الزراعة الذكية في ظل الثورة الصناعية الرابعة

أمثلة عن تجارب دولية ناجحة

Smart Agriculture in the Era of the Fourth Industrial Revolution- Examples of Successful Global Experiences-

عبد المؤمن مرزوقي [1] *، حسان بوزيان [2]

Hacene BOUZIANE Abdelmoumen MERZOUGUI

[1] جامعة باتنة 1، الجزائر، abdelmoumen.merzougui@univ-batna.dz

[2] جامعة قسنطينة 2، الجزائر، hacene.bouziane@univ-constantine2.dz

تاريخ الاستلام: 2026-02-02 **تاريخ القبول:** 2026-03-21 **تاريخ النشر:** 2026-04-23

ملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى معرفة الأثر الاقتصادي للزراعة الذكية، من خلال اعتماد تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، على الانتاجية الزراعية وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، لضمان استدامة الموارد، واعتمدت الدراسة على استخلاص الدروس المستفادة من التجارب الدولية الناجحة في هذا المجال، مع التركيز على آثار تبني هذه التقنيات الذكية على الأداء الإنتاجي وتقليص التكاليف والحد من المخاطر.

أظهرت النتائج أن تطبيق تقنيات الزراعة الذكية يسهم بشكل ملحوظ في زيادة كفاءة إدارة الموارد، وتحسين دقة التنبؤ بالمحاصيل، وتقليل المخاطر البيئية والمناخية، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة الاقتصادية والقدرة التنافسية للقطاع الزراعي في اطار التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: الثورة الصناعية الرابعة؛ الزراعة الذكية؛ الكفاءة الاقتصادية؛ الإستدامة الزراعية.

تصنيف JEL : Q16؛ Q01

Abstract:

This study aimed to examine the economic impact of smart agriculture, through the adoption of Fourth Industrial Revolution technologies, on improving agricultural productivity and enhancing the efficiency of resource use in order to ensure resource sustainability. The study draws on lessons learned from successful international experiences in this field, with a particular focus on the effects of adopting smart technologies on productive performance, cost reduction, and risk mitigation.

The results indicate that the application of smart agriculture technologies significantly contributes to improving the efficiency of resource management, enhancing the accuracy of crop yield forecasting, and reducing environmental and climatic risks. This, in turn, leads to improved economic efficiency and strengthened competitiveness of the agricultural sector within the

* : المؤلف المرسل

framework of sustainable development.

Keywords: Fourth Industrial Revolution; Smart Agriculture; Economic Efficiency; Agricultural Sustainability.

JEL Classification: Q16; Q01

1. المقدمة:

تُعَدّ الزراعة من أقدم الأنشطة الاقتصادية التي ارتبطت بحياة الإنسان واستقراره، فهي ليست مجرد مصدر للغذاء، بل ركيزة أساسية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية وضمان الأمن الغذائي للشعوب. غير أنّ هذا القطاع الحيوي يواجه اليوم تحديات غير مسبوقة بفعل التغيرات المناخية، وتقلّص الموارد الطبيعية، خاصة المياه والأراضي الزراعية الخصبة، إلى جانب الضغوط المتزايدة الناتجة عن النمو الديمغرافي وارتفاع الطلب على الغذاء.

وفي مواجهة هذه التحديات، برزت خلال العقود الأخيرة مقاربات جديدة تسعى إلى إدماج التكنولوجيا الرقمية في المجال الزراعي، وهو ما أفرز ما يُعرف بـ الزراعة الذكية. تقوم هذه المقاربة على توظيف تقنيات متقدمة مثل إنترنت الأشياء(IOT)، والذكاء الاصطناع (AI)، وتحليل البيانات الضخمة (BIG DATA)، والروبوتات، والطائرات المسيّرة، وغيرها من أدوات الثورة الصناعية الرابعة*، وذلك من أجل تحسين الإنتاجية، وترشيد استخدام الموارد، وتقليل الأثر البيئي، وتحقيق استدامة النظم الغذائية.

وقد شهدت عدة دول تجارب رائدة في هذا المجال، أثبتت أن الاستثمار في الزراعة الذكية قادر على إحداث نقلة نوعية، سواء على مستوى رفع مردودية المحاصيل، أو تحسين جودة المنتجات، أو دعم استدامة الموارد الطبيعية. هذه النجاحات تفتح المجال أمام الدول النامية، ومن بينها الجزائر، لاستخلاص الدروس الملائمة لبناء نموذج محلي للزراعة الذكية يتماشى مع خصوصياتها البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

في ظل التحديات البيئية والمناخية وازدياد الحاجة إلى الأمن الغذائي، يبرز التساؤل: **إلى أي مدى يمكن أن تسهم الزراعة الذكية، عبر اعتماد تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، في تعزيز الإنتاجية الزراعية وضمان الاستدامة، وما الدروس التي يمكن استخلاصها من التجارب العالمية الناجحة؟**

* تمثل الصناعة 4.0 أو ما يُعرف بـ "مصنع المستقبل" أحدث مرحلة في تطور أساليب التصنيع. يقوم هذا المفهوم على دمج تقنيات حديثة مثل: إنترنت الأشياء، الروبوتات، الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة. هذا النوع من المصانع يربط بين العالم المادي (الآلات والمنتجات) والعالم الرقمي (البيانات والبرمجيات والذكاء الاصطناعي) مع العامل البشري، ليُنشئ بيئة إنتاج مرنة وذكية.
الهدف الأساسي من مصنع المستقبل هو تخصيص المنتجات لتلبية رغبات المستهلكين الباحثين عن منتجات فريدة وبأسعار معقولة، وذلك من خلال تقنيات متطورة تقلل التكاليف وتزيد الكفاءة.

فرضية الدراسة

يمكن للزراعة الذكية، من خلال توظيف تقنيات الثورة الصناعية الرابعة أن تُسهم بشكل فعّال في رفع الإنتاجية الزراعية وتعزيز الاستدامة البيئية.

أهمية الدراسة

تكمن أهمية هذه الدراسة في تناولها لموضوع الزراعة الذكية باعتباره أحد الحلول الواعدة لمواجهة التحديات البيئية والمناخية المتزايدة، ولتحقيق الأمن الغذائي في ظل الطلب العالمي المتنامي على الغذاء. فهي تسعى إلى إبراز الدور الذي يمكن أن تؤديه تقنيات الثورة الصناعية الرابعة في تحسين الإنتاجية الزراعية وترشيد استهلاك الموارد، مع التركيز على الدروس المستفادة من التجارب العالمية الناجحة. ومن ثَمّ، فإن هذه الدراسة تسهم علمياً في إثراء الأدبيات المرتبطة بالتحول الرقمي في القطاع الزراعي، كما تحمل بعداً عملياً واستراتيجياً من خلال دعم توجهات التنمية المستدامة وبناء نموذج زراعي أكثر كفاءة ومرونة.

منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي–التحليلي، وذلك من خلال وصف واقع الزراعة الذكية وإبراز مفاهيمها الأساسية وأدواتها المعتمدة، ثم تحليل التجارب العالمية الناجحة في هذا المجال لاستخلاص الدروس والعبر. ويسمح هذا المنهج بفهم أبعاد الظاهرة المدروسة وتفسيرها بصورة علمية.

2. التأصيل النظري للزراعة الذكية والثورة الصناعية الرابعة

1.2 الثورة الصناعية الرابعة:

ظهرت الثورة الصناعية الأولى عام 1760، وقامت على استخدام الطاقة البخارية والإنتاج الميكانيكي، ولذلك سُمّيت بالمكننة. أما الثورة الصناعية الثانية، التي بدأت عام 1870، فقد أسهمت في تطوير الصناعة نحو الإنتاج الضخم وخطوط التجميع المعتمدة على الطاقة الكهربائية، ولذلك سُمّيت بالكهربة. في حين بدأت الثورة الصناعية الثالثة عام 1970، وساهمت في تسهيل أتمتة الإنتاج الصناعي المعتمد على الإلكترونيات والاتصالات وأجهزة الحاسوب، ومن ثم سُمّيت بالأتمتة.

وفي الآونة الأخيرة، انطلقت الثورة الصناعية الرابعة من خلال الاستفادة من الأجهزة الذكية، وتقنيات تحديد الهوية، وتقنيات تحديد المواقع والتصفح، إضافة إلى تقنيات الروبوتات.

وتوفر الثورة الصناعية الرابعة القدرة على تحليل البيانات الضخمة التي يتم جمعها عبر سلسلة القيمة بأكملها، وترجمتها إلى معلومات مفيدة، مع استبدال استراتيجيات المراقبة وصنع القرار التقليدية، وتوفير عامل تمكين

رئيسي لزيادة الفعالية والكفاءة الصناعية. كما تعتمد هذه الثورة على شبكات من الموارد الصناعية ذاتية التكوين، القائمة على المعرفة، والمجهزة بأجهزة استشعار، والموزعة مكانيًا، مثل آلات التصنيع، والروبوتات، وأنظمة النقل والتخزين، ومرافق الإنتاج. وتهدف إلى تطوير إنتاج مستقل وديناميكي يوظف تكنولوجيات المعلومات والاتصالات لتسهيل إنتاج كميات كبيرة من المنتجات المخصصة. ونتيجة لذلك، أصبحت المصانع أكثر ذكاءً، وقادرة على التخطيط والتكيف الذاتي لتوفير منتجات مخصصة بشكل أكبر وتلبية توقعات العملاء بصورة مستقلة. (راضية، 2024، صفحة 124)

يهدف هذا المفهوم إلى تحويل الصناعة إلى نظام تصنيع ذكي يعتمد على تقنيات متقدمة، حيث تكون جميع مرافق الإنتاج متصلة ببعضها من خلال إنترنت الأشياء ضمن بيئة فيزيائية سيبرانية. في هذه البيئة، تستطيع الآلات والمركبات اللوجستية والمستودعات وسلسلة القيمة بأكملها تبادل المعلومات والتحكم في تدفق الإنتاج.

تعتمد الثورة الصناعية الرابعة على العمليات والمنتجات الفكرية المدعومة بجمع البيانات والتحليل التلقائي، لتحقيق عمليات ذكية وفعالة من خلال تكامل عمليات الإنتاج وربط المنتجات. وبهذا، يمكن الوصول إلى أعلى مستويات الأداء الصناعي للشركات عبر تحسين جودة المنتج، وتسهيل العمليات، وزيادة كفاءة الإنتاج. (Liu, 2023, p. 2)

لا تعتبر الثورة الصناعة الرابعة امتدادا للثورة الصناعية الثالثة، بل هي مستقلة بذاتها لأسباب عديدة، نذكر منها:

وتقود الثورة الصناعية الرابعة مجموعة من التقنيات، يمكن حصرها في:

– تقنيات مادية: تتميز عن التقنيات الأخرى بسهولة التعرف عليها نظرا لطبيعتها الملموسة، ومن أمثلتها السيارات ذاتية القيادة، الطباعة ثلاثية الأبعاد، الروبوتات المتطورة.

– تقنيات رقمية: وتتلخص هذه التقنية في "إنترنت الأشياء"، التي يمكن تعريفها بالعلاقة بين أشياء (منتجات، خدمات، أماكن، ...)، والتي أصبحت ممكنة من خلال التقنيات المتصلة والمنصات المتنوعة، ومن أمثلتها سجلات التوزيعات أو blockchain التي تعتمد على تسجيل المعاملات المالية بالعملات الرقمية، ومن أشهر تطبيقاتها عملة Bitcoin. ومن مميزات هذا الذكاء التقني أن منصات إلكترونية كبيرة تدير رؤوس أموال بملايين الدولارات، وتتحكم بها دون أن تمتلك ولو جزءا بسيطا منها، حيث إن "أوبر" أكبر شركة سيارات أجرة في العالم لا تمتلك أي سيارة، وكذلك "فيسبوك" أشهر منصة إعلامية لا تنتج أي محتوى.

– تقنيات بيولوجية: تتميز التقنيات البيولوجية بالابتكار والتقدم المستمر، لا سيما في مجال علم الوراثة، الذي يمثل عنصرا حيويًا في تطوير علاجات فعالة للأمراض الأكثر خطورة. ومن المتوقع أن تسهم هذه التطورات

المستقبلية في الحد من الأمراض المستعصية بشكل كبير، مدعومة بالتقدم المستمر في الرعاية الصحية والتقنيات الطبية الحديثة. (مجاهد، 2020، صفحة 4)

– تقنيات بيئية أو خضراء: تمثل التقنيات البيئية ركيزة أساسية في الثورة الصناعية الرابعة، إذ تهدف إلى تقليل الأثر البيئي للأنشطة الصناعية وتعزيز استدامة الموارد. وتشمل الطاقة المتجددة، معالجة المياه والنفايات، والزراعة الذكية، ما يرفع كفاءة الإنتاج ويضمن التوازن بين التطور الصناعي وحماية البيئة.

2.2 تقنيات الثورة الصناعية الرابعة المستخدمة في الزراعة

يتناول هذا المبحث مدخل عام في الزراعة الذكية، من خلال تسليط الضوء على مفهوم الزراعة الذكية، والفرق بينها وبين الزراعة التقليدية، وكذا توضيح فوائد استخدام تقنيات الثورة الصناعية الرابعة في مجال الزراعة، وأهم التحديات التي تواجهها.

1.2.2 الزراعة التقليدية مقابل الزراعة الذكية

لفهم مفهوم الزراعة الذكية وأهميتها بشكل كامل، من المفيد مقارنتها بالزراعة التقليدية. فرغم أن الزراعة التقليدية كانت ابتكارا ضخمًا للبشرية ومكنت الإنسان من التطور والنمو، إلا أن أساليبها بدأت تدريجيا تصبح قديمة وأقل كفاءة.

على سبيل المثال، في الزراعة التقليدية يعتمد معظم العمل على الجهد اليدوي، مثل زراعة المحاصيل، والعناية بها، ثم حصادها في نهاية الدورة. هذا الأسلوب يستهلك الكثير من الموارد، وينتج عنه هدر كبير، ولهذا كان للقطاع الزراعي أثر بيئي ضخم.

أما في المقابل، فإن استخدام أنظمة مدعومة بإنترنت الأشياء (IoT) يتيح تقليل الحاجة إلى العمل اليدوي بشكل كبير مع زيادة الدقة في العمليات. كما يمنح المزارعين قدرة أعلى على التحكم بمحاصيلهم ومواردهم بدقة، مما يؤدي إلى استخدام الموارد فقط عند الحاجة، وإنتاج محاصيل ذات جودة أعلى وبأقل قدر من الهدر.

نحن اليوم نشهد تحولًا من الأساليب التقليدية إلى ممارسات زراعية مدعومة بالتقنيات الحديثة. وهذا التحول يحمل إمكانات هائلة للقطاع الزراعي، حيث لا يقتصر الأمر على تقليل الهدر والأثر البيئي الكبير للزراعة، بل يشمل أيضًا تحسين جودة وكمية المحاصيل، مما يساعد المزارعين على التكيف مع تغير الطلبات، والالتزام باللوائح المتعلقة بالممارسات الزراعية الجيدة. (Altomonte، 2023)

الجدول 1: الفرق بين الزراعة التقليدية والزراعة الذكية

البعد	الزراعة التقليدية	الزراعة الذكية

أسلوب استخدام المدخلات	ري بالغمر أو الفيضان دون تحكم أو تغذية راجعة.	حساسات رطوبة التربة وأنظمة التنقيط الآلي تضخ الماء فقط عند الحاجة وفي المكان المناسب.
الأسمدة والمبيدات	تُستخدم بشكل موحّد أو حسب تقدير المزارع، مما يؤدي غالبًا إلى الإفراط.	تقنية المعدل المتغيّر (VRT) تستهدف مناطق محددة أو نباتات فردية بالاعتماد على بيانات لحظية.
المراقبة	تعتمد على الملاحظات البصرية وخبرة المزارع.	تُستخدم الحساسات، صور الأقمار الصناعية/الطائرات المسيّرة، وإنترنت الأشياء لجمع بيانات عن التربة والطقس وصحة المحاصيل، مع تنبيهات وضبط تلقائي للجرعات.
العمالة وتنفيذ المهام	طرق كثيفة العمالة: بذر يدوي، إزالة الأعشاب يدويًا، وحصاد يدوي.	جرارات موجهة عبر GPS، روبوتات للحصاد، طائرات مسيّرة للرش، وبيوت محمية ذكية تقلل من الجهد اليدوي.
الحجم والأثر البيئي	يؤدي غالبًا إلى الإفراط في استخدام المياه والمواد الكيميائية، تآكل التربة، وفقدان التنوع البيولوجي.	يقلل من استخدام المدخلات، يخفف من الجريان السطحي والانبعاثات، يحافظ على التربة، ويحمي التوازن البيئي.
القدرة على التكيف والمرونة	استجابة بطيئة للآفات أو الظروف الجوية القاسية أو الأمراض، غالبًا بعد ظهور الضرر.	يكشف مبكرًا علامات الإجهاد باستخدام التصوير متعدد الأطياف والتحليلات لتدخل أسرع وأكثر دقة.

Source: (leher, 2025)

2.2.2 ماهية الزراعة الذكية

سنوضح من خلال هذا المطلب، مفهوم الزراعة الذكية وأهميتها واستخداماتها وفوائدها وأهم التحديات التي يمكن ان تواجهها.

1.2.2.2 مفهوم الزراعة الذكية

تشير الزراعة الذكية إلى استخدام التكنولوجيا الزراعية الذكية من أجل تحسين العمليات الزراعية عبر دمج الحلول الرقمية في الزراعة. وتشمل هذه التقنيات الذكية تطبيق أدوات متقدمة مثل أجهزة الاستشعار المعتمدة على إنترنت الأشياء(IoT)، والذكاء الاصطناعي(AI)، وتحليلات البيانات الضخمة، بهدف تحسين إدارة المزارع. والغاية من تكنولوجيا الزراعة الذكية هي مساعدة المزارعين على اتخاذ قرارات أكثر وعيًا ودقة فيما يتعلق بالري، ومكافحة الآفات، والتحديات المرتبطة بالطقس. وتتيح الزراعة الذكية تحقيق كفاءة أعلى واستدامة أكبر، وهو ما يعد أمرًا حيويًا في الزراعة المعاصرة. (topraq, 2025)

الزراعة الذكية هي ممارسة في الإنتاج الزراعي تقوم على استخدام التكنولوجيا مثل إنترنت الأشياء(IoT)، والروبوتات، والطائرات بدون طيار(Drones)، والذكاء الاصطناعي (AI) وغيرها، لإدارة المزارع وزيادة الإنتاج وتقليل الآثار البيئية السلبية. وتهدف الزراعة الذكية إلى رفع جودة وكمية المنتجات الزراعية مع تحسين استغلال العمل البشري لضمان تحقيق أفضل النتائج الممكنة. (Altomonte, 2023)

تُعرف المزارع والمواقع الزراعية التي تطبق تقنيات الزراعة الذكية باسم المزارع الذكية. وتستخدم هذه المزارع عادةً أدوات حديثة مثل أجهزة الاستشعار التي تراقب الأحوال الجوية على مدار الساعة، إضافةً إلى تطبيقات الفحص عبر الهواتف المحمولة التي تساعد المزارعين على تحسين ممارساتهم الزراعية بهدف زيادة الإنتاج، مع دعم الاستدامة والحفاظ على جودة المنتجات.

الزراعة الذكية تشير إلى استخدام تقنيات المعلومات والاتصالات الحديثة (ICT) وتحليلات البيانات في المجال الزراعي. وإذا طُبقت بالشكل الصحيح، فإنها تساهم في تحسين كفاءة وإنتاجية الغذاء، مما يعزز الاستدامة ويدعم التنوع البيولوجي وتجديد النظام البيئي، إضافة إلى المساعدة في القضاء على هدر الغذاء.

وقد جاء في تقرير حديث صادر عن المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) تعريف للزراعة الذكية باعتبارها "عملية اتخاذ قرارات مبدئية قائمة على البيانات في سلاسل القيمة الزراعية والغذائية، تتم كعملية تحسين متعددة الأهداف في ظل تقلبات عالمية تتسم بعدم اليقين والتعقيد والغموض". (iso, 2025)

الزراعة الذكية تتمثل في استخدام التقنيات الحديثة التي ظهرت مع بدايات الثورة الصناعية الرابعة في مجالي الزراعة وإنتاج الماشية من أجل زيادة كمية وجودة الإنتاج، وذلك من خلال الاستغلال الأمثل للموارد وتقليل الأثر البيئي. كما أن تطبيق التكنولوجيا في الزراعة وإنتاج الماشية سيمكن من تعزيز الأمن الغذائي على مستوى العالم. (iberdrola, 2025)

إن جوهر الزراعة الذكية يتمثل في إدخال التقنيات الحديثة في الأنشطة الزراعية. فاعتماد الطائرات بدون طيار، والذكاء الاصطناعي، والبيانات الضخمة، وإنترنت الأشياء(IoT) ، والأقمار الصناعية، وغيرها، يجعل الزراعة أكثر "ذكاءً"، مما يتيح للمزارعين تحسين أعمالهم والحصول على نتائج أفضل. ويسهم كل ذلك في تقليل نسبة العمل اليدوي، وخفض التكاليف المالية، وزيادة حجم الإنتاج، مما يجعل الأعمال الزراعية أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية. (Cherlinka, 2025)

2.2.2.2 فوائد الزراعة الذكية

تُعد الزراعة الذكية من أبرز الابتكارات الحديثة التي أحدثت تحولاً جذريًا في القطاع الزراعي، حيث لم تعد الزراعة تعتمد فقط على الأساليب التقليدية، بل أصبحت مدعومة بتقنيات متقدمة مثل إنترنت الأشياء والذكاء

الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة. وقد سمح هذا التطور للمزارعين بإدارة مواردهم بكفاءة أكبر، والتغلب على العديد من التحديات المرتبطة بندرة المياه، وارتفاع تكاليف الإنتاج، والتغيرات المناخية. ومن خلال اعتماد هذه الممارسات الحديثة، بات بالإمكان تحقيق إنتاجية أعلى بجودة أفضل وبأقل تكلفة ممكنة، مع تعزيز الاستدامة البيئية. وفيما يلي أبرز الفوائد التي توفرها الزراعة الذكية: (agrirs, 2023)

- **تحسين الكفاءة:** تمكّن الزراعة الذكية المزارعين استخدام مواردهم بشكل أمثل، مما يؤدي إلى نظام أكثر كفاءة مع هدر أقل وعمليات أكثر فاعلية.
- **خفض التكاليف:** تساعد الزراعة الذكية أيضًا في تقليل التكاليف بفضل التوزيع العقلاني للمدخلات، والذي يفضي إلى تقليل الفاقد في النظام، واستخدام مدخلات أقل (مثل الأسمدة والمبيدات) مقارنة بالطرق الزراعية التقليدية.
- **زيادة الإنتاج:** تسمح الزراعة الذكية بزيادة المحاصيل نتيجة تحسين جودتها، من خلال ضمان صحة التربة وجودة المياه، وسلامة المزرعة (مما يقلل من الوقت المستهلك في مكافحة الآفات). ويساعد ذلك في زيادة ربحية المزارع بمرور الوقت، وضمان زراعة المحاصيل في الأوقات المثلى بحيث تصل إلى أقصى إمكاناتها قبل الحصاد والبيع أو الاستهلاك.
- **انخفاض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري:** غالبًا ما تستخدم المزارع الذكية مصادر طاقة أكثر استدامة مثل الألواح الشمسية أو توربينات الرياح بدلاً من الوقود الأحفوري. كما أن الوقود مثل البنزين أو الديزل يُستخدم بكميات أقل في الجرارات أو الشاحنات خلال مواسم الزراعة والحصاد، مما يساعد على تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة.
- **تقليل استهلاك المياه:** تستخدم المزارع الذكية مياهًا أقل من المزارع التقليدية لأنها لا تحتاج إلى كميات كبيرة من الري أو الأسمدة الكيميائية والمبيدات لتحقيق نجاح زراعتها. وهذا يعني أيضًا تلوثًا أقل ناتجًا عن الجريان السطحي إلى الأنهار والجداول والبحيرات عندما تهطل الأمطار على الحقول التي تم رشها بكثافة بالمواد الكيميائية في سنوات سابقة.
- **تقليل استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية:** بفضل أجهزة الاستشعار يمكن للمزارعين تحديد الأوقات المثالية لاستخدام الأسمدة أو المبيدات، مما يقلل من استهلاكها الكلي.
- **الإدارة عن بُعد:** يبحث المزارعون عن حلول أفضل لمشاكل الإدارة، خاصة وأن العديد من المزارع تقع في مناطق نائية أو خارج بلدانهم. وتتيح الزراعة الذكية التحكم في الحقول عن بُعد باستخدام الأجهزة الذكية. كما تتيح الإدارة الذكية عن بُعد للمزارعين ومديري المزارع رؤية حقولهم بوضوح في جميع الظروف، بغض

النظر عن الحالة الصحية أو الطقس أو القدرة على التنقل أو نقص الأيدي العاملة. وتوفر هذه التقنيات الشفافية والمتابعة اللحظية للمحاصيل، مما يعزز الإنتاجية.

3.2.2.2 تقنيات الزراعة الذكية

تعمل التقنيات المتقدمة التي تُحدث ثورة في الإنتاج الزراعي في مختلف المؤسسات الزراعية على تعزيز الزراعة الحديثة اليوم، ومن بين أكثر أدوات الزراعة الذكية فعالية وسهولة في الاستخدام ما يلي: (Alice Gomstyn, 2023)

- **تكنولوجيا المعلومات والاتصالات(ICT):** يعرّف المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا التابع لوزارة التجارة الأمريكية تكنولوجيا المعلومات والاتصالات بأنها عملية التقاط وتخزين واسترجاع ومعالجة وعرض وتمثيل وتقديم وتنظيم وإدارة وتأمين ونقل وتبادل البيانات والمعلومات. وأصبح جمع البيانات حول كل شيء بدءً من محتوى التربة وصولًا إلى الظروف الجوية جانبا أساسيا من جوانب الزراعة الذكية، حيث تساعد تقنيات ICT المزارعين على تنظيم تلك البيانات ونقلها.
- **إنترنت الأشياء :(IoT)** يشير إنترنت الأشياء إلى شبكة من الأجهزة المادية والمركبات والأدوات والأشياء الأخرى المزوّدة بمستشعرات وبرمجيات واتصال شبكي يمكّنها من جمع البيانات. وفي حالة الزراعة الذكية، تشمل أجهزة إنترنت الأشياء العديد من المستشعرات المختلفة، مثل مستشعرات مراقبة المحاصيل، تتبع الماشية، ومتابعة حالة المعدات الزراعية. كما تقوم المركبات الجوية غير المأهولة (UAVs) أو الطائرات بدون طيار المزوّدة بتقنيات LiDAR[1] بجمع البيانات الزراعية من خلال الاستشعار عن بُعد.
- **الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة (AI & ML):** يمكن للذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة مساعدة المزارعين على استخلاص رؤى من البيانات الضخمة، وهي مجموعات بيانات كبيرة ومعقدة؛ الناتجة عن مبادرات إنترنت الأشياء. حيث يمكن لتحليلات البيانات والنمذجة باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة المعتمدة على الحوسبة السحابية أن تدعم عملية اتخاذ القرار وتطبيق تقنيات الزراعة الذكية. على سبيل المثال، تساعد التحليلات التنبؤية ومجموعات بيانات الطقس ونماذج التنبؤ الزراعي المدعومة بتعلم الآلة MLقطاع الزراعة على إدارة عمليات الإنتاج، بما في ذلك إنتاج المحاصيل، واستعمال الأراضي، وتخطيط سلاسل التوريد.
- **الأتمتة والروبوتات:** تحتل الأتمتة والروبوتات موقعًا بارزًا في ممارسات الزراعة الذكية الحديثة. فبجانب الجرارات ذاتية القيادة، يستخدم المزارعون الروبوتات في مهام مثل البذر، الحصاد، والتقليم. كما يمكنهم الاستعانة بالطائرات بدون طيار لرش الأسمدة والمبيدات والمدخلات الزراعية الأخرى بطريقة أكثر كفاءة

[1] اختصار للتقنية: Light detection and rangingوهي تقنيات استشعار عن بعد تعتمد على ارسال نبضات ليزر لقياس المسافات بدقة عالية، وتستخدم في الزراعة الذكية لانشاء نماذج ثلاثية الابعاد للمحاصيل والتربة، وتقييم بنية الغطاء النباتي والمساعدة في اتخاذ القرار الزراعي القائم على البيانات.

ودقة من الطرق التقليدية. ويُعد التطبيق الأكثر دقة وحصرًا للأسمدة أمرًا مؤثرًا بيئيًا بشكل خاص، إذ تُعد الأسمدة مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات الغازات الدفيئة.

4.2.2.2 إستخدامات الزراعة الذكية

الزراعة الذكية تمثل تحولًا من الخطوات اليدوية وردود الفعل المتأخرة إلى عمليات تعتمد على الحساسات والبيانات. فهي تمنح المزارعين أدوات لمراقبة المياه والمحاصيل والحيوانات والبيئة بشكل مستمر، مما يمكنهم من اتخاذ إجراءات دقيقة والاستجابة المبكرة للمشكلات. تقوم الزراعة الذكية بتطبيق التكنولوجيا المتقدمة على المهام الزراعية التقليدية، لتتحول من خطوات تفاعلية إلى استراتيجيات استباقية. وفيما يلي أبرز التطبيقات: (leher, 2025)

- **إدارة دقيقة للمياه:** باستخدام حساسات رطوبة التربة وبيانات الطقس، تقوم أنظمة الري الآلية بتوصيل كميات محددة من المياه لمناطق معينة أو نباتات فردية. هذا يقلل من هدر المياه ويمنع الإفراط في الري.
- **المراقبة والمعالجة بالمسيّرات (الدرونز):** تُزوَّد الطائرات المسيّرة بكاميرات متعددة الأطياف أو حرارية لتوفير صور جوية تساعد على تقييم صحة المحاصيل، تحديد مناطق الآفات، ورصد تباين الرطوبة. كما يمكنها رش الأسمدة أو المبيدات على مناطق محددة.
- **المعدات الآلية والروبوتات:** الجرارات الموجهة بإنترنت الأشياء، روبوتات الحصاد، آلات البذر الذاتية، والروبوتات الذكية لإزالة الأعشاب تقلل من تكاليف العمالة واستخدام المواد الكيميائية.
- **مراقبة صحة المحاصيل والآفات:** أنظمة الذكاء الاصطناعي المدمجة في حساسات صغيرة قادرة على كشف نشاط الآفات والأمراض عبر إشارات بصرية أو فرمونية، مما يتيح الكشف المبكر قبل انتشار الضرر.
- **تتبع الثروة الحيوانية ورعايتها:** الأجهزة القابلة للارتداء، أطواقGPS ، الحساسات البيئية، وأنظمة التغذية الآلية تتابع صحة الحيوانات وموقعها ونشاطها واستهلاكها للغذاء، بل تكشف مبكرًا علامات المرض، مما يحسن رعاية الحيوانات وعمليات المزرعة.
- **التحكم في البيوت المحمية والزراعة الداخلية:** يمكن أتمتة وإدارة الإضاءة والرطوبة وثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة عن بُعد لضمان ظروف مثالية للنمو وكفاءة في استخدام الطاقة.
- **تحليل المناخ المحلي والطقس:** تمكّن محطات الطقس المحلية من تتبع المناخ الدقيق، إطلاق تنبيهات عن الصقيع والجفاف، وجدولة الأنشطة الزراعية بناءً على البيانات لتجنب خسائر المحاصيل.
- **تتبع سلاسل الإمداد والشفافية:** تدعم حساسات إنترنت الأشياء ووسوم المنتجات المراقبة اللحظية منذ الحصاد مرورًا بالنقل والمعالجة وحتى البيع بالتجزئة، مما يعزز الشفافية وضمان الجودة.

- **التنبؤ بالإنتاج وتخطيط الحقول:** تعتمد النماذج التحليلية على بيانات الحساسات، الطائرات المسيّرة، محطات الطقس، والتعلم الآلي للتنبؤ بالإنتاجية، احتياجات المغذيات، مواعيد الحصاد، والمخاطر المحتملة.
- **تحسين الطاقة والموارد:** يساعد تتبع استهلاك الطاقة في البيوت المحمية، الري، والآلات، مع توقعات الطقس والتحليلات، على تقليل انبعاثات غازات الدفيئة وتخفيض التكاليف.

5.2.2.2 تحديات الزراعة الذكية

رغم الفوائد العديدة التي توفرها الزراعة الذكية، فإن المزارعين يواجهون عدة تحديات عند محاولة اعتماد هذا النهج المبتكر. فيما يلي أبرز التحديات: (Danish, 2023)

- **التكاليف:** أحد أهم التحديات في تبنّي الزراعة الذكية هو التكلفة. فشراء التقنيات مثل أجهزة الاستشعار، الطائرات المسيّرة (الدرونز)، وأجهزة إنترنت الأشياء (IoT) يُعتبر مكلفًا، خاصة بالنسبة للمزارعين الصغار الذين قد لا يمتلكون الموارد المالية الكافية. بالإضافة إلى تكاليف الشراء الأولية، هناك أيضًا تكاليف الصيانة والإصلاح المستمرة التي يجب أخذها في الاعتبار.
- **التدريب:** التحدي الآخر يتمثل في الحاجة إلى التدريب المتخصص. إذ يحتاج المزارعون إلى تعلم كيفية استخدام التقنيات، جمع البيانات وتحليلها، وفهم النتائج المستخلصة. هذه العملية قد تستغرق وقتًا طويلًا وتتطلب من المزارعين تخصيص وقت بعيدًا عن أنشطتهم الزراعية اليومية.
- **البنية التحتية:** الزراعة الذكية تعتمد بشكل كبير على بنية تحتية قوية لجمع البيانات ونقلها. لكن هذا يمثل تحديًا في المناطق الريفية حيث تكون خدمات الإنترنت عالية السرعة والبنية التحتية الضرورية محدودة. وفي بعض الحالات، قد يضطر المزارعون للاستثمار في تحسين البنية التحتية لدعم استخدام هذه التكنولوجيا.
- **إدارة البيانات:** الزراعة الذكية تُنتج كميات ضخمة من البيانات، ويتعين على المزارعين امتلاك الأدوات والمهارات اللازمة لإدارة هذه البيانات وتحليلها بكفاءة. وقد يمثل هذا عائقا، خاصة للمزارعين الذين ليست لديهم خبرة في تحليل البيانات أو لا يملكون برمجيات متخصصة لذلك.
- **الأمن والخصوصية:** استخدام التكنولوجيا في الزراعة يثير مخاوف بشأن أمن البيانات وخصوصيتها، لذا يجب على المزارعين التأكد من حماية بياناتهم ضد الوصول غير المصرح به، والالتزام باللوائح الخاصة بخصوصية البيانات.

3. تجارب عالمية ناجحة في الزراعة الذكية

يتناول هذا المبحث عرض نماذج مختارة لتجارب دولية ناجحة في تطبيق مفاهيم الزراعة الذكية، لما لها من دور بارز في تحسين الإنتاج الزراعي ورفع كفاءته.

1.3 شركة شينغ مو للألبان العضوية في الصين

تُعد شركة شينغ مو الصينية للألبان العضوية المحدودة من الشركات الرائدة في إنتاج الألبان العضوية على مستوى الصين، حيث تستند إلى قاعدة متينة من الموارد الرعوية الطبيعية. وتختص الشركة بإنتاج وتسويق الحليب العضوي عالي الجودة، مع إيلاء اهتمام خاص لمتطلبات السلامة الغذائية ومعايير الجودة.

ومع تزايد وعي المستهلكين بأهمية جودة المنتجات الغذائية، اتجهت الشركة إلى تبني التحول الرقمي كخيار استراتيجي لتعزيز أدائها. وقد مكّنها توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة من تطوير أساليب إدارة المزارع، وتحسين كفاءة العمليات التشغيلية، إضافة إلى تعزيز مراقبة جودة الحليب في مختلف مراحل الإنتاج. وأسهم هذا التوجه في دعم القدرة التنافسية للشركة، وجعلها مثالًا بارزًا على نجاح تطبيق الحلول الذكية في قطاع صناعة الألبان.

1. منصة البيانات الضخمة وتقنية الذكاء الاصطناعي: تعاونت "شينغ مو" مع Tencent Cloud لإنشاء نظام إدارة متكامل يعتمد على منصة بيانات ضخمة، ويجمع بين الذكاء الاصطناعي وتقنية البلوك تشين. يتيح هذا النظام مراقبة ذكية شاملة وتتبعًا كاملًا لعمليات إنتاج الألبان بدءً من التربية وحتى الإنتاج. يتم جمع بيانات لحظية عن صحة الأبقار، إنتاج الحليب، واستهلاك الأعلاف، ما يمكّن المديرين من اتخاذ قرارات دقيقة. على سبيل المثال، يقوم النظام تلقائيًا بتعديل جداول الحلب بناءً على منحنى إنتاج كل بقرة لضمان استقرار جودة الحليب. كما تسمح تقنية البلوك تشين بتتبع سلامة الغذاء، حيث يمكن للمستهلكين مسح رمز QR للاطلاع على مسار المنتج كاملا. وقد ساهم هذا في تعزيز كفاءة الإدارة، وتقليل التكاليف التشغيلية، ورفع كمية وجودة الحليب، ما زاد من القدرة التنافسية في السوق.

2. التغذية الذكية ومراقبة الصحة: أدخلت الشركة تقنيات الرؤية الحاسوبية بالذكاء الاصطناعي لإدارة المزارع، والتي تحدد الأبقار تلقائيًا وتدمج البيانات مع أنظمة العمل الأخرى. يتيح ذلك ربط بيانات الإنتاج بدقة، ومعالجة مشكلات الأخطاء الإحصائية الناتجة عن وضعيات خاطئة للأبقار. كما تطوّر الشركة نماذج ذكاء اصطناعي للتنبؤ المبكر بالأمراض، وتقدير الحالة الجسدية، والتنبؤ بالولادة، وتحليل استهلاك العلف. من خلال تحليل درجات الحرارة، النشاط البدني، وكميات التغذية، يمكن للنظام إصدار تنبيهات مبكرة عن أمراض مثل التهاب الضرع، ما يسمح بتدخل سريع. هذه التقنيات حسّنت من إدارة صحة الأبقار وزادت من كفاءة الإنتاج.

3. منصة الإدارة الرقمية: اعتمدت "شينغ مو" نظام SAP-ERP المتطور وأحدث إصدار SAP HANA/4 لدمج اللوجستيات والتدفقات المالية والمعلوماتية، وتوحيد الإدارة الداخلية. في إدارة سلسلة التوريد، ساهم النظام في تقليل المخزون بفضل التنسيق بين الإنتاج والمبيعات، محققًا تحسنًا بنسبة 8.6% في دوران المخزون. وفي الإدارة الإنتاجية، يعمل النظام على جمع بيانات بنية القطيع والتغذية وتحليلها تلقائيًا، إضافة إلى حساب تكاليف

التغذية اليومية. كما تم أتمتة 90% من تقارير الدمج المالي، ما زاد من كفاءة الوقت بنسبة 50%. هذه المنصة الرقمية حسّنت فعالية التشغيل وقدمت بيانات دقيقة لصنع القرار الاستراتيجي.

4. التحكم الذكي بالبيئة: بدمج البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي، أحرزت "شينغ مو" تقدمًا كبيرًا نحو الإدارة الذكية المتكاملة للمزارع. زُوِّدت المزارع بأنظمة تهوية وتبريد ذكية، وأنظمة رش تلقائية، بالإضافة إلى أنظمة تحكم بيئي تضبط الحرارة والرطوبة لحظيًا، ما يضمن بيئة مثالية للأبقار. فعلى سبيل المثال؛ عند ارتفاع الحرارة يقوم النظام تلقائيًا بتشغيل نظام التبريد لضمان راحة الأبقار. هذه الأنظمة الذكية حسّنت ظروف المعيشة، ورفعت جودة وإنتاجية الحليب، وخفّضت استهلاك الطاقة، بما يدعم التنمية المستدامة.

نجحت "شينغ مو" في تحقيق التحول الرقمي عبر دمج الذكاء الاصطناعي، البيانات الضخمة، وتقنيات البلوك تشين في إدارة المزارع، ما عزّز الكفاءة التشغيلية وجودة الحليب، ووفّر نموذجًا قابلًا للتكرار لتحديث صناعة الألبان. (Li, 2025)

2.3 ممارسات JD Farm الصينية للزراعة بالذكاء الاصطناعي

بصفتها رائدة في قطاع التجارة الإلكترونية بالصين، تعمل مجموعة JD على تنفيذ استراتيجيات متعددة لدعم تنمية المناطق الريفية عبر التجارة الإلكترونية، والخدمات اللوجستية الذكية، والزراعة الذكية. ويعدّ مشروع JD Farmمبادرة مهمة تهدف إلى تمكين الزراعة بالتكنولوجيا، ويلعب دورًا رئيسيًا في تحويل الإنتاج الزراعي الحديث.

1. الزراعة الدقيقة: تُعد الزراعة الدقيقة إحدى الركائز الأساسية لـ .JD Farm بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بُعد، وبيانات الطقس، ومراقبة التربة، طورت JD نموذجًا رقميًا للأراضي الزراعية يتيح إدارة دقيقة من الزراعة حتى الحصاد. يتم جمع صور عالية الدقة عبر الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة، ما يوفر بيانات لحظية عن نمو المحاصيل، رطوبة التربة، وانتشار الآفات. تُستخدم هذه البيانات في اتخاذ قرارات الإدارة الزراعية، مع الاستفادة من التوقعات الجوية لتقليل مخاطر الكوارث الطبيعية. كما تُستخدم حساسات التربة لقياس الرطوبة، الحرارة، والمغذيات بدقة، ما يتيح تسميدًا وريًا أكثر كفاءة.

2. الإدارة الذكية: نشرت JD Farm أجهزة إنترنت الأشياء وخوارزميات الذكاء الاصطناعي لتمكين المراقبة اللحظية والإدارة الذكية لبيئة نمو المحاصيل. تجمع المستشعرات بيانات عن الحرارة، الرطوبة، الضوء، ومستوى ثاني أكسيد الكربون، والتي تُرسل إلى السحابة لتحليلها باستخدام التعلم الآلي. يتيح ذلك التنبؤ بموجات الأمراض والآفات، وتوفير نظم إنذار مبكر للمزارعين. كما تسمح أنظمة التحكم الذكية بضبط المناخ داخل البيوت المحمية تلقائيًا، ما يحسن ظروف النمو ويزيد من استقرار الإنتاج.

3. العمليات الفعّالة: تستخدم JD Farm تقنية البلوك تشين واللوجستيات الذكية لتمكين التتبع الكامل وكفاءة العمليات من المزرعة إلى المستهلك. تُسجل جميع مراحل الإنتاج والمعالجة والنقل والمبيعات على شبكة البلوك

تشين، ما يعزز الشفافية والثقة. يمكن للمستهلكين مسح رمز QR للحصول على كافة تفاصيل المنتج. كما تستفيد المزرعة من شبكة JD الواسعة وخوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحسين مسارات التوصيل وتقليل الخسائر أثناء النقل. باستخدام تحليلات البيانات الضخمة، يتم تحسين التخزين والتخطيط الإنتاجي، ما يقلل التكاليف التشغيلية ويزيد من كفاءة سلسلة التوريد.

نجحت JD Farm في دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في الزراعة لتحقيق زراعة دقيقة وإدارة ذكية، وتسويق زراعي حديث، ما عزّز دخل المزارعين وساهم في تنمية الريف، ورفع جودة المنتجات الزراعية. (Li, 2025)

3.3 مشروع الهكتار الخالي من الأيدي في بريطانيا

يُعد مشروع "الهكتار الخالي من الأيدي " في بريطانيا واحداً من أبرز التجارب الناجحة في مجال الزراعة الذكية. فقد تمكن فريق من جامعة Harper Adams بالتعاون مع شركة Precision Decisions من زراعة محصول الشعير، والعناية به، وحصاده بشكل كامل دون أي تدخل بشري مباشر، وذلك باستخدام جرارات ذاتية القيادة وطائرات مسيّرة.

جاءت فكرة المشروع استجابة للتحديات التي فرضها الاعتماد المتزايد على الآلات الزراعية الكبيرة والثقيلة، والتي تؤدي إلى ضغط التربة وتراجع إنتاجيتها، فضلاً عن محدودية الدقة في عمليات الرش والحصاد. وبهدف تجاوز هذه العقبات، اعتمد الفريق على معدات أصغر حجماً وأخف وزناً وأكثر دقة، الأمر الذي سمح بتحقيق مفهوم "الزراعة الدقيقة عالية الدقة" القابلة للتطبيق على الحقول أو حتى على النباتات الفردية.

وقد استخدمت في التجربة مجموعة من الآلات المتاحة تجارياً، حيث تولى جرار Iseki تنفيذ عمليات الزراعة والرش والدحرجة، بينما قامت حصادة Sampo بجمع المحصول. بالإضافة إلى ذلك لعبت الطائرات المسيّرة دوراً محورياً في مراقبة الحقل، إذ زوّدت بحساسات متعددة الأطياف وكاميرات RGB لالتقاط الصور الجوية، فيما ساعدت مركبة صغيرة "Scout" على رصد النباتات عن قرب وجمع عينات أرسلت لتحليلها من قبل خبراء زراعيين. هذا التحليل مكّن الفريق من تحديد المدخلات الزراعية المثلى وتوقيت الحصاد بدقة عالية.

من الناحية المالية، فقد بلغت تكلفة المشروع أقل من 200 ألف جنيه إسترليني، حصل منها على دعم يقارب 160 ألف جنيه من هيئة Innovate UK لتمويل دراسة الجدوى والتجارب الأولية، بينما تكفلت شركة Precision Decisions بقية المبلغ. ورغم بساطة التكلفة مقارنة بمشاريع تكنولوجية مشابهة، فقد جاءت النتائج مشجعة للغاية، حيث بلغت الإنتاجية 4.5 طن من الشعير الربيعي مقابل توقعات مبدئية بلغت 5 أطنان، وهو ما يؤكد جدوى الزراعة الذاتية بالكامل.

نجاح هذا المشروع لم يتوقف عند حدود التجربة الأولى، بل أسس لانطلاق مبادرة جديدة تحت اسم "Hands Free Farm" بتمويل من UKRI Challenge Fund وبشراكة مع مركز AgriEPI، أحد المراكز البريطانية

المتخصصة في الابتكار الزراعي. وتهدف هذه المبادرة إلى تطوير تقنيات الروبوتات الجماعية (Swarm Robotics)والآلات الذكية، إلى جانب إجراء دراسات اقتصادية لإيجاد نموذج أعمال مستدام قائم على الأتمتة الزراعية.

تؤكد هذه التجربة أن استخدام معدات صغيرة وذكية يمكن أن يحقق إنتاجية عالية مع تقليل الأثر السلبي على التربة وتحسين صحة النباتات. كما تُبرز الإمكانيات الكبيرة التي يمكن أن توفرها الطائرات المسيّرة والروبوتات في تعزيز الدقة وتقليص الاعتماد على اليد العاملة البشرية. وبذلك يشكل مشروع "الهكتار الخالي من الأيدي" نموذجاً رائداً لإعادة تصور مستقبل الزراعة، حيث يمكن تحقيق الاستدامة والإنتاجية في آن واحد عبر توظيف التكنولوجيا الحديثة. (ukri, 2017)

4.3 شركة Farm8 في كوريا الجنوبية

تعد شركة Farm8 من المؤسسات الزراعية الرائدة في كوريا الجنوبية في الزراعة العمودية، حيث تمكنت من تحقيق نموذج أعمال ناجح يعتمد على انتاج الخضروات داخل بيئات حضرية مغلقة. وتنتج الشركة ما يقارب 1.2طن من الخضروات الورقية يوميًا داخل مبنى سكني مكوّن من 12 طابقًا في مدينة بيونغتايك بمقاطعة غيونغي. مع الإشارة إلى أن هذه الكمية من الإنتاج تكفي لإطعام نحو 12,000 شخص يوميًا، بافتراض استهلاك الفرد الواحد نحو 100 غرام من الخضروات الورقية يوميًا.

تأسست الشركة المنتجة للخضروات عام 2004 وأكملت توسعتها في النصف الثاني من عام 2019، حيث أنشأت مزرعة داخلية بمساحة 2000 متر مربع، بحيث يحافظ المبنى على درجة حرارة ثابتة عند 23 درجة مئوية ويمنع دخول الحشرات، ما يُلغي الحاجة إلى المبيدات.

ارتفعت مبيعات Farm8 بنسبة 67% من 28.3 مليار وون (20.4 مليون يورو) عام 2017 إلى 47.3 مليار وون (34.0 مليون يورو) عام 2019. كما ارتفع عدد الموظفين من 192 إلى 270 موظفًا خلال نفس الفترة.

الكفاءة هي مفتاح نجاح المؤسسة، فإلى جانب الهيكل العمودي الذي يستغل مساحة المبنى بأقصى قدر ممكن، تزيد الشركة إنتاجيتها باستخدام نظام آلي منخفض التكلفة لضبط الإضاءة، ودرجة الحرارة، والرطوبة، ومستويات ثاني أكسيد الكربون لتهيئة مناخ مناسب لنمو الخضروات.

إن الظروف المناخية القاسية في كوريا، والأمطار غير المنتظمة، وانتشار الحشرات خلال فصل الصيف تجعل الزراعة التقليدية تحتاج إلى جهد كبير وتكاليف عالية للري والتحكم في المناخ ومكافحة الآفات. ووفقًا لتقرير صادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنميةOECD ، فإن المنتجات الزراعية الكورية أغلى بحوالي ضعفي المتوسط العالمي. غير أن الزراعة العمودية يمكن أن تتحرر من هذه الظروف الصعبة. ورغم أن الفارق في التكلفة بين الزراعة العمودية والتقليدية يكون عادة كبيرًا بسبب تكاليف الطاقة، إلا أنه في كوريا الجنوبية قد يكون

هذا الفارق أقل بكثير. علاوة على ذلك، تستغل Farm8 مزايا الزراعة العمودية (الخلو من المبيدات، خالية من الحشرات، مستدامة) كعناصر تسويقية فعّالة.

كما أنشأت شركة" Farm8 مزارع مترو "في خمس محطات مترو، بالتعاون مع حكومة العاصمة سيول. يتم الترويج لهذه المزارع كوسيلة لاستخدام المساحات غير المستغلة بفعالية وتنفيذ الزراعة الحضرية. كما تتيح هذه المزارع للمارة فرصة مشاهدة كيفية عمل المزارع الذكية من خلال نوافذ مخصصة، بالإضافة إلى المساهمة في تنقية الهواء وتوفير بيئة حضرية أنظف. (ook, 2020)

5.3 شركة Sustenir Agriculture بسنغافورة

منذ تأسيسها عام 2014، برزت Sustenir Agriculture كإحدى الشركات الرائدة في مجال الزراعة الداخلية عالية التقنية، متبنية رسالة تهدف إلى "بناء مستقبل غذائي مرن للبشر والكوكب". تعتمد الشركة على أنظمة الزراعة المائية (Hydroponics) والبيئات الزراعية الخاضعة للرقابة (Controlled Environment Agriculture) لإنتاج أكثر من 90 طناً سنويًا من محاصيل متنوعة، تتضمن أنواعًا لا تُنتج عادة في المناخات الاستوائية، مثل الخس، نبات الثلج، الكرنب المجعد والكرنب التوسكاني.

تتميز أنظمة Sustenir بالقدرة على التحكم الكامل في البيئة التي تنمو فيها النباتات، بعكس المزارع التقليدية التي تتأثر بتقلبات المناخ والأمطار. يتم مراقبة وضبط درجة الحرارة، الرطوبة، ومستويات ثاني أكسيد الكربون بدقة، بالإضافة إلى العناصر الغذائية، لضمان ظروف نمو مثالية. هذا التحكم الدقيق يسمح للشركة بإنتاج محاصيل عالية الجودة بشكل مستدام.

تشير مديرة المشتل في Sustenir، جاسلين كوه، إلى أن النباتات، مثل البشر، تحتاج إلى توازن دقيق في ظروف النمو. فالإفراط في الري أو العناصر الغذائية قد يضر بالنباتات، مما يستدعي مراقبة مستمرة لكل محصول وفق متطلباته الخاصة، لضمان أفضل جودة ممكنة.

تركز Sustenir أيضًا على الاستدامة في استخدام الموارد، حيث تعتمد على تقنية Nutrient Film Technique (NFT) التي تعيد تدوير المياه، ما يقلل من استهلاكها بنسبة 95% مقارنة بالزراعة التقليدية. كما أن عدم الحاجة إلى الأراضي الزراعية يسمح بتوظيف هذه المساحات في مشروعات بيئية أخرى مثل التشجير.

تمكنت Sustenir من استخدام التكنولوجيا لتحسين الإنتاجية والطعم على حد سواء، إذ يمكنها إنتاج 3.2 طن من الخس في مساحة 54 متر مربع، مع القدرة على ضبط نكهات المحاصيل خلال مراحل النمو الأولى، لتصبح الكرنبيات أكثر هشاشة وحلاوة من نظيراتها التقليدية.

بالإضافة إلى ذلك، تستخدم المزرعة نظام إضاءة متطور يسمى Helios، ونظام ذكاء اصطناعي يدعى .S.A.R.A (Sustenir Agriculture Realtime Assistant) لمراقبة المتغيرات مثل الحرارة وثاني أكسيد الكربون، مما يعزز القدرة على ضبط النمو بشكل دقيق وتحسين الإنتاجية.

من خلال بيع منتجاتها الطازجة عبر منصات مثل Amazon Prime وRedMart وسلاسل المتاجر الكبرى Cold Storage وFairPrice Finest، تسهم Sustenir في تعزيز الأمن الغذائي المحلي وتقليل الاعتماد على الواردات، مما يجعلها نموذجًا عمليًا للزراعة الذكية المستدامة في سنغافورة. (sfa, 2025)

4. تحليل النتائج:

- أظهرت التجارب أن استخدام الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة يمكن أن يحسن الإنتاجية بشكل كبير، ويزيد جودة المحاصيل، مع تقليل الهدر والاعتماد على العمل اليدوي التقليدي.
- أسهمت تقنيات الزراعة الذكية، مثل أنظمة الري الدقيقة والحساسات البيئية، في تقليل استهلاك المياه والأسمدة والمبيدات، وخفض الانبعاثات الكربونية، والحفاظ على صحة التربة والتنوع البيولوجي.
- أظهرت مارسات الزراعة الذكية أن الأتمتة والروبوتات والطائرات المسيّرة يمكن أن توفر متابعة لحظية للحقول، وتساعد على اتخاذ قرارات سريعة ودقيقة، مما يعزز الكفاءة الاقتصادية للمزارع.
- الزراعة الذكية تمكن من إنتاج محاصيل متنوعة ومستمرة، حتى في البيئات الحضرية أو المناخات الصعبة، ما يعزز مرونة الأمن الغذائي ويقلل من الاعتماد على الظروف المناخية التقليدية.
- استخدام منصات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي والبلوك تشين يسهم في تحسين التتبع والشفافية وسلاسل التوريد، كما يوفر بيانات دقيقة لدعم اتخاذ القرار الاستراتيجي وتقليل التكاليف التشغيلية.

5. الخاتمة:

تُعد الزراعة الذكية اليوم من أهم الاتجاهات الحديثة في القطاع الزراعي، حيث يعتمد هذا النهج على تقنيات الثورة الصناعية الرابعة التي توفر أدوات مبتكرة لمراقبة وإدارة الموارد بكفاءة أعلى، وقد ساهمت هذه التكنولوجيا في تحويل الزراعة التقليدية إلى عمليات أكثر ذكاءً ودقة، مما يعزز القدرة على التنبؤ بالمحاصيل والتعامل بفعالية مع التحديات البيئية والمناخية. ولقد توصلت هذه الدراسة إلى عدة نتائج واقتراحات علمية مهمة حول الزراعة الذكية في ظل الثورة الصناعية الرابعة، أهمها:

- تعزيز البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية لتسهيل اعتماد تقنيات الزراعة الذكية، بما في ذلك الإنترنت عالي السرعة ومراكز البيانات المحلية.
- تطوير برامج تدريبية متخصصة للمزارعين في استخدام الأجهزة الذكية وتحليل البيانات، لضمان تطبيق أمثل للزراعة الذكية.

- تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتمويل مشاريع الزراعة الذكية، وتوفير حلول تمويلية للمزارعين الصغار لتغطية التكاليف الأولية للتقنيات الحديثة.
- دعم البحوث التطبيقية المحلية لتطوير حلول ذكية تتوافق مع خصوصيات البيئة والموارد في الدول النامية، مثل الجزائر، مع الاستفادة من التجارب العالمية كنماذج قابلة للتكييف.
- اعتماد سياسات واستراتيجيات وطنية للزراعة الذكية لتعزيز الأمن الغذائي، وتقليل الأثر البيئي، ورفع كفاءة استخدام الموارد الزراعية.

6. قائمة المراجع:

Bibliographie

agrirs. (2023). *What Is Smart Farming and the Benefits and Drawbacks of it?* Retrieved from https://www.agrirs.co.uk/blog/2023/04/what-is-smart-farming-and-the-benefits-and-drawbacks-of-it?source=google.com

Alice Gomstyn, A. J. (2023). *What is smart farming?* Retrieved from https://www.ibm.com/think/topics/smart-farming

Altomonte, L. (2023). *What is Smart Farming?* Retrieved from https://safetyculture.com/topics/smart-farming/

Cherlinka, V. (2025). *Smart Farming: Technologies & Benefits For Agriculture*. Retrieved from https://eos.com/blog/smart-farming/

Danish, S. A. (2023). Introductory Chapter: Smart Farming. *IntechOpen*.

iberdrola. (2025). *Smart Farming and precision agriculture*. Retrieved from https://www.iberdrola.com/about-us/our-innovation-model/smart-farming-precision-agriculture

iso. (2025). *Smart farming: the transformative potential of data-driven agriculture* . Retrieved from https://www.iso.org/smart-farming/smart-farming-data-driven

leher. (2025). *Smart Farming in India: Precision Techniques and Benefits*. Retrieved from https://www.leher.ag/blog/smart-farming-india-precision-techniques-benefits

Li, C. (2025). Artificial intelligence in Chinese agriculture Applications and prospects. Retrieved from https://www.dcz-china.org/wp-content/uploads/2025/02/Study_AI-applications-in-agriculture_2025-01_FINAL.pdf

Liu, H.-C. L. (2023). From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of Engineering Management, 2*(10), 191-205. doi:DOI: 10.1007/s42524-022-0243-z

ook, Z. (2020). *Success story on vertical farming in South Korea*. Retrieved from https://www.agroberichtenbuitenland.nl/actueel/nieuws/2020/07/28/success-story-on-vertical-farming-in-south-korea?utm.com

sfa. (2025). *FROM SG TO SG*. Retrieved from https://www.sfa.gov.sg/fromSGtoSG/farms/farm/Detail/sustenir-agriculture?utm_source=chatgpt.com

topraq. (2025). *What are the Technologies in Smart Agriculture?* Retrieved from https://www.topraq.ai/en/what-are-the-technologies-in-smart-agriculture/

ukri. (2017). *'Hands-free' crop harvested by robots in world-first trial.* Retrieved from https://www.ukri.org/who-we-are/how-we-are-doing/research-outcomes-and-impact/innovate-uk/hands-free-crop-harvested-by-robots-in-world-first-trial/

حسين نزيهة؛ برامقي راضية. (2024). أثر تطبيقات الجودة 4.0 في تحسين سلسلة القيمة في عصر الثورة الصناعية الرابعة. *مجلة أبحاث إقتصادية معاصرة*، *7*(1)، 134-121.

عبير محمود مجاهد. (2020). انعكاسات الثورة الصناعية الرابعة علي المشروعات الصغيرة والمتوسطة وتحقيق التنمية المستدامة تجارب الدول – الحالة المصرية. *مجلة العلوم الاقتصادية والتسيير والعلوم التجارية*، *12*(3)، 1-17.