و Bluetooth مع معالج ثنائي النواة عالي الأداء يصل تردده إلى 240 MHz، إضافة إلى ذاكرة داخلية وسعة توسعة عبر ذاكرة خارجية. كما يحتوي على عدد كبير من المنافذ (GPIO) ويدعم بروتوكولات اتصال متعددة مثل SPI و I2C و UART و Ethernet، إلى جانب حساسات مدمجة مثل مستشعر الحرارة والتأثير المغناطيسي. ويتميز كذلك بدعم تقنيات التشفير والتسريع العتادي مثل AES و RSA و SHA، مما يجعله مناسباً للتطبيقات الآمنة، وتوفر العديد من الشركات نسخاً مختلفة من هذا المتحكم مثل Espressif و Adafruit و SparkFun، مما وسع من استخدامه في مجالات متعددة تشمل المراقبة البيئية

أنظمة الطاقة الشمسية، الصحة، كشف تسرب الغاز، الأنظمة الصناعية، والروبوتات. ويستخدم **ESP32** بشكل واسع كنظام جمع بيانات أو كخادم ويب في تطبيقات إنترنت الأشياء، نظرا لانخفاض تكلفته، مرونته العالية وقدرته الكبيرة على الاتصال والمعالجة في الوقت الحقيقي. (Marek, Peter, & Pavel, 2019, p. 2) وهذا ما يظهره الشكل رقم 03 الموالي:

الشكل رقم (03): يوضح بعض أنواع المتحكمات والمعالجات الدقيقة

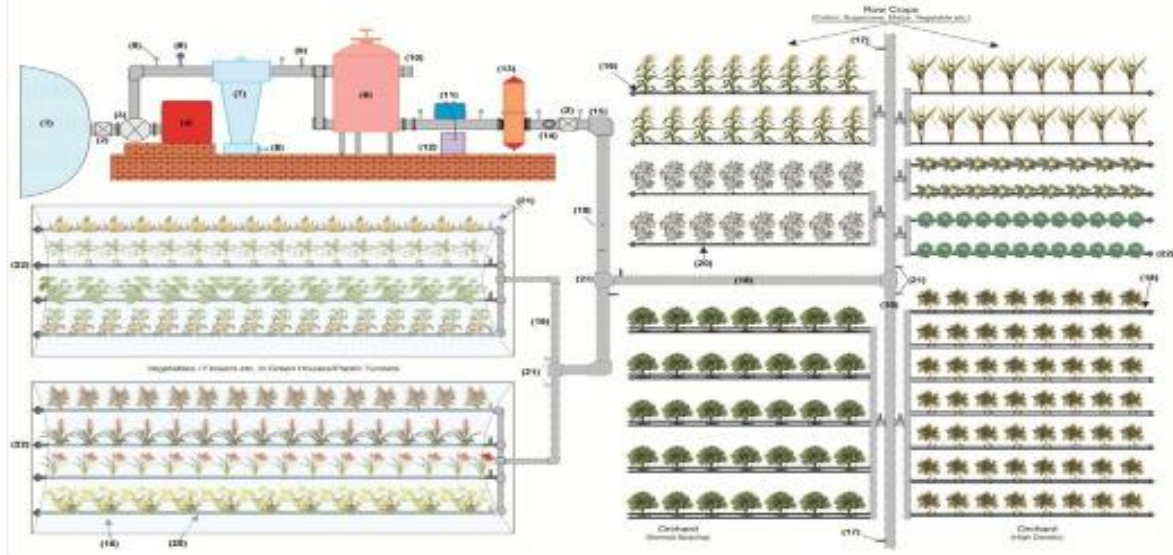


Source: (Joao, Usender, & Rodrigo, 2023, p. 3)

➤ تقسيم المزرعة إلى مناطق ري متعددة

إن استخدام صمامات كهربائية ومضخات ذكية يسمح بتقسيم المزرعة إلى مناطق ري متعددة، يتم التحكم فيها بشكل مستقل، وهو ما يمثل تطورا كبيرا مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعتمد على ري شامل غير موجه. هذا التقسيم يساهم في تحسين توزيع المياه حسب احتياجات كل جزء من المزرعة. (Siham, Amraouy, & Mohammed, 2026, p. 10) حيث سنحاول من خلال الشكل الموالي عرض صورة لمزرعة نموذجية تقوم على نظام الري بالتنقيط المتعدد:

الشكل رقم (04): يوضح مناطق متعددة للري بالتنقيط

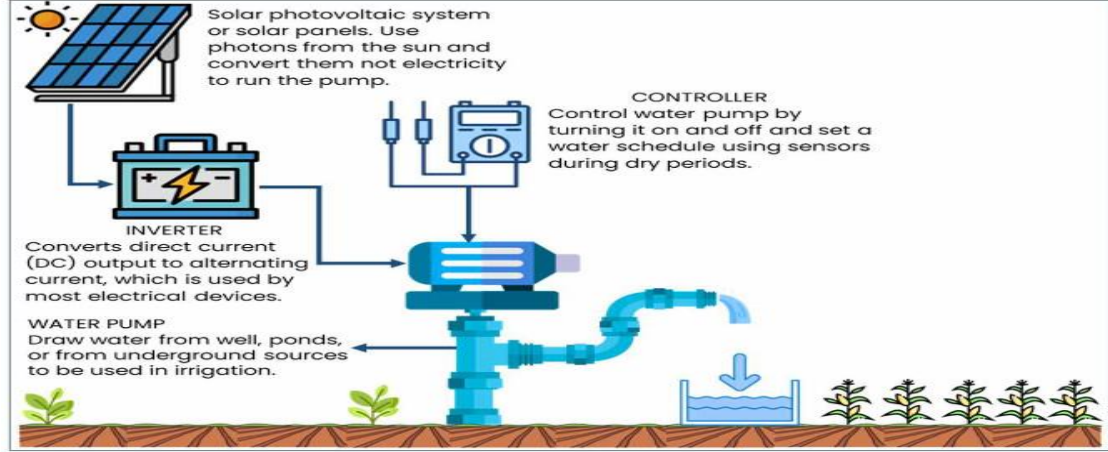


Source: (Qamar, 2023, p. 11)

➤ الاعتماد على الطاقة الشمسية

تعتمد الزراعة المروية عالميا بشكل كبير على الموارد المائية السطحية والجوفية، ورغم أنها لا تغطي سوى أقل من 20% من الأراضي الزراعية، إلا أنها تساهم بأكثر من 40% من الإنتاج الغذائي العالمي، في حين يستهلك القطاع الزراعي نحو 70% من إجمالي المياه عالميا، منها نسبة معتبرة من المياه الجوفية. ومع تزايد عدد السكان المتوقع أن يصل إلى 10 مليارات نسمة بحلول 2050، إلى جانب تأثيرات التغير المناخي، يتزايد الضغط على الموارد المائية، مما يفرض ضرورة تبني استراتيجيات ري مستدامة ومرنة مناخيا.

في هذا السياق، تبرز أنظمة الري المعتمدة على الطاقة الشمسية كحل مبتكر يجمع بين توفير المياه والطاقة، حيث تتيح ضخ المياه بشكل موثوق دون الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما يقلل التكاليف والانبعاثات الكربونية بنسبة تصل إلى 95-97%، والشكل الموالي يوضح مكونات النظام:



Source: (muhammad , Shabir, & Sher, 2024, p. 7)

كما أن هذه الأنظمة تسهم في تحسين الإنتاج الزراعي وتقليل تقلباته، وتدعم تحقيق الأمن الغذائي والتنمية الريفية، خاصة في المناطق النائية التي تعاني من ضعف الوصول إلى الكهرباء مثل الصحراء الجزائرية، وقد ساهم التطور التكنولوجي في تحسين كفاءة الألواح الشمسية وخفض تكلفتها بشكل كبير مما جعل هذه الأنظمة أكثر جدوى وانتشاراً، خاصة مع إمكانية دمجها مع أنظمة الري الذكية التي تسمح بالمراقبة والتحكم عن بعد، وتحسين كفاءة استخدام المياه وزيادة إنتاجية المحاصيل.

IV- الخلاصة:

في ضوء ما تم تناوله في هذه الدراسة، يمكن التأكيد على أن تبني تقنيات الزراعة الذكية، خاصة تلك المعتمدة على نظام الري المتعدد، يمثل خياراً تقنياً واعداً لتحسين كفاءة استغلال الموارد الزراعية في البيئات الصحراوية. وقد ركزت هذه الدراسة على تقييم الجدوى التقنية لمشروع زراعي ذكي مقترح موجه لزراعة محاصيل كالخضر على مساحة 10 هكتارات بمناطق الجنوب الجزائري بولاية الوادي، حيث أظهرت النتائج أن إدماج اللواظ الحساسة الذكية والمتحكمات الدقيقة وأنظمة التحكم الآلي يتيح إدارة دقيقة لعمليات الري وفق احتياجات النبات وظروف التربة والمناخ، مما يساهم في تقليل الهدر المائي وتحسين ظروف النمو الزراعي.

كما بينت الدراسة أن نظام الري المتعدد يوفر مرونة عالية في توزيع المياه، من خلال التكيف مع خصائص التربة وأنواع المحاصيل، الأمر الذي يجعله مناسباً للظروف القاسية التي تميز المناطق الصحراوية. وقد أظهرت النتائج التطبيقية أن هذا النظام، عند دعمه بتقنيات إنترنت الأشياء، يمكن أن يحقق مستوى متقدماً من الكفاءة التشغيلية والتحكم اللحظي، مما يعزز من استقرار الإنتاج الزراعي. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن هذه الدراسة اقتصر على الجانب التقني دون التطرق بشكل مفصل إلى الجوانب الاقتصادية، خاصة ما يتعلق بالتكاليف التشغيلية والإنتاجية، وهو ما يمثل أحد حدود الدراسة ويفتح المجال أمام أبحاث مستقبلية أكثر شمولاً.

- نتائج الدراسة

- خلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج النظرية والتطبيقية والتي يمكن أن نوجزها فيما يلي:
- أكدت الدراسة أن الزراعة الذكية تمثل تحولاً حديثاً في إدارة الأنظمة الزراعية، قائماً على توظيف التقنيات الرقمية لتحسين كفاءة استخدام الموارد، خاصة في البيئات ذات الخصائص الصعبة؛
- بينت الدراسة أن الجدوى الفنية (التقنية)، لمشاريع الزراعة الذكية تعتمد بشكل أساسي على مدى توافق مكونات النظام (الحساسات، المتحكمات، الشبكات) مع الظروف المناخية والتربة المحلية؛
- أظهرت النتائج أن المشروع الزراعي الذكي المقترح بمنطقة الجنوب الصحراوي بولاية الوادي، والمخصص لزراعة الخضر الاستهلاكية على مساحة 10 هكتارات، يتمتع بإمكانات تقنية واعدة من حيث قابلية التطبيق؛
- أثبتت الدراسة أن استخدام الحساسات الذكية والمتحكمات الدقيقة يساهم في المراقبة اللحظية لمؤشرات التربة (الرطوبة، الحرارة)، مما يحسن دقة اتخاذ القرار الزراعي؛
- أكدت النتائج أن تطبيق نظام الري المتعدد يساهم في تقليل استهلاك المياه مقارنة بالأنظمة التقليدية، وهو عامل حاسم في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد المائية؛

- بينت الدراسة أن واقع الزراعة في الجزائر، خاصة في المناطق الصحراوية، لا يزال يعتمد بدرجة كبيرة على الأساليب التقليدية، مما يحد من الكفاءة الإنتاجية ويبرز الحاجة إلى تبني الحلول الذكية؛
- كشفت الدراسة أن نجاح هذا النوع من المشاريع يظل مرتبطا بتوفير البنية التحتية التقنية والتكوين البشري، إلى جانب ضرورة مرافقة ذلك بسياسات دعم مناسبة؛
- خلصت الدراسة إلى أن غياب تحليل التكاليف التشغيلية والإنتاجية يمثل أحد حدودها، مما يستدعي استكمالها بدراسات اقتصادية لاحقة لتقييم الجدوى الشاملة للمشروع.

- التوصيات

في ضوء النتائج المتوصل إليها من خلال هذه الدراسة، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات التي من شأنها تعزيز فعالية تطبيق نظم الري الذكية في البيئات الصحراوية:

- ضرورة إجراء دراسات مستقبلية شاملة تتضمن الجدوى الاقتصادية الشاملة، خاصة ما يتعلق بالتكاليف التشغيلية والعائد الإنتاجي؛
- تشجيع تبني أنظمة الري المتعددة في المناطق الصحراوية لتحسين كفاءة استخدام المياه؛
- دعم تطوير البنية التحتية الرقمية لتسهيل تطبيق تقنيات الزراعة الذكية في الجزائر؛
- تنظيم برامج تدريبية للمزارعين حول استخدام الأنظمة الذكية والحساسات في إدارة الري؛
- تحفيز الاستثمار في المشاريع الزراعية الذكية، خاصة في المحاصيل ذات القيمة الاقتصادية؛
- تعزيز استخدام الطاقات المتجددة، لا سيما الطاقة الشمسية، لتشغيل أنظمة الري وتقليل التكاليف؛
- العمل على دمج البحث العلمي بالتطبيق الميداني لضمان فعالية واستدامة هذه التقنيات.

- الإحالات والمراجع:

1. Agriculture, S. (2026, 03 12). *Algeria's Bet to Achieve Sustainable Food Security by 2030* . Retrieved from Al Mostathmir: <https://almostathmir.dz/%d8%a7%d9%84%d8%b2%d8%b1%d8%a7%d8%b9%d8%a9-%d8%a7%d9%84%d8%b0%d9%83%d9%8a%d8%a9-%d8%b1%d9%87%d8%a7%d9%86%d8%a7%d9%84%>
2. Bal, k., Santosh, M., & Sushanta, K. (2015). *Optimal Planting Geometry and Growth Stage Based Fertigation in Vegetable Crops*. ICAR-Research Complex for Eastern Region.
3. Barsha, M., Rahul, B., & Subrata, B. (2023). *Green Technologies for Sustainable Agriculture, Drip Irrigation System: An Effective Approach for Increasing Water Use Efficiency*. Biotech books publisher.
4. Ben Aichouba, R., & Sedkaoui, S. (2022). The problem of adopting smart agriculture in Arab countries. *Journal of Economic Studies*, 22(1).
5. Bouabdelli, Y., & Gharbi, R. (2023). Smart Agriculture as a Strategic Option to Achieve Food Security in Algeria. *Beam Journal of Economic Studies*, 7(1).
6. Chisel, G. (2026, 03 10). *what is technical feasibility meaning and methods* . Retrieved from <https://chisellabs.com/glossary/what-is-technical-feasibility>
7. Council, N. R. (1997). *Precision Agriculture in the 21st Century: Role of Technology in Agricultural System*. Washington, USA: The National Academies Press.
8. Donghun, Y. (2021). *Preliminary Feasibility for Public Research and Development Projects* (éd. 1). Emerlad publishing Limited.
9. FAO. (2010). *Climate Smart Agriculture Policies . Food Security and Climate Change*. Rome.
10. Gabriela, C. (2019). *Soil Moisture*. License CC BY3.0.
11. Gurpal, S., Toor, Amy, & Shober. (2019). *Soils & Fertilizers for Master Gardeners: Soil Organic Matter and Organic Amendments*. Florida: University of Florida.
12. Heralova, R. (2024). Life Cycle Costing as an Important Contribution to Feasibility Study in Construction Projects. *Procedia Engineering*, 196.
13. Hossain, M., Wang, L., Tsang, W., & Poon, S. (2018). Environmental And Technical Feasibility Study of Upcycling Wood Waste into Cement-Bonded Particleboard. *Construction and Building Mater*, 173.
14. Joao, P., Usender, B., & Rodrigo, G. (2023). The Haar Wavelet Transform in IoT Digital Audio Signal Processing. *Circuits systems and signal processing*, 41(3).
15. Kamilaris, A., Kartakoulis, A., & Pretenfa, B. (2017). A Review on The Practice of Big Data Analysis in Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143.

16. Kellou, A., & Belhaoues, S. (2024). Applying Smart Agriculture Techniques in Desert Areas _Wadi Al-Souf as a Model. *Journal of Economics and International Trade*, 6(1).
17. Marcus, H., & Richard, B. (2021). Marcus Hardie, Richard Barry Doyle, Measuring Soil Salinity. *Journal of Methods in molecular biology*, 913.
18. Marek, B., Peter, F., & Pavel, S. (2019). Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. *Conference: 20th International Carpathian Control Conference*.
19. Mirani, A., Memon, S., Chohan, R., Wagan, A., & Qabulio, M. (2021). Machine Learning in Agriculture: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10(5).
20. muhammad, A., Shabir, M., & Sher, A. (2024). *Solar-powered irrigation systems: recent developments and future trends, Improving water management in agriculture: Irrigation and food production*. Burleigh Dodds Series In Agricultural Science.
21. OUALI, S. (2006). Etude géothermique du Sud de l'Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, 9(4), 298. Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algérie.
22. Perroud, V. (Septembre 2006). *Développement Urbain Durable & Agenda 21 Local: Analyse de la filière du Bois à Lausanne*. Faculté des lettres, institut de Géographie.
23. Prasad, G., Venathi, A., & Devi, B. (2023). *Prasad Ganapathi, Vanathi A, Devi BK. A Review on IoT Applications in Smart Agriculture*. In: Murthy KVS, editor. *Recent Developments in Electronics and Communication Systems*. Amsterdam: IOS Press; 2023. p. 683. Amsterdam: Amsterdam: IOS Press.
24. Qamar, Z. (2023). *Precision Agriculture Evolution Insights and Emerging Trends*. Academic Press.
25. Rezki, L. (2014). Rationalization of Agricultural Land Use and its Role in Closing the Food Gap. *International Conference on Sustainability of Food Security in Algeria*. Chlef.
26. Rizan, N., Balasundram, S., Shahbazi, A., Balachandran, U., & Shamshiri, R. (2024). Internet-of-Things for Smart Agriculture: Current Applications Future Perspectives and Limitations. *Agricultural Sciences*, 15(12).
27. Shamshiri, R., Weltzien, C., Hameed, I., & et al. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4).
28. Siham, K., Amraouy, O., & Mohammed, N. (2026). Intelligent Division of Agricultural Farms into Homogeneous Management Zones for Precision Irrigation Using Remote Sensing and Artificial Intelligence. *Smart Agricultural Technology*, 14.
29. Supriya, S., Shiksha, S., Kavita, A., & Isha, M. (2021). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133.
30. Van, K., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177(10).
31. Vankatesh, A. (2022). A Brief Study on Technical Feasibility Study. *Venkatesh Ashokababu, A Brief Study on TInternational Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, 9(3).
32. Vladimir, C. (2023). The Implication of Cation Exchange Capacity (CEC) Assessment for Soil Quality Management and Improvement. *Journal of Agriculture & Forestry*, 69(4).
33. Wijmini, S. (2025). *Soil sampling and analysis (Lab report) Soil Geography*. University of Peradeniya.

كيفية الاستشهاد بهذا المقال حسب أسلوب APA :

عبد الرحمن عيسو، مجيد شعباني (2026)، تقييم الجدوى الفنية لتطبيق مشروع نظام ري ذكي في مجال الزراعة الصحراوية: دراسة حالة مشروع مقترح بالمنطقة الصحراوية بولاية الوادي، مجلة التنمية الاقتصادية، المجلد 11(العدد 01)، الجزائر : جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي، الجزائر ص.ص 29-42.

