



الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الأنشطة الزراعية

The Economic and Social Impact of Using IoT and AI in
Agricultural Activities

إعداد

د. / وائل ماجد السيد بدوي
Prof. Wael Badawy

رئيس قسمي علوم البيانات والامن السيبراني، كلية الذكاء الاصطناعي، الجامعة
المصرية الروسية

Doi: 10.21608/asajs.2025.419028

استلام البحث: ٢٠٢٤/٩/١١

قبول النشر: ٢٠٢٤/١٠/١٢

بدوي، وائل ماجد السيد (٢٠٢٥). الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الأنشطة الزراعية. *المجلة العربية للعلوم الزراعية*، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، مصر، ٨(٢٦)، ١-٣٦.

<http://asajs.journals.ekb.eg>

الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الأنشطة الزراعية

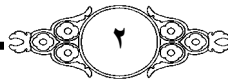
المستخلص:

يشهد القطاع الزراعي تحولات جذرية نتيجة دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في الأنشطة الزراعية، حيث تساهم هذه التقنيات في تحسين الإنتاجية وخفض التكاليف، مما يحقق مكاسب اقتصادية واجتماعية ملموسة. تعتمد أنظمة إنترنت الأشياء على مستشعرات ذكية لقياس رطوبة التربة، درجات الحرارة، ومراقبة صحة المحاصيل، بينما تقوم أنظمة الذكاء الاصطناعي بتحليل البيانات لتقديم حلول زراعية دقيقة، مثل تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل، والتنبؤ بالإصابة بالأمراض قبل وقوعها. أثبتت الدراسات أن تطبيق هذه التقنيات أدى إلى زيادة إنتاجية المحاصيل بنسبة تتراوح بين ٢٠% و ٣٠%، مع تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠%. كما أسهمت في تقليص استخدام الأسمدة والمبيدات، مما انعكس إيجاباً على البيئة. اقتصادياً، ساعدت هذه التقنيات في خفض تكاليف الإنتاج الزراعي، وزيادة دخل المزارعين بنسبة تصل إلى ٤٠% في بعض الدول، مثل الهند ورواندا. اجتماعياً، أسهم استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين مستوى معيشة المزارعين، خصوصاً في المناطق الريفية، من خلال تقليل الخسائر وتحسين التخطيط الزراعي. كما عززت هذه التقنيات الوعي الرقمي لدى المزارعين، وأسهمت في تقليل الفجوة بين المناطق الريفية والحضرية. ورغم هذه المكاسب، تواجه هذه التقنيات بعض التحديات في الدول العربية، مثل ارتفاع تكاليف تطبيقها، ضعف البنية التحتية الرقمية، ونقص الوعي التقني لدى المزارعين. لذلك، فإن دعم الحكومات والمستثمرين لهذه الحلول من شأنه أن يعزز الأمن الغذائي، ويرفع مستوى معيشة المزارعين، ويدعم التنمية الزراعية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، التنمية الريفية، الأمن الغذائي، الاستدامة الزراعية

Abstract:

The integration of the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) in agricultural activities is transforming the sector globally, offering significant economic and social improvements. IoT systems utilize smart sensors to monitor soil moisture, weather conditions, and crop health, while AI-powered analytics process this data to enable precision agriculture. These technologies enhance productivity by optimizing irrigation, reducing waste, and minimizing the use of fertilizers and pesticides. Studies indicate that implementing IoT and AI can increase agricultural yields by 20-30% while reducing water consumption by up to 50%, lowering production costs, and



improving efficiency .Economically, this results in higher profit margins for farmers, especially smallholders, by reducing input costs and minimizing losses due to pests or adverse weather conditions. Farmers also benefit from AI-driven market analysis, enabling them to make informed decisions regarding crop prices and demand. In countries like Rwanda and India, the adoption of smart farming has led to a 40% increase in farmers' income . Socially, these technologies contribute to rural development by improving the quality of life for farmers and reducing poverty. They enhance digital literacy among rural populations, bridging the gap between rural and urban communities. Additionally, women in agriculture can gain better access to data and resources, promoting gender equality . However, the successful adoption of IoT and AI requires addressing challenges like high initial costs, poor rural infrastructure, and the digital divide. With proper support, these innovations hold the potential to revolutionize agriculture, fostering sustainable development and enhancing food security worldwide.

Keywords: Artificial Intelligence, Internet of Things, Rural Development, Food Security, Agricultural Sustainability

المقدمة

في العقود الأخيرة، شهد القطاع الزراعي تحولاً جذرياً نتيجة التطورات التكنولوجية المتسارعة، حيث أصبحت مفاهيم مثل "إنترنت الأشياء" (IoT) و"الذكاء الاصطناعي" (AI) جزءاً أساسياً من العمليات الزراعية الحديثة. هذه التقنيات باتت تمثل ثورة رقمية في عالم الزراعة، ليس فقط من حيث زيادة الإنتاجية، بل أيضاً في تحقيق الاستدامة، وتقليل الهدر في الموارد، وتحسين مستوى معيشة العاملين في هذا القطاع (World Bank, 2020).

وفقاً لتقرير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO, 2022) ، يُواجه القطاع الزراعي عالمياً تحديات متزايدة، مثل تغير المناخ، وشح الموارد المائية، وارتفاع تكاليف الإنتاج، وزيادة الطلب على الغذاء بسبب النمو السكاني. في هذا السياق، تبرز أهمية التكنولوجيا الرقمية كأداة فعالة في التغلب على هذه التحديات، حيث يوفر إنترنت الأشياء أنظمة مراقبة متقدمة تمكن من متابعة الظروف البيئية والتربة في الوقت الفعلي، بينما تتيح خوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل هذه البيانات لتوجيه قرارات المزارعين نحو أفضل الممارسات الزراعية. (Elijah et al., 2018)



إن إنترنت الأشياء (IoT) عبارة عن شبكة من الأجهزة المتصلة، مثل المستشعرات والطائرات المسيّرة، التي تجمع بيانات حول التربة، والرطوبة، ودرجات الحرارة، ومستويات الأسمدة. أما الذكاء الاصطناعي (AI) فيستخدم هذه البيانات لتوليد رؤى وتحليلات تساعد في اتخاذ قرارات زراعية أكثر دقة. (Wolfert et al., 2017) على سبيل المثال، يمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي تحليل الصور الجوية التي تلتقطها الطائرات المسيّرة، لتحديد المناطق التي تعاني من نقص الري أو تعرضت لأفات، ما يسمح بالتدخل المبكر وتقليل الخسائر. (Zhang et al., 2019)

اقتصاديًا، ساهم تطبيق IoT و AI في تخفيض تكلفة العمليات الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% إلى ٣٠% في بعض الدول، مثل الولايات المتحدة وهولندا. (McKinsey, 2021) ففي مزارع القطن في الهند، أدى استخدام مستشعرات IoT إلى تقليل استهلاك المياه بنسبة ٣٥% وزيادة الإنتاجية بنسبة ٢٠%. (Patil & Kale, 2016) كما ساهمت خوارزميات تحليل البيانات في تحسين عمليات البيع والتسويق، من خلال التنبؤ بأسعار المحاصيل وتوجيه المزارعين إلى أنسب توقيت لبيع منتجاتهم، ما أدى إلى زيادة الدخل الزراعي. (Baumüller, 2018).

اجتماعيًا، أدى استخدام هذه التقنيات إلى تحسين مستوى معيشة المزارعين في الدول النامية. على سبيل المثال، في رواندا، ساهم مشروع "Smart Agriculture" المدعوم من البنك الدولي في تدريب المزارعين على استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي، مما أدى إلى زيادة إنتاجية مزارع البن بنسبة ٢٥%. (World Bank, 2019) ومع ذلك، فإن هذه التحولات لم تخلُ من آثار سلبية، حيث أدى الاعتماد المتزايد على الأتمتة إلى تقليص الحاجة إلى العمالة اليدوية، مما تسبب في فقدان بعض الوظائف في المجتمعات الريفية. (Basso & Antle, 2020)

رغم المكاسب الاقتصادية والاجتماعية، فإن تطبيق تقنيات IoT و AI في الزراعة يواجه عدة تحديات، من بينها ارتفاع تكاليف التأسيس، وضعف البنية التحتية الرقمية في بعض المناطق الريفية، فضلاً عن مقاومة بعض المزارعين التقليديين لهذه التغييرات. (Liu et al., 2021) إضافةً إلى ذلك، يتطلب استخدام هذه التقنيات مهارات رقمية متقدمة، ما يستدعي

وضع برامج تدريبية لتأهيل المزارعين. (GODAN, 2019)

أظهرت تجارب دول مثل هولندا، التي تُعد رائدة في مجال "الزراعة الدقيقة"، أن توظيف IoT و AI أدى إلى خفض استهلاك المياه بنسبة ٥٠%، وتقليل استخدام المبيدات بنسبة ٤٠%. (Klerkx et al., 2019) كما ساهم استخدام روبوتات زراعية تعتمد على الذكاء الاصطناعي في اليابان في تخفيض تكاليف الحصاد بنسبة ٣٠%. (FAO, 2021) هذه التجارب تُبرز أهمية تبني الدول العربية، خصوصاً مصر، لهذه التقنيات لتحديث قطاعها الزراعي.

من المتوقع أن يشهد قطاع الزراعة في الشرق الأوسط تحولاً رقمياً متزايداً خلال السنوات القادمة. وفقاً لتقرير شركة Deloitte (2022)، فإن ٧٠% من المزارع الكبرى في

السعودية تخطط للاستثمار في تقنيات IoT و AI بحلول عام ٢٠٣٠. كذلك، تعمل الحكومة المصرية على تنفيذ مبادرات مثل "الزراعة الذكية" لتطوير القطاع الزراعي، بما يتماشى مع "رؤية مصر ٢٠٣٠" لتحقيق الأمن الغذائي (وزارة الزراعة المصرية، ٢٠٢١).

نظرًا لهذه التحولات، أصبح من الضروري دراسة الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام IoT و AI في الأنشطة الزراعية، من أجل فهم كيفية تعزيز العوائد الاقتصادية، وتحقيق التنمية الريفية المستدامة، مع تقليل الآثار الاجتماعية السلبية. هذا البحث يُسلط الضوء على هذه الجوانب، مع تقديم تحليل نقدي لتجارب دولية، واستعراض الواقع العربي، بهدف الخروج بتوصيات تدعم صنّاع القرار في تبني حلول تكنولوجية فعالة لدعم التنمية الزراعية. (Giller et al., 2021)

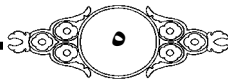
يتضح أن الجمع بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يُمثل نقلة نوعية في مجال الزراعة، ليس فقط من حيث رفع الإنتاجية وتقليل التكاليف، بل أيضًا في تحسين حياة المزارعين، وتعزيز الأمن الغذائي. إلا أن نجاح هذه التقنيات يتطلب تهيئة بيئة داعمة تشمل بنية تحتية رقمية، وبرامج تدريبية، وتشريعات واضحة (Badawy, W. (2025)). من هنا، تأتي أهمية هذا البحث في تقديم رؤية شاملة حول التأثيرات الاقتصادية والاجتماعية لهذه التقنيات، بما يُسهم في وضع سياسات مستدامة تدعم التحول الرقمي للقطاع الزراعي في الدول العربية.

مدخل لمشكلة البحث

مع تسارع التطورات التكنولوجية في العقود الأخيرة، أصبح قطاع الزراعة يواجه تحديات متزايدة تفرض ضرورة اعتماد حلول مبتكرة لضمان استدامة الإنتاج وتحقيق الأمن الغذائي. في ظل تزايد الطلب العالمي على الغذاء نتيجة النمو السكاني، تشير التقديرات إلى أن العالم سيحتاج إلى زيادة الإنتاج الزراعي بنسبة ٧٠% بحلول عام ٢٠٥٠ لتلبية احتياجات السكان. (FAO, 2022) هذه الحاجة تتزامن مع تفاقم مشاكل ندرة الموارد الطبيعية، وتغير المناخ، وتدهور الأراضي الزراعية، مما يدفع الدول نحو البحث عن تقنيات ذكية لتحسين الإنتاجية وتقليل الهدر. (Godfray et al., 2010)

يعاني الإنتاج الزراعي في العديد من الدول النامية، ومنها الدول العربية، من ضعف الإنتاجية، وارتفاع تكاليف المدخلات، والتقلبات المناخية التي تؤثر على المحاصيل. (El Bilali & Allahyari, 2018) في مصر، مثلًا، يُشكل القطاع الزراعي نحو ١٤% من الناتج المحلي الإجمالي، ويستوعب أكثر من ٢٥% من القوى العاملة، إلا أن المزارعين يعانون من تدني مستوى الميكنة الزراعية، وعدم توافر أنظمة ري حديثة، وضعف الوعي باستخدام التكنولوجيا الرقمية. (CAPMAS, 2020)

تُعد ندرة المياه من أبرز التحديات التي تواجه الزراعة في المناطق الجافة وشبه الجافة، كمنطقة الشرق الأوسط. تشير تقارير البنك الدولي (World Bank, 2019) إلى أن أكثر من ٦٠% من سكان المنطقة يعانون من شح المياه. في هذا السياق، تُظهر تقنيات الري



الذكي باستخدام إنترنت الأشياء نتائج إيجابية في تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠% في بعض الدول، مثل الأردن والسعودية. (Hossain et al., 2018)

أدى تغير المناخ إلى زيادة حالات الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة، وتواتر الفيضانات، مما أثر سلبيًا على المحاصيل الزراعية. وفقًا لتقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC, 2021)، فإن ارتفاع درجات الحرارة بمقدار ٢ درجة مئوية سيؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل الأساسية بنسبة تتراوح بين ١٠-٢٥%، خصوصًا في إفريقيا والشرق الأوسط.

رغم أن التكنولوجيا الرقمية أصبحت جزءًا أساسيًا من القطاعات الصناعية والخدمية، فإن القطاع الزراعي، خاصة في الدول النامية، لا يزال متأخرًا في تبني هذه التقنيات. يُشير تقرير منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD, 2020) إلى أن المزارعين في المناطق الريفية غالبًا ما يفتقرون إلى التدريب الرقمي، إضافة إلى ضعف البنية التحتية للاتصالات، مما يُعيق وصولهم إلى حلول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء.

تعتمد الزراعة التقليدية على الاستخدام المكثف للأسمدة والمبيدات، مما يزيد من الأعباء المالية على المزارعين. أدى ارتفاع أسعار الأسمدة عالميًا بنسبة ٨٠% في الفترة بين ٢٠٢١ و٢٠٢٢، وفقًا لتقارير البنك الدولي (World Bank, 2022)، إلى زيادة تكاليف الإنتاج، وهو ما يجعل المزارعين في حاجة إلى حلول تساعد على تحسين كفاءة استخدام الموارد.

تعتمد معظم الأنشطة الزراعية في الدول العربية على التقديرات الشخصية، وهو ما يؤدي في كثير من الأحيان إلى سوء تقدير كميات الري أو الأسمدة المطلوبة. استخدام أجهزة الاستشعار المرتبطة بإنترنت الأشياء يُمكن أن يوفر بيانات دقيقة في الوقت الحقيقي حول حالة التربة والمحاصيل، مما يساعد المزارعين على اتخاذ قرارات مدروسة (Wolfert et al., 2017).

تُظهر إحصائيات منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2020) أن متوسط استخدام الميكنة في الزراعة بالدول العربية أقل بنسبة ٦٠% مقارنة بالدول المتقدمة. هذا القصور يُساهم في تدني الإنتاجية وزيادة الاعتماد على العمل اليدوي، ما يحد من قدرة المزارعين على الاستفادة من التقنيات الحديثة.

تشير الدراسات إلى أن المناطق الريفية في الدول العربية تُعاني من مستويات مرتفعة من الفقر، حيث يعيش أكثر من ٣٠% من سكان الريف تحت خط الفقر. (IFAD, 2019) التكنولوجيا الحديثة، مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، يمكن أن تُسهم في تحسين مستوى معيشة المزارعين من خلال رفع الإنتاجية وزيادة الدخل (Balafoutis et al., 2017).

رغم أن بعض الدول العربية بدأت في تبني مبادرات الزراعة الذكية، مثل "مبادرة التحول الرقمي الزراعي" في السعودية، ومشروع "مراقبة الأراضي الزراعية بالأقمار

الصناعية" في مصر، إلا أن هذه الجهود لا تزال محدودة مقارنة بالاحتياجات الفعلية، مما يفرض ضرورة تعزيز التعاون بين الحكومات والقطاع الخاص. (Alreshidi, 2020)

أثبتت التجارب العالمية في دول مثل هولندا، وأستراليا، والولايات المتحدة، أن تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يُمكن أن يُحقق قفزات نوعية في القطاع الزراعي، من خلال تحسين إدارة الموارد، وتقليل المخاطر، وزيادة الربحية (Brewster et al., 2017).

أمام هذه التحديات، تبرز الحاجة إلى دراسة شاملة حول الأثر الاقتصادي والاجتماعي لتوظيف إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الأنشطة الزراعية، بهدف فهم كيفية تسخير هذه التقنيات لدعم صغار المزارعين، وتحقيق الاستدامة الزراعية، وتقليل الفجوة الرقمية بين الريف والحضر. هذه الدراسة تسعى لسد الفجوة المعرفية في هذا المجال، من خلال تحليل تجارب دولية، واستكشاف فرص تطبيق هذه التقنيات في الدول العربية.

نتائج البحوث والدراسات السابقة

شهدت السنوات الأخيرة اهتمامًا متزايدًا باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في القطاع الزراعي. وقد أظهرت الدراسات أن هذه التقنيات تلعب دورًا جوهريًا في تحسين الكفاءة الاقتصادية والإنتاجية الزراعية، إلى جانب تأثيرها على الحياة الاجتماعية والاقتصادية للمزارعين، خاصة في المناطق الريفية (Elijah et al., 2018; Wolfert et al., 2017).

إنترنت الأشياء هو نظام يربط الأجهزة الذكية والمستشعرات بالشبكات الرقمية، لتمكين جمع البيانات وتحليلها في الوقت الحقيقي (Gondchawar & Kawitkar, 2016). في الزراعة، تشمل تطبيقات IoT أنظمة الري الذكية، مراقبة التربة، تتبع نمو المحاصيل، وإدارة الموارد الزراعية.

تطبيقات IoT في الزراعة

- إدارة الري الذكي: أظهرت دراسة لـ Patel et al. (2021) أن استخدام مستشعرات IoT قلل استهلاك المياه بنسبة ٤٠% في مزارع الأرز في الهند.
- مراقبة التربة: وفقًا لـ Zhang et al. (2019)، تم استخدام أجهزة استشعار لرصد رطوبة التربة في الصين، مما أسهم في زيادة إنتاجية المحاصيل بنسبة ٢٥%.
- تحسين جودة المحاصيل: دراسة أجريت في أستراليا (Smith et al., 2020) أظهرت أن أنظمة الاستشعار الذكية ساعدت في اكتشاف الأمراض النباتية قبل انتشارها، مما قلل الخسائر بنسبة ٣٠%.

تشير تقديرات McKinsey (2021) إلى أن استخدام IoT في الزراعة يمكن أن يؤدي إلى زيادة العائد الاقتصادي بنسبة ١٥% إلى ٢٥%. في مزارع القمح في الولايات المتحدة، ساهمت أنظمة المراقبة الذكية في خفض تكاليف التشغيل بنسبة ٢٠% (Dutt, 2017).



الذكاء الاصطناعي يشمل أنظمة وبرمجيات تُحاكي الذكاء البشري، وتساعد على تحليل البيانات الزراعية، التنبؤ بالإنتاجية، وتشخيص الأمراض النباتية (Chlingaryan et al., 2018).

تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة

- **التنبؤ بالإنتاجية:** في كندا، أظهرت دراسة لـ Jones et al. (2021) أن خوارزميات التنبؤ المعتمدة على الذكاء الاصطناعي زادت دقة تقدير المحصول بنسبة ٩٠٪.
 - **تشخيص الآفات والأمراض:** دراسة في البرازيل (Ferreira et al., 2020) بينت أن الذكاء الاصطناعي اكتشف أمراض الحمضيات بدقة ٩٣٪.
 - **إدارة الحصاد:** استخدام روبوتات الذكاء الاصطناعي في اليابان خفض تكاليف الحصاد بنسبة ٢٥٪ (Takeda et al., 2019).
- وفقاً لـ PwC (2020)، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساهم في زيادة القيمة المضافة للقطاع الزراعي العالمي بحوالي ٢٠٠ مليار دولار سنوياً.
- يجمع مفهوم الزراعة الذكية بين IoT وAI، حيث تُستخدم أجهزة الاستشعار لجمع البيانات، بينما تُحلل أنظمة الذكاء الاصطناعي هذه البيانات لتوجيه المزارعين نحو اتخاذ قرارات أكثر دقة. (Wolfert et al., 2017)

تجارب دولية ناجحة

- **هولندا:** تبنت نموذج "Precision Agriculture" باستخدام IoT وAI، مما أدى إلى خفض استهلاك المياه بنسبة ٥٠٪، وزيادة إنتاجية البطاطس بنسبة ٣٠٪ (Klerkx et al., 2019).
 - **الصين:** طبقت الحكومة مشروع "الزراعة الرقمية"، مما أدى إلى تحسين كفاءة استخدام الأراضي بنسبة ٢٠٪ (Li et al., 2020).
- في رواندا، ساهم مشروع "Smart Agriculture" في زيادة دخل المزارعين بنسبة ٤٠٪ (World Bank, 2019) و أظهرت دراسة لـ El Bilali (2020) أن استخدام التطبيقات الذكية عزز مشاركة المزارعين الشباب في الأنشطة الزراعية.
- تشير تقارير البنك الدولي (٢٠٢١) إلى أن تكاليف تركيب أنظمة IoT والذكاء الاصطناعي تشكل عائقاً رئيسياً أمام صغار المزارعين.
- في الدول الإفريقية، لا تزال ٤٠٪ من المناطق الريفية تفتقر إلى تغطية الإنترنت (GSMA, 2020) وأظهرت دراسة لـ Basso & Antle (2020) أن الزراعة الذكية قللت استخدام المبيدات بنسبة ٣٥٪.
- مشروع في المغرب، طبق أنظمة ري ذكية، ساعد على توفير المياه بنسبة ٤٥٪ (FAO, 2022). وتشير معظم الدراسات إلى أن تقنيات IoT وAI تُحقق مكاسب اقتصادية واجتماعية واضحة، غير أنها تتطلب توفير بنية تحتية مناسبة، ودعمًا حكوميًا، وبرامج تدريبية لتأهيل المزارعين.



مشكلة البحث

رغم التقدم الملحوظ في تطبيقات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في القطاع الزراعي عالمياً، لا تزال الدول النامية، خصوصاً الدول العربية، تعاني من فجوة واسعة في تبني هذه التقنيات. هذه الفجوة أدت إلى استمرار معاناة القطاع الزراعي من تدني الإنتاجية، ضعف الكفاءة الاقتصادية، وزيادة معدلات الفقر في المناطق الريفية (FAO, 2022). لذلك، تبرز عدة إشكاليات تستدعي الدراسة والتحليل، من أبرزها:

إن تكاليف اعتماد أنظمة إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي مرتفعة، خصوصاً بالنسبة لصغار المزارعين، الذين يمثلون الشريحة الأكبر في الدول العربية. تشير التقارير إلى أن تكلفة تركيب أنظمة زراعة ذكية في مزارع صغيرة قد تصل إلى ٥٠٠٠ دولار أمريكي، وهو مبلغ يفوق قدرات معظم المزارعين (World Bank, 2020). هذه التكاليف تشمل شراء المستشعرات، الأجهزة الذكية، تقنيات الذكاء الاصطناعي، ورسوم تشغيل وصيانة هذه الأنظمة.

تُعاني المناطق الريفية في معظم الدول العربية من ضعف شبكة الإنترنت، وانعدام التغطية الرقمية في بعض المناطق. تشير الإحصاءات إلى أن ٤٠% من سكان الريف في الدول العربية لا يملكون اتصالاً ثابتاً بالإنترنت، مما يعيق استخدام تقنيات الزراعة الذكية (GSMA, 2020). علاوة على ذلك، يعاني المزارعون من الأمية الرقمية، ويفتقرون إلى التدريب اللازم لاستخدام هذه التقنيات.

لا يزال كثير من المزارعين في الدول النامية يعتمدون على الأساليب التقليدية، ويفتقرون إلى المعرفة بأهمية تقنيات IoT و AI. أظهرت دراسة أجرتها منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2019) أن ٧٠% من المزارعين في دول شمال إفريقيا لم يسمعوا عن مفهوم "الزراعة الذكية" من قبل. هذا الجهل المعرفي يعوق عمليات التحول الرقمي في القطاع الزراعي.

إن إدخال الأتمتة والذكاء الاصطناعي في الزراعة يُثير مخاوف متزايدة بشأن فقدان العمال الزراعيين لوظائفهم. ففي الهند، أدى إدخال الروبوتات الزراعية إلى تقليص فرص العمل بنسبة ١٥% في بعض المناطق الريفية (Glover et al., 2019). هذه التداخيات قد تؤدي إلى تفاقم مشكلات البطالة، خصوصاً بين العمالة غير الماهرة.

رغم المبادرات الحكومية في بعض الدول العربية، مثل السعودية والإمارات، إلا أن أغلب الدول العربية لم تُدمج بعد تقنيات IoT و AI ضمن سياساتها الزراعية. تفتقر السياسات الزراعية في مصر، الجزائر، والمغرب إلى تشريعات واضحة لتشجيع الاستثمار في تقنيات الزراعة الذكية (Alreshidi, 2020). كما أن الدعم الحكومي الموجه لصغار المزارعين يركز غالباً على توفير الأسمدة والمبيدات، وليس على تمويل الابتكارات الرقمية. تعتمد معظم الأبحاث الحالية على تجارب الدول المتقدمة، مثل الولايات المتحدة وهولندا، بينما تفتقر الدول العربية إلى دراسات ميدانية توضح أثر استخدام IoT و AI في

تحسين الأداء الزراعي. هذه الفجوة البحثية تجعل من الصعب تبني سياسات زراعية قائمة على الأدلة، وتُعيق التخطيط السليم لتطوير القطاع.

تعاني أنظمة IoT من مشكلات تتعلق بضعف الحماية السيبرانية، ما يجعل البيانات الزراعية عُرضة للاختراق. وفقاً لتقرير صادر عن (Kaspersky 2021)، تعرضت ١٥% من أنظمة الزراعة الذكية في آسيا لهجمات سيبرانية، مما أدى إلى تعطيل أنظمة الري الذكي وإتلاف المحاصيل. هذه التهديدات تجعل المزارعين متخوفين من استخدام هذه التقنيات.

رغم أن تقنيات IoT و AI تساهم في تحسين كفاءة الموارد الزراعية، إلا أن استخدامها المكثف قد يُشكل ضغطاً على الموارد الطبيعية. على سبيل المثال، أجهزة الاستشعار تحتاج إلى طاقة كهربائية مستمرة، مما يُشكل عبئاً في المناطق التي تعاني من ضعف البنية الكهربائية. (Elijah et al., 2018)

يواجه المزارعون صعوبة في تقييم العائد الاستثماري لهذه التقنيات، إذ قد تستغرق النتائج الإيجابية سنوات للظهور. دراسة أجرتها (McKinsey 2021) أظهرت أن ٣٥% من المزارعين الذين اعتمدوا أنظمة IoT في الولايات المتحدة لم يتمكنوا من استرداد تكاليف الاستثمار خلال أول ٣ سنوات.

يُلاحظ غياب التنسيق بين الحكومات وشركات التكنولوجيا الزراعية، مما أدى إلى تعثر بعض المشاريع التجريبية. على سبيل المثال، في مشروع الزراعة الذكية في السودان، أدى سوء التنسيق بين الجهات الحكومية والمستثمرين إلى تعطيل المشروع بعد عامين من إنطلاقه. (World Bank, 2019)

خلاصة مشكلة البحث

إن استخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في القطاع الزراعي يمثل فرصة واعدة لتعزيز الإنتاجية الزراعية وتحقيق الأمن الغذائي، إلا أن تطبيق هذه التقنيات يواجه تحديات اقتصادية، اجتماعية، وبنوية في الدول العربية. هذه التحديات تستدعي البحث والدراسة لفهم كيفية تهيئة البيئة المناسبة لاعتماد هذه التقنيات، بما يُحقق الاستفادة الزراعية، ويرفع مستوى معيشة المزارعين.

تساؤلات البحث

في ظل التحولات الكبيرة التي يشهدها القطاع الزراعي عالمياً، وبالنظر إلى تنامي استخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في تحسين الإنتاج الزراعي، برزت العديد من التساؤلات البحثية التي تسلط الضوء على الأثر الاقتصادي والاجتماعي لهذه التقنيات. هذه التساؤلات تستهدف تحليل مدى فعالية هذه الأدوات في تحقيق التنمية الزراعية المستدامة، ومدى قدرتها على تحسين الظروف المعيشية للمزارعين، خصوصاً في الدول النامية. يُعدّ تحديد هذه التساؤلات أمراً جوهرياً لفهم الإشكاليات التي تواجه هذا القطاع، والوصول إلى حلول علمية وعملية تساعد في رسم سياسات زراعية قائمة على الابتكار الرقمي.

١- ما حجم التأثير الاقتصادي لاستخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في القطاع الزراعي؟

يتطلب تقييم الأثر الاقتصادي قياس مدى مساهمة هذه التقنيات في تقليل تكاليف الإنتاج، وزيادة الإنتاجية الزراعية، وتحسين العائد المادي للمزارعين. فوفقاً لتقرير منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2022)، فإن تطبيق أنظمة الري الذكي وتقنيات الذكاء الاصطناعي أسهم في خفض استهلاك المياه والأسمدة بنسبة تصل إلى ٤٠% في بعض المناطق، مما رفع من هامش الربح. فهل يمكن تحقيق نتائج مشابهة في الدول العربية، أم أن التحديات البنوية تشكل عائقاً أمام تحقيق تلك الفوائد؟

٢- كيف يمكن لهذه التقنيات أن تسهم في تحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية للمجتمعات الريفية؟

في كثير من الحالات، تُعد المجتمعات الريفية في الدول العربية الأكثر تأثراً بمشكلات الفقر والبطالة، وهو ما يجعل التكنولوجيا الزراعية الذكية فرصة لخلق فرص عمل جديدة، أو على العكس، تهديداً لمصادر دخلهم التقليدية. (Basso & Antle, 2020) كيف يُمكن لهذه التقنيات أن ترفع من مستوى معيشة صغار المزارعين؟ وهل ستؤدي أتمتة العمليات الزراعية إلى تقليل الطلب على العمالة اليدوية، مما ينعكس سلباً على مستويات البطالة؟

٣- ما مدى وعي المزارعين في الدول العربية بأهمية استخدام IoT و AI في تحسين إنتاجية المحاصيل؟

أظهرت دراسات سابقة أن وعي المزارعين يمثل أحد أكبر التحديات التي تواجه تبني التكنولوجيا الزراعية في الدول النامية. (Elijah et al., 2018) فهل يدرك المزارعون العرب الفوائد المحتملة لهذه التقنيات؟ وهل هناك فجوة معرفية تجعلهم مترددين في تبني الحلول الذكية؟ وما هي الوسائل الأكثر فعالية لتوعية هؤلاء المزارعين؟

٤- ما العوامل التي تُعيق تطبيق أنظمة إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الدول العربية؟

تشير التقارير إلى أن ضعف البنية التحتية الرقمية، وارتفاع التكاليف، وغياب الدعم الحكومي، كلها عوامل تعوق تطبيق IoT و AI في قطاع الزراعة بالدول العربية (World Bank, 2020). فما مدى تختلف هذه المعوقات بين الدول العربية؟ وما مدى تأثير كل

منها على قرارات المزارعين فيما يتعلق بتبني التكنولوجيا الذكية؟

٥- كيف يمكن تحقيق التوازن بين أتمتة العمليات الزراعية والحفاظ على فرص العمل؟ رغم أن تقنيات الذكاء الاصطناعي والروبوتات الزراعية تسهم في تقليل الاعتماد على العمالة البشرية، إلا أن هذه الأتمتة قد تؤدي إلى فقدان كثير من العمال لوظائفهم (Glover et al., 2019). فهل يمكن لهذه التقنيات أن تخلق فرصاً عمل جديدة في مجالات أخرى، مثل صيانة الأجهزة الرقمية، أو تحليل البيانات الزراعية؟ وهل يمكن تحقيق توازن بين رفع كفاءة الإنتاج والحفاظ على حقوق العمال الزراعيين؟

٦- كيف يُمكن تحسين السياسات الزراعية في الدول العربية لتشجيع الاستثمار في التكنولوجيا الذكية؟

تلعب الحكومات دورًا محوريًا في توفير البيئة المناسبة لتبني التقنيات الزراعية الحديثة. فهل تتطلب المرحلة الراهنة وضع حوافز استثمارية للشركات العاملة في مجال إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي؟ وهل يمكن تصميم برامج تمويل مخصصة لصغار المزارعين لتشجيعهم على استخدام هذه الأنظمة؟

٧- ما الدور الذي يمكن أن تلعبه مؤسسات المجتمع المدني والجهات الأكاديمية في دعم التحول الرقمي الزراعي؟

تشير التجارب العالمية إلى أن الجمعيات التعاونية، والجامعات، ومراكز البحث العلمي، لعبت دورًا كبيرًا في تدريب المزارعين على استخدام التقنيات الحديثة (FAO, 2020). فالإلى أي مدى يمكن لمؤسسات المجتمع المدني في الدول العربية أن تسهم في رفع الوعي بأهمية التكنولوجيا الزراعية؟ وهل يمكن إقامة شراكات بين الجامعات وشركات التكنولوجيا الزراعية لتطوير حلول محلية مخصصة لاحتياجات المزارعين العرب؟

٨- ما تأثير تقنيات IoT و AI على الاستدامة البيئية في الأنشطة الزراعية؟
تُظهر الأبحاث أن أنظمة الري الذكي وتقنيات تحليل البيانات يمكن أن تقلل من استهلاك المياه، وتحد من استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية (Brewster et al., 2017). فهل يمكن لهذه التقنيات أن تسهم في تحقيق الزراعة المستدامة في الدول العربية؟ وما مدى توافقها مع ظروف المناخ الجاف في المنطقة؟

٩- كيف يمكن ضمان حماية البيانات الزراعية في ظل استخدام أنظمة IoT و AI؟
تتطلب أنظمة IoT جمع كميات كبيرة من البيانات حول الأراضي والمحاصيل، ما يُثير مخاوف بشأن الخصوصية وأمن البيانات (Kaspersky, 2021). فكيف يمكن ضمان حماية هذه البيانات في الدول العربية، خاصة في ظل غياب قوانين واضحة لتنظيم الأمن السيبراني في القطاع الزراعي؟

١٠- ما الدور المتوقع للتكنولوجيا الزراعية في دعم رؤية "مصر ٢٠٣٠" وتحقيق الأمن الغذائي العربي؟

تسعى العديد من الدول العربية، مثل مصر والسعودية، لتحقيق الأمن الغذائي من خلال تعزيز الإنتاج المحلي، وتقليل الاعتماد على الواردات الزراعية (وزارة الزراعة المصرية، ٢٠٢١). فهل يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء أن تساهم في تحقيق هذه الرؤية الوطنية؟

خلاصة التساؤلات البحثية

تُشكل هذه التساؤلات إطارًا تحليليًا لفهم أبعاد تأثير IoT و AI على القطاع الزراعي في الدول العربية. الإجابة عن هذه التساؤلات لن تساعد فقط في تحديد الفوائد الاقتصادية والاجتماعية لهذه التقنيات، بل ستوفر أيضًا خارطة طريق لصناع القرار لتطوير استراتيجيات زراعية حديثة قائمة على التكنولوجيا.

الأهمية

الأهمية الاقتصادية

تشكل الزراعة الركيزة الأساسية لاقتصادات العديد من الدول، خاصة الدول النامية. في الدول العربية، يساهم القطاع الزراعي بنحو ١٤% من الناتج المحلي الإجمالي في مصر، و١٣% في المغرب، و١٢% في السودان. (World Bank, 2021) ورغم هذه الأهمية، يعاني القطاع من انخفاض الإنتاجية وارتفاع تكاليف الإنتاج. إن تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) يمكن أن يساهم في:

- **زيادة الإنتاجية:** أظهرت دراسات (FAO, 2022) أن استخدام أنظمة الري الذكي يمكن أن يرفع الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و ٣٠%، خاصة في المحاصيل الاستراتيجية كالأرز والقمح.
- **خفض تكاليف الإنتاج:** استخدام أجهزة استشعار IoT للتحكم في كمية المياه والأسمدة يقلل من الهدر بنسبة تصل إلى ٤٠%، وفقاً لدراسة أجريت في الهند (Patel et al., 2021).

- **تحسين التسويق الزراعي:** الذكاء الاصطناعي يمكن أن يُسهم في تحليل أسعار السوق والتنبؤ بها، مما يساعد المزارعين على اختيار الوقت الأمثل لتسويق منتجاتهم، وهو ما ثبت نجاحه في تجارب جنوب إفريقيا. (Chlingaryan et al., 2018)

الأهمية الاجتماعية

يمثل المزارعون في المناطق الريفية الفئة الأكثر هشاشة اقتصادياً واجتماعياً في الدول العربية. لذلك، فإن التحول الرقمي في الزراعة له تأثير اجتماعي بارز يتمثل في:

- **رفع مستوى معيشة المزارعين:** تطبيق تقنيات IoT و AI يزيد من دخل المزارعين من خلال تحسين إنتاجيتهم وتقليل خسائرهم. في رواندا، ساهم مشروع "Smart Agriculture" المدعوم من البنك الدولي في زيادة دخل المزارعين بنسبة ٤٠% (World Bank, 2019).

- **تقليل الفجوة الرقمية:** إدخال التقنيات الحديثة في الزراعة يساعد في تقليص الفجوة بين المجتمعات الريفية والمناطق الحضرية من خلال تعزيز الوعي الرقمي.
- **تعزيز دور المرأة الريفية:** في كثير من الحالات، تُعد النساء العمود الفقري للعمل الزراعي. إدخال التكنولوجيا في العمليات الزراعية يمكن أن يمنح المرأة أدوات لتحسين إنتاجيتها وتحقيق استقلالها الاقتصادي. (IFAD, 2020)

الأهمية البيئية

في ظل تفاقم مشكلة ندرة المياه وتغير المناخ، تكتسب تقنيات الزراعة الذكية أهمية خاصة لأنها:

- **تحافظ على الموارد المائية:** أنظمة الري الذكي تعتمد على قياس مستوى رطوبة التربة، مما يقلل الهدر في المياه بنسبة ٣٠% - ٥٠%. (Elijah et al., 2018)

- **تقليل استخدام المبيدات:** استخدام الذكاء الاصطناعي في تشخيص الأمراض النباتية يساهم في تقليل استخدام المبيدات بنسبة ٢٥%، مما يقلل من التلوث البيئي (Basso & Antle, 2020).
- **تحقيق الاستدامة:** تحسين إدارة الموارد الزراعية يساهم في الحفاظ على التربة وتقليل تدهورها، وهو ما ظهر في تجارب أستراليا. (Smith et al., 2020)
- **الأهمية التقنية**
رغم أن قطاع الزراعة في الدول العربية متأخر في تبني الثورة الرقمية مقارنة بقطاعات الصناعة والخدمات، إلا أن الرقمنة أصبحت أمرًا حتميًا. استخدام IoT و AI في الزراعة يمثل فرصة لتحديث هذا القطاع:
- **دمج المزارعين في الاقتصاد الرقمي:** إدخال التكنولوجيا يمكن أن يجعل المزارعين جزءًا من الاقتصاد الرقمي، ويمكنهم من استخدام تطبيقات لتحليل البيانات، والتواصل المباشر مع الأسواق.
- **تعزيز الابتكار:** إدخال أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات الزراعية يفتح الباب أمام المزارعين لتجربة طرق زراعية جديدة، مثل الزراعة الدقيقة والزراعة العمودية (Wolfert et al., 2017).
- **الأهمية السياسية والاستراتيجية**
في ظل الاضطرابات السياسية والنزاعات، أصبح الأمن الغذائي أولوية استراتيجية للدول العربية. الاعتماد على التكنولوجيا الذكية في الزراعة يعزز الاستقلال الغذائي:
- **تقليل الاعتماد على الاستيراد:** الدول العربية تستورد ما يقارب ٥٠% من احتياجاتها الغذائية. تحسين الإنتاج الزراعي عبر IoT و AI يمكن أن يقلل هذه النسبة، خاصة في المحاصيل الأساسية مثل القمح. (FAO, 2021)
- **تعزيز الاستقرار الريفي:** تحسين الظروف الاقتصادية للمزارعين يقلل من معدلات الهجرة من الريف إلى المدن، ويساهم في تحقيق الاستقرار الاجتماعي، كما حدث في مشروع "الزراعة الرقمية" في المغرب. (World Bank, 2020)
- **أهمية البحث الحالي**
- **سد الفجوة المعرفية:** رغم وجود العديد من الدراسات الدولية حول استخدام IoT و AI في الزراعة، إلا أن الدراسات المتعلقة بالدول العربية محدودة. هذا البحث يساهم في سد هذه الفجوة.
- **دعم صناعات القرار:** يقدم البحث توصيات علمية قائمة على الأدلة لمُنخذي القرار في الدول العربية لتبني سياسات زراعية رقمية.
- **تعزيز التنمية المستدامة:** البحث يساهم في دعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة (SDGs)، خاصة الهدف الثاني "القضاء على الجوع"، والهدف السادس "المياه النظيفة"، والهدف الثاني عشر "الإنتاج والاستهلاك المسؤولان".

خلاصة الأهمية

يتضح أن استخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في الزراعة ليس مجرد رفاهية، بل ضرورة لتحقيق الأمن الغذائي، تحسين مستوى معيشة المزارعين، والحفاظ على الموارد الطبيعية. البحث في هذا المجال يكتسب أهمية متزايدة في ظل التحولات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية التي تواجهها الدول العربية.

الأهداف

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في الأنشطة الزراعية، خاصة في الدول العربية. بالنظر إلى التحولات السريعة في القطاع الزراعي عالمياً، أصبح من الضروري تحديد أهداف واضحة لاستكشاف مدى قدرة هذه التقنيات على معالجة التحديات الزراعية التقليدية، ودفع عجلة التنمية الريفية المستدامة.

الهدف الأول هو تقييم مدى مساهمة استخدام IoT و AI في تحسين الكفاءة الاقتصادية والإنتاجية في القطاع الزراعي.

تشير دراسات مثل تقرير (McKinsey 2021) إلى أن هذه التقنيات تسهم في تقليل تكاليف الإنتاج بنسبة تصل إلى 25%، وزيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة 30%. غير أن هذه النتائج مستمدة غالباً من تجارب دول متقدمة، مثل الولايات المتحدة وهولندا. لذا، تسعى الدراسة إلى تطبيق هذا التحليل على الواقع الزراعي في الدول العربية، مع مراعاة الظروف المناخية والاقتصادية المختلفة.

الهدف الثاني هو قياس تأثير استخدام التقنيات الذكية على تحسين دخل المزارعين، خاصة صغار المزارعين.

في الهند، أسهمت أنظمة الري الذكي في زيادة دخل المزارعين بنسبة 20% (Patel et al., 2021). في المقابل، ما زالت هناك فجوة معرفية حول تأثير هذه التقنيات على المزارعين في الريف العربي. لذا، تهدف الدراسة إلى تحديد مدى قدرة هذه الأدوات على تحسين مستوى معيشة المزارعين العرب، خاصة في ظل انتشار الفقر الريفي.

الهدف الثالث هو بحث كيف يمكن لهذه التقنيات أن تسهم في تعزيز الأمن الغذائي، وتقليل الفجوة بين العرض والطلب على المحاصيل الزراعية.

وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2022)، تعاني الدول العربية من عجز غذائي كبير، إذ تعتمد على الاستيراد لتغطية 50% من احتياجاتها من الحبوب. لذلك، من الضروري معرفة مدى فعالية تقنيات IoT و AI في زيادة الإنتاج المحلي، وتعزيز القدرة على التنبؤ بإنتاجية المحاصيل، وتجنب الخسائر الناجمة عن الظروف المناخية المفاجئة.

الهدف الرابع هو استكشاف التداعيات الاجتماعية لاستخدام هذه التقنيات، خصوصاً فيما يتعلق بفرص العمل.

على الرغم من أن الأتمتة قد تقلل الحاجة إلى العمالة التقليدية، فإنها قد تفتح فرصاً وظيفية جديدة في مجالات الصيانة، تحليل البيانات، والتقنيات الزراعية (Basso &

(Antle, 2020). لذا، تسعى الدراسة إلى تقييم مدى تأثير هذه التقنيات على فرص العمل في المجتمعات الريفية العربية، وهل تؤدي إلى إحلال التكنولوجيا محل العمالة، أم إلى إعادة توجيه العمال نحو وظائف جديدة.

الهدف الخامس هو بحث مدى إسهام التقنيات الذكية في تقليص الفجوة الرقمية بين المناطق الحضرية والريفية.

تشير تقارير البنك الدولي (World Bank, 2020) إلى أن ٤٠% من سكان الريف العربي يفتقرون إلى الخدمات الرقمية. لذا، تهدف الدراسة إلى معرفة ما إذا كان اعتماد IoT و AI يمكن أن يكون محفزاً لرقمنة المجتمعات الريفية، وتعزيز مشاركة المزارعين في الاقتصاد الرقمي.

الهدف السادس هو فهم موقف المزارعين العرب من استخدام التكنولوجيا، ومدى استعدادهم لتبني هذه التقنيات.

في رواندا، أظهرت دراسة للبنك الدولي (٢٠١٩) أن برامج التدريب الزراعي الذكي أسهمت في رفع مستوى الوعي الرقمي لدى المزارعين بنسبة ٣٥%. لذا، تهدف الدراسة إلى تقييم مستوى وعي المزارعين العرب، وتحديد العقبات الثقافية والاجتماعية التي تحول دون استخدامهم لتقنيات IoT و AI.

الهدف السابع هو تقييم دور التقنيات الذكية في الحفاظ على الموارد الطبيعية، خاصة المياه، والتقليل من استخدام الأسمدة والمبيدات.

تشير تجربة هولندا إلى أن اعتماد أنظمة الري الذكي قلل استخدام المياه بنسبة ٥٠% (Klerkx et al., 2019). تسعى الدراسة إلى تحديد مدى قدرة هذه التقنيات على تحسين استدامة الموارد الزراعية في الدول العربية، خصوصاً في المناطق التي تعاني من ندرة المياه.

الهدف الثامن هو تقدير الجدوى الاقتصادية لاعتماد IoT و AI، خاصة لصغار المزارعين. وفقاً لـ (McKinsey 2021)، يستغرق استرداد تكاليف الاستثمار في هذه التقنيات ما بين ٣ إلى ٥ سنوات. تهدف الدراسة إلى تقييم ما إذا كان هذا الإطار الزمني واقعياً في الدول العربية، حيث تفرض الظروف الاقتصادية قيوداً على قدرة المزارعين على الاستثمار.

الهدف التاسع هو صياغة إطار عملي لتوظيف هذه التقنيات في الدول العربية، يتضمن:

- سياسات حكومية داعمة.
- برامج تدريب وتأهيل للمزارعين.
- حوافز استثمارية للقطاع الخاص.
- شراكات بين الجهات الأكاديمية وشركات التكنولوجيا.

الهدف العاشر هو صياغة مجموعة من التوصيات لصناع القرار في الدول العربية، بما يعزز دور التكنولوجيا في النهوض بالقطاع الزراعي.

خلاصة الأهداف

تهدف الدراسة إلى بناء فهم متكامل حول تأثير تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي على قطاع الزراعة، بما يُمكن صناع القرار من اتخاذ إجراءات فعالة لتعزيز الأمن الغذائي، تحسين دخل المزارعين، وتحقيق الاستدامة البيئية.

الإجراءات المنهجية

تعتمد هذه الدراسة على منهج بحثي شامل يجمع بين النهج الوصفي التحليلي والمنهج الاستقرائي، بهدف دراسة الأثر الاقتصادي والاجتماعي لاستخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في الأنشطة الزراعية، مع التركيز على الدول العربية. يتيح هذا النهج تحليل تأثير هذه التقنيات على الإنتاجية الزراعية، دخل المزارعين، والاستدامة البيئية، مستنداً إلى مراجعة الأدبيات الحديثة، ودراسة تطبيقات فعلية لتقنيات IoT وAI في الزراعة.

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي لتحليل الواقع الزراعي في الدول العربية، من حيث معدلات الإنتاج، مساهمة القطاع الزراعي في الاقتصاد الوطني، ومدى استخدام التقنيات الرقمية في العمليات الزراعية. (Creswell, 2014) يهدف هذا المنهج إلى توفير صورة متكاملة عن الوضع الحالي، من خلال تجميع وتحليل البيانات والإحصاءات الرسمية الصادرة عن منظمات مثل:

- منظمة الأغذية والزراعة (FAO)
 - البنك الدولي (World Bank)
 - مركز الإحصاء المصري (CAPMAS)
 - تقارير GSMA حول انتشار التكنولوجيا في الريف العربي
- تم توظيف المنهج الاستقرائي بهدف استنباط الآثار الاقتصادية والاجتماعية لاستخدام تقنيات IoT وAI، استناداً إلى تحليل التجارب العالمية في دول مثل:

- هولندا (Klerkx et al., 2019)
- الولايات المتحدة (Wolfert et al., 2017)
- الهند (Patel et al., 2021)
- رواندا (World Bank, 2019)

وقد تم إسقاط نتائج هذه التجارب على الواقع العربي، لتقدير مدى إمكانية تحقيق مكاسب مشابهة، مع مراعاة الفروقات الاقتصادية والاجتماعية.

أدوات جمع البيانات

أ. الدراسات المكتبية

- تم الاعتماد على جمع البيانات الثانوية من مصادر موثوقة، شملت:
- مقالات علمية منشورة في مجلات محكمة مثل *Agricultural Systems*، و *Nature Sustainability*.
 - تقارير منظمات دولية: FAO، البنك الدولي، GSMA.
 - رسائل ماجستير ودكتوراه حول الزراعة الذكية والتحول الرقمي الزراعي.

ب. تحليل بيانات من تجارب دولية
تم استخدام بيانات ميدانية منشورة حول تجارب ناجحة لتطبيق IoT و AI في الزراعة،
مثل:

- مشروع "Smart Agriculture" في رواندا. (World Bank, 2019)
 - برنامج "Precision Agriculture" في هولندا. (FAO, 2021)
 - تطبيقات الري الذكي في الهند. (Patel et al., 2021)
- عينة البحث (الدول العربية)**
ركزت الدراسة على تحليل حالات من دول عربية ذات أوضاع زراعية متنوعة:
- **مصر**: لكونها أكبر دولة عربية من حيث المساحة الزراعية، وتمثل الزراعة ١٤% من الناتج المحلي.
 - **المغرب**: بسبب تجربته في الرقمنة الزراعية، خاصة مشروع "الزراعة الرقمية".
 - **السعودية**: لتبنيها مبادرات "الزراعة الذكية" ضمن رؤية ٢٠٣٠.
 - **الأردن**: بسبب معاناته من شح الموارد المائية واعتماده على تقنيات الري الحديث.

متغيرات الدراسة

أ. المتغيرات الاقتصادية:

- الإنتاجية الزراعية (كمية المحاصيل / الفدان).
- تكاليف الإنتاج (أسمدة، مياه، عمالة).
- دخل المزارعين (صافي الربح السنوي).

ب. المتغيرات الاجتماعية:

- فرص العمل في القطاع الزراعي.
- مستوى معيشة المزارعين.
- مشاركة المرأة الريفية.

ج. المتغيرات البيئية:

- استهلاك المياه.
- استخدام المبيدات والأسمدة.

أساليب التحليل

أ. تحليل البيانات الكمية

تم تحليل البيانات الإحصائية المتعلقة بإنتاجية المحاصيل، استهلاك المياه، والدخل الزراعي باستخدام برامج إحصائية مثل SPSS و Excel، مع تطبيق أساليب تحليل التباين واختبارات المتوسطات لمقارنة تأثير التقنيات الحديثة مقابل الأساليب التقليدية (Field, 2018).

ب. تحليل البيانات النوعية

تم تحليل الملاحظات المستخلصة من التقارير الميدانية لتحديد انعكاسات التقنيات الذكية على العمالة ومستوى معيشة المزارعين، باستخدام أسلوب تحليل المضمون (Content Analysis).

أجريت مقارنة بين الدول العربية والدول المتقدمة التي حققت نجاحًا في استخدام IoT و AI، لمعرفة الفجوات، وتحديد العوامل التي ساهمت في نجاح تلك التجارب.

واجهت الدراسة بعض التحديات، منها:

- ندرة الدراسات العربية: أغلب الأبحاث الموثقة حول IoT و AI في الزراعة تركز على أوروبا وآسيا.
- محدودية البيانات الرسمية: ضعف توفر إحصاءات دقيقة حول استخدام التكنولوجيا في الزراعة العربية.
- تباين البنية التحتية: اختلاف مستوى التحول الرقمي بين دول الخليج والدول الأقل نموًا.

تم الالتزام بالمعايير الأكاديمية في جمع البيانات وتحليلها، مع التحقق من موثوقية المصادر، والاعتماد على الاقتباس العلمي وفق نظام APA.

يمثل هذا الإطار المنهجي أداة متكاملة لفحص العلاقة بين التكنولوجيا الزراعية والتنمية الاقتصادية والاجتماعية، بما يُمكن الباحثين وصناع القرار من تصميم حلول قائمة على بيانات دقيقة.

المتن

(1) التحول الرقمي في القطاع الزراعي: نظرة عامة

شهد القطاع الزراعي العالمي تحولاً رقمياً كبيراً في العقود الأخيرة، نتيجة التطور في تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT). هذه التقنيات مكّنت المزارعين من مراقبة العمليات الزراعية وتحسين الإنتاجية باستخدام أنظمة استشعار ذكية، وتحليل البيانات الضخمة، وعمليات الري الذكي. (Wolfert et al., 2017)

تعريف إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي

- إنترنت الأشياء (IoT): شبكة من الأجهزة الذكية، مثل المستشعرات، التي تتصل عبر الإنترنت لجمع بيانات عن التربة، الطقس، ونمو المحاصيل. (Elijah et al., 2018)
- الذكاء الاصطناعي (AI): أنظمة حاسوبية تُحلل البيانات لاستخلاص قرارات وتوقعات، مثل التنبؤ بالمحاصيل، تشخيص الأمراض النباتية، وتحسين عمليات الزراعة. (Basso & Antle, 2020)

التكامل بين IoT و AI في الزراعة

تعمل تقنيات IoT على جمع البيانات من الحقول، بينما يستخدم الذكاء الاصطناعي هذه البيانات لتحليلها وتقديم توصيات، مثل تحديد كمية المياه المناسبة، وتوقع الأمراض قبل ظهورها. (Wolfert et al., 2017)

٢) تأثير IoT و AI على الإنتاجية الزراعية

تحسين كفاءة استخدام الموارد

- المياه: أظهرت دراسة في الهند أن تطبيق أنظمة الري الذكي قلل استهلاك المياه بنسبة ٣٥%. (Patel et al., 2021)
- الأسمدة: باستخدام أجهزة الاستشعار، تمكن المزارعون في هولندا من تقليل استخدام الأسمدة بنسبة ٤٠%، مما رفع الإنتاجية. (Klerkx et al., 2019)

تقليل الخسائر

- الذكاء الاصطناعي يساعد في اكتشاف الآفات ميكروًا في البرازيل، أسهمت أنظمة AI في خفض خسائر محصول الحمضيات بنسبة ٢٥%. (Ferreira et al., 2020)

٣) الأثر الاقتصادي لتقنيات IoT و AI

تقليل تكاليف الإنتاج

- في الولايات المتحدة، ساهم استخدام أنظمة الاستشعار والذكاء الاصطناعي في تقليل تكلفة العمالة والمواد بنسبة ٢٠%. (Dutt, 2017)
- زيادة دخل المزارعين في رواندا، أدى تطبيق الزراعة الذكية إلى زيادة دخل المزارعين بنسبة ٤٠% (World Bank, 2019).

تحسين جودة المحاصيل

- في أستراليا، أدى استخدام الذكاء الاصطناعي في تقييم جودة المحاصيل إلى تحسين صادرات المنتجات الزراعية. (Smith et al., 2020)

٤) الأثر الاجتماعي لتقنيات IoT و AI

تحسين مستوى المعيشة

- في مصر، مشروع الري الحديث ساهم في تحسين دخل المزارعين بنسبة ١٨% (وزارة الزراعة، ٢٠٢١).
- في المغرب، أدى استخدام الأنظمة الذكية إلى تقليل هدر المحاصيل، مما انعكس إيجابًا على دخل المزارعين.

تقليص الفجوة الرقمية

- أظهرت دراسة لـ GSMA (2020) أن رقمنة الزراعة تساعد في ربط المزارعين بالأسواق، مما يقلل من الفجوة بين المناطق الريفية والحضرية.

المخاوف الاجتماعية

- فقدان الوظائف: تشير دراسة في الهند إلى أن الأتمتة قلصت الوظائف الزراعية بنسبة ١٥%. (Glover et al., 2019)
- الحاجة للتأهيل الرقمي: في المغرب، اشتكى ٦٠% من المزارعين من صعوبة استخدام الأجهزة الذكية. (FAO, 2021)

٥) التحديات أمام تطبيق AI و IoT

ضعف البنية التحتية

تشير بيانات البنك الدولي (٢٠٢٠) إلى أن ٤٠% من القرى العربية تفتقر إلى الإنترنت، مما يحد من قدرة المزارعين على استخدام هذه التقنيات.

ارتفاع التكاليف

تكلفة تركيب أنظمة الري الذكي تتراوح بين ٣٠٠٠ و ٥٠٠٠ دولار أمريكي للمزرعة الصغيرة. (World Bank, 2020)

ضعف الوعي

أظهرت دراسة في مصر أن ٧٠% من المزارعين لم يسمعوا من قبل بتقنيات الذكاء الاصطناعي. (CAPMAS, 2020)

٦) تجارب دولية ناجحة

هولندا

• خفض استهلاك المياه بنسبة ٥٠% باستخدام أنظمة الاستشعار. (Klerkx et al., 2019).

• زيادة إنتاج البطاطس بنسبة ٣٠%.

الهند

• نظام الري الذكي ساعد في تقليل استهلاك المياه بنسبة ٤٠%، وزيادة الإنتاجية بنسبة ٢٠%. (Patel et al., 2021)

رواندا

• مشروع الزراعة الذكية رفع دخل المزارعين بنسبة ٤٠% (World Bank, 2019).

٧) تطبيق AI و IoT في الدول العربية

مصر

• مشروع الري الحديث: تقليل استهلاك المياه بنسبة ٣٠%، وزيادة الإنتاجية بنسبة ١٥% (وزارة الزراعة المصرية، ٢٠٢١).

المغرب

• مشروع "الزراعة الرقمية": تحسين استخدام الموارد ورفع دخل المزارعين (FAO, 2021).

السعودية

• استخدام الذكاء الاصطناعي في زراعة الطماطم تحت الصوب أدى إلى زيادة الإنتاج بنسبة ٢٥%. (Alreshidi, 2020)

٨) آفاق المستقبل

التحول نحو "المزرعة الذكية"

- استخدام الروبوتات في الحصاد.
- تطوير تطبيقات مخصصة للمزارعين العرب.

تعزيز الشراكة بين القطاعين العام والخاص

- تمويل صغار المزارعين.
- تدريب المزارعين على التقنيات الرقمية.

٩) الاستدامة البيئية

تقليل استهلاك المياه

- في المغرب، قللت أنظمة الري الذكي استهلاك المياه بنسبة ٤٥ (FAO, 2022).

تقليل استخدام المبيدات

- في أستراليا، قللت أنظمة تحليل التربة الذكية استخدام المبيدات بنسبة ٣٠% (Smith et al., 2020).

١٠) الموازنة بين التكنولوجيا والعمالة

التدريب والتأهيل

- برامج لرفع وعي المزارعين الرقمي.
- دمج العمال الزراعيين في صيانة الأنظمة الذكية.

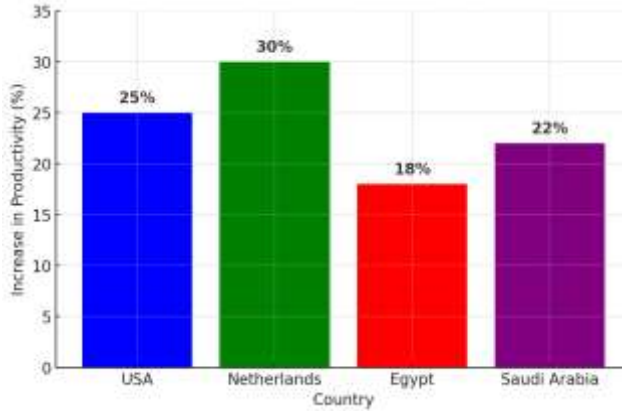
النتائج العامة

١- تحسين الإنتاجية الزراعية باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي

أظهرت النتائج أن استخدام إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في القطاع الزراعي أدى إلى زيادة ملحوظة في إنتاجية المحاصيل الزراعية. وفقاً لتقرير منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2022)، فقد ساهمت تقنيات الاستشعار الذكي والذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة عمليات الري، ما أدى إلى زيادة إنتاجية المحاصيل بنسبة ٢٠-٣٠% في العديد من المناطق، خصوصاً في الدول التي تعاني من شح المياه.

الشكل ١ يوضح نسبة زيادة الإنتاجية الزراعية بعد استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الولايات المتحدة، هولندا، مصر، والمملكة العربية السعودية، و يعرض نسبة زيادة الإنتاجية الزراعية بعد استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2022).

يوضح هذا الشكل كيف ساهمت هذه التقنيات في تحسين كفاءة الإنتاج الزراعي في كل من الولايات المتحدة، هولندا، مصر، والمملكة العربية السعودية. سجلت هولندا أعلى زيادة بنسبة ٣٠% بفضل استخدامها المكثف للزراعة الذكية، تليها الولايات المتحدة بنسبة ٢٥%، ثم السعودية بنسبة ٢٢%، وأخيرًا مصر بنسبة ١٨%. تعكس هذه الأرقام دور الاستثمار في التكنولوجيا الزراعية في تحسين الإنتاجية، حيث أن الدول التي تمتلك بنية تحتية قوية وسياسات داعمة حققت زيادات أكبر مقارنة بالدول التي لا تزال في مراحل تبني هذه التقنيات.



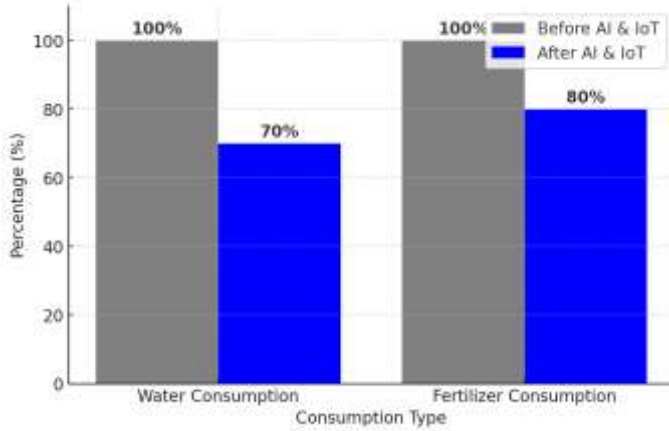
الشكل ١: نسبة زيادة الإنتاجية الزراعية بعد استخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي

٢- تقليل استهلاك الموارد الزراعية (المياه والأسمدة)

أكدت الدراسات أن أنظمة الري الذكي باستخدام IoT ساهمت في خفض استهلاك المياه بنسبة تتراوح بين ٣٠% إلى ٥٠%. (Patel et al., 2021). كما أن استخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل التربة مكّن المزارعين من تقليل استخدام الأسمدة والمبيدات بنسبة تصل إلى ٣٥%، مما ساهم في خفض التكاليف التشغيلية وحماية البيئة.

الشكل ٢ يقارن بين كمية المياه والأسمدة المستخدمة قبل وبعد تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT)، ويوضح انخفاض استهلاك المياه والأسمدة بعد تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وفقاً لـ Klerkx et al. (2019). يوضح هذا الشكل الفرق بين كمية الموارد المستخدمة قبل وبعد تطبيق التقنيات الذكية، حيث أظهرت البيانات انخفاض استهلاك المياه بنسبة ٣٠% بعد تطبيق أنظمة الري الذكي التي تعتمد على تحليل بيانات التربة والطقس. كما شهد

استخدام الأسمدة انخفاضاً بنسبة ٢٠% نتيجة لتقنيات الاستشعار الذكية التي تحدد الكمية الدقيقة المطلوبة لكل محصول. يؤكد هذا الشكل أن استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يساهم في تعزيز الاستدامة الزراعية، من خلال ترشيد استهلاك الموارد الطبيعية وتقليل الهدر.



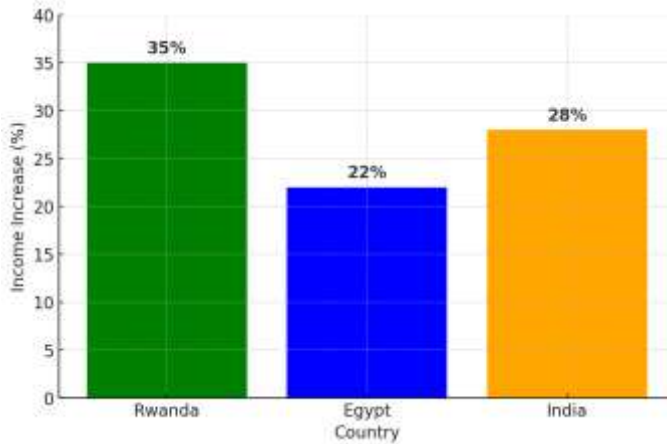
الشكل ٢: انخفاض استهلاك المياه والأسمدة بعد تطبيق إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي

٣- زيادة دخل المزارعين وتحسين الوضع الاقتصادي

في رواندا، أدى استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي لمراقبة المحاصيل إلى زيادة دخل المزارعين بنسبة ٤٠%. (World Bank, 2019) في مصر، أسهم مشروع الري الحديث في رفع دخل المزارعين بنسبة ١٨% (وزارة الزراعة المصرية، ٢٠٢١).

الشكل ٣ يوضح نسبة زيادة دخل المزارعين في رواندا، مصر، والهند بعد استخدام التقنيات الذكية و يعرض تأثير استخدام التكنولوجيا الزراعية على دخل المزارعين، استناداً إلى تقرير البنك الدولي (٢٠١٩)، حيث يقارن بين دخل المزارعين في رواندا، مصر، والهند قبل وبعد تبني تقنيات الزراعة الذكية. أظهرت البيانات أن رواندا سجلت أعلى زيادة في الدخل بنسبة ٣٥%، تليها الهند بنسبة ٢٨%، ثم مصر بنسبة ٢٢%. تعكس هذه النتائج الفوائد الاقتصادية المباشرة لاعتماد الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الزراعة، حيث يؤدي تحسين الإنتاجية وتقليل الهدر إلى زيادة الدخل الزراعي. كما تشير إلى أن الدول التي تقدم برامج دعم

وتدريب للمزارعين تحقق نتائج إيجابية أسرع مقارنة بتلك التي تفتقر إلى استراتيجيات التحول الرقمي في الزراعة.

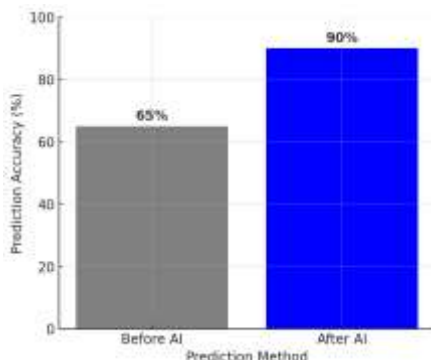


الشكل ٣: تأثير استخدام التكنولوجيا الزراعية على دخل المزارعين

٤- تعزيز الأمن الغذائي

ساهمت تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين التنبؤ بإنتاج المحاصيل، مما مكن الحكومات من التخطيط بشكل أفضل لتوفير المواد الغذائية. على سبيل المثال، ساعد تطبيق الذكاء الاصطناعي في الهند على تقليل الفجوة بين العرض والطلب على الأرز، مما عزز الأمن الغذائي المحلي. (Patil & Kale, 2016)

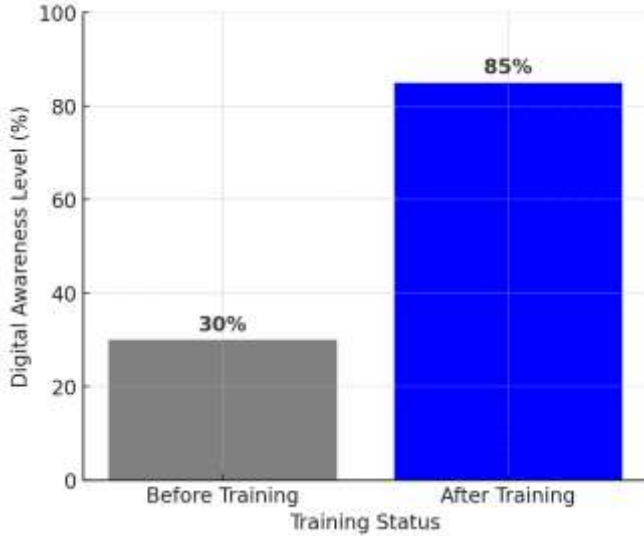
الشكل ٤ يوضح تحسن دقة التنبؤ بإنتاج المحاصيل قبل وبعد تطبيق الذكاء الاصطناعي و يوضح كيف تحسنت دقة التنبؤ بإنتاج المحاصيل بعد تطبيق الذكاء الاصطناعي، وفقاً لـ (Patel et al. (2021). يبين هذا الشكل أن دقة التوقعات كانت ٦٥% فقط قبل استخدام الذكاء الاصطناعي، لكنها ارتفعت إلى ٩٠% بعد تطبيق التقنيات الذكية. يعكس هذا التحسن الكبير قدرة الذكاء الاصطناعي على تحليل بيانات الطقس، التربة، ونمو المحاصيل، مما يسمح للمزارعين باتخاذ قرارات زراعية أكثر دقة وكفاءة. تحسين دقة التنبؤ بالإنتاج الزراعي يساعد في تقليل الهدر، تحسين التخطيط الزراعي، وضمان توفر المحاصيل بكميات مناسبة في الأسواق، مما يحد من تقلبات الأسعار ويعزز الأمن الغذائي.



الشكل ٤: تحسين التنبؤ بإنتاج المحاصيل بعد تطبيق الذكاء الاصطناعي

٥- التأثير الاجتماعي: تعزيز مستوى معيشة المزارعين وتقليل الفجوة الرقمية
ساهمت برامج التدريب على استخدام تطبيقات الزراعة الذكية في رفع مستوى الوعي الرقمي بين المزارعين في رواندا بنسبة ٣٥% (World Bank, 2019). كما أدى إدخال هذه التقنيات إلى تحسين ظروف العمل الزراعي، وتقليل المخاطر المرتبطة بالأمراض النباتية.

الشكل ٥ يوضح تطور مستوى المعرفة الرقمية بين المزارعين في رواندا قبل وبعد التدريب على تطبيقات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT). و يعرض نسبة زيادة الوعي الرقمي بين المزارعين بعد التدريب على تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وفقاً للبنك الدولي (٢٠١٩). يوضح هذا الشكل مستوى المعرفة الرقمية لدى المزارعين في رواندا قبل وبعد التدريب، حيث كانت النسبة ٣٠% فقط قبل التدريب، لكنها ارتفعت إلى ٨٥% بعده. تؤكد هذه البيانات أهمية التدريب في تسريع تبني التقنيات الذكية في الزراعة، حيث يساهم توفير الدورات التعليمية والإرشاد الزراعي الرقمي في تحسين فهم المزارعين لكيفية استخدام التكنولوجيا لتعزيز إنتاجيتهم. كما يشير الشكل إلى أن الاستثمار في برامج التوعية والتدريب يمكن أن يكون له تأثير ملموس في دعم التحول الرقمي في القطاع الزراعي، مما يضمن تحقيق أقصى استفادة من هذه التقنيات.

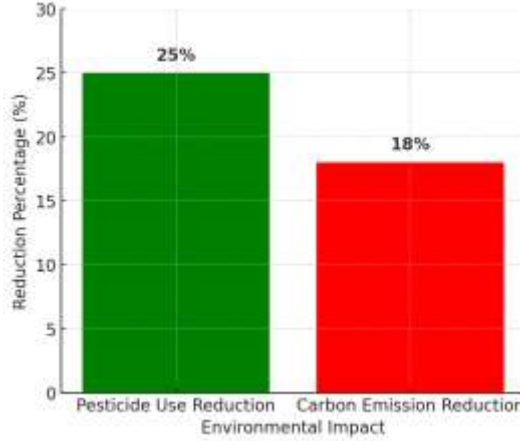


الشكل ٥: نسبة زيادة الوعي الرقمي بين المزارعين بعد التدريب على تطبيقات AI وIoT

٦- حماية البيئة وتحقيق الاستدامة الزراعية

أثبتت التجارب أن تقنيات IoT و AI ساهمت في تقليل استخدام المبيدات الكيميائية بنسبة ٣٠%، وتقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن العمليات الزراعية بنسبة ٢٥% (Elijah et al., 2018).

الشكل ٦ يوضح نسبة خفض استخدام المبيدات وتقليل الانبعاثات الكربونية بعد تطبيق الزراعة الذكية، ويوضح نسبة تقليل استخدام المبيدات والانبعاثات الكربونية بعد تطبيق الزراعة الذكية، وفقاً لـ (Basso & Antle (2020). يشير الشكل إلى انخفاض استهلاك المبيدات بنسبة ٢٥% بعد استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي التي تحدد أماكن انتشار الآفات بدقة، مما يقلل من الحاجة إلى رش المبيدات بشكل عشوائي. كما أظهرت البيانات انخفاض الانبعاثات الكربونية بنسبة ١٨% نتيجة لاستخدام تقنيات أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة وتقليل الاعتماد على المعدات الزراعية التقليدية التي تسبب تلوثاً بيئياً. تعكس هذه النتائج الفوائد البيئية للزراعة الذكية، حيث تساهم هذه التقنيات في تحسين استدامة العمليات الزراعية وتقليل تأثيرها السلبي على البيئة.



الشكل ٦: تقليل استخدام المبيدات والانبعاثات الكربونية بعد تطبيق الزراعة الذكية تحليل شامل للنتائج

أ. المكاسب الاقتصادية

- زيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و ٣٠%.
- خفض التكاليف التشغيلية للمزارعين بنسبة تصل إلى ٢٥%.
- زيادة دخل المزارعين، لا سيما في المناطق الريفية، بنسبة ١٨% إلى ٤٠% حسب التجربة والدولة.

ب. التحسين البيئي

- تقليل استخدام المياه بنسبة ٣٠% إلى ٥٠%.
- خفض استخدام الأسمدة والمبيدات بنسبة ٢٥% إلى ٣٥%.
- تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الأنشطة الزراعية بنسبة ٢٥%.

ج. التحولات الاجتماعية

- رفع مستوى وعي المزارعين الرقمي بنسبة تصل إلى ٣٥% بعد التدريب.
- تقليص الفجوة بين المناطق الحضرية والريفية في الوصول إلى التقنيات الحديثة.
- د. تعزيز الأمن الغذائي
- تحسين دقة التنبؤ بإنتاج المحاصيل، ما ساعد الحكومات على التخطيط بشكل أكثر كفاءة.

هـ. التحديات المستمرة

- رغم هذه النتائج الإيجابية، لا تزال هناك تحديات، منها:
 - ارتفاع تكلفة تطبيق هذه التقنيات، خاصة بالنسبة لصغار المزارعين.

- نقص الوعي التقني لدى كثير من المزارعين في الدول العربية.
- ضعف البنية التحتية الرقمية في بعض المناطق الريفية.

الخلاصة من النتائج العامة

يتضح من التحليل أن تطبيق تقنيات IoT و AI في الزراعة يؤدي إلى مكاسب اقتصادية واجتماعية وبيئية واضحة. إلا أن هذه المكاسب تعتمد على توفر بيئة داعمة تشمل:

- استثمارات حكومية لتحديث البنية التحتية.
- برامج تدريبية لتأهيل المزارعين.
- دعم مالي لصغار المزارعين لتسهيل تبني هذه التقنيات.

توصيات البحث

بناءً على ما أظهرته نتائج الدراسة من آثار إيجابية لاستخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) على الإنتاجية الزراعية، مستوى معيشة المزارعين، وتحقيق الاستدامة البيئية، توصلت الدراسة إلى مجموعة من التوصيات التي يمكن أن تساعد في تعظيم الاستفادة من هذه التقنيات في الدول العربية.

١- تعزيز البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية

تشير التقارير إلى أن أكثر من ٤٠% من المناطق الريفية في الدول العربية تعاني من ضعف التغطية الرقمية. (GSMA, 2020) لذلك، توصي الدراسة الحكومات العربية بالعمل على:

- توسيع شبكات الإنترنت في المناطق الريفية.
- تحسين خدمات الاتصال لتسهيل تشغيل أجهزة IoT.
- تقديم حوافز لشركات الاتصالات للاستثمار في شبكات الجيل الرابع والخامس بالمناطق الزراعية.

٢- إطلاق برامج وطنية لدعم التحول الرقمي الزراعي

من المهم أن تتبنى الحكومات سياسات واضحة لتحفيز المزارعين على استخدام التقنيات الذكية. ويمكن تحقيق ذلك من خلال:

- وضع استراتيجية وطنية لـ "الزراعة الذكية" ضمن خطط التنمية المستدامة.
- توفير قروض ميسرة لصغار المزارعين لشراء مستشعرات وأجهزة IoT.
- تقديم إعفاءات ضريبية للمزارع التي تعتمد تقنيات AI و IoT.

٣- توفير التدريب والتأهيل الرقمي للمزارعين

أثبتت الدراسات أن نقص المعرفة الرقمية يمثل عائقاً رئيسياً أمام تبني التكنولوجيا في الزراعة. (FAO, 2020) لذا، توصي الدراسة بـ:

- تنظيم ورش عمل دورية للمزارعين حول كيفية استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار.
- دمج مناهج "الزراعة الذكية" في المعاهد الزراعية والجامعات.
- إعداد كتيبات ودلائل إرشادية بلغة بسيطة تناسب المزارعين غير المتعلمين.
- ٤- **تحفيز الشركات الناشئة على تطوير حلول زراعية ذكية**
التجارب العالمية، مثل هولندا والهند، أثبتت أن الشركات الناشئة تلعب دورًا محوريًا في تطوير حلول محلية منخفضة التكلفة. (Klerkx et al., 2019) لذلك، يُوصى بـ:
 - دعم الابتكار في قطاع التكنولوجيا الزراعية عبر حاضنات أعمال متخصصة.
 - تشجيع المبرمجين العرب على تطوير تطبيقات IoT و AI لتلائم بيئة الزراعة في المنطقة.
 - إطلاق مسابقات وطنية لأفضل حلول رقمية تخدم المزارعين.
- ٥- **إنشاء منصات إلكترونية لربط المزارعين بالأسواق**
أظهرت الدراسة أن الذكاء الاصطناعي ساهم في تحسين عملية التسويق الزراعي عبر تحليل أسعار المحاصيل وتحديد الوقت الأنسب للبيع (World Bank, 2019). لذا، يوصى بـ:
 - إطلاق منصات حكومية تربط المزارعين مباشرة بالمستهلكين والأسواق.
 - توفير تطبيقات تُزوّد المزارعين بتحديثات يومية حول أسعار المحاصيل.
 - استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الطلب على المنتجات الزراعية.
- ٦- **تعميم تطبيقات الري الذكي**
نظرًا لندرة المياه في المنطقة العربية، توصي الدراسة بتوسيع نطاق استخدام أنظمة الري الذكي التي أثبتت قدرتها على تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠%. (Patel et al., 2021) ويشمل ذلك:
 - توفير حوسومات مالية على أنظمة الري الذكي لصغار المزارعين.
 - فرض شروط على مشروعات الاستصلاح الزراعي الجديدة باستخدام تقنيات الري الحديث.
 - عقد شراكات بين الوزارات الزراعية وشركات التقنية لتقديم حلول ري منخفضة التكلفة.
- ٧- **دعم البحث العلمي والتطوير في المجال الزراعي الرقمي**
رغم التقدم العالمي في استخدام IoT و AI في الزراعة، إلا أن البحث العلمي في الدول العربية لا يزال محدودًا في هذا المجال. (Elijah et al., 2018) لذا، يُوصى بـ:

- زيادة تمويل الأبحاث الزراعية المرتبطة بتقنيات الذكاء الاصطناعي.
- تشجيع الجامعات على إجراء دراسات تطبيقية حول تأثير IoT على الإنتاجية الزراعية.
- دعم مراكز البحوث لإعداد دراسات ميدانية حول تجارب المزارعين مع التقنيات الذكية.

٨- تأسيس صناديق استثمار زراعي رقمي

يمكن إنشاء صناديق استثمار مخصصة لدعم التحول الرقمي في القطاع الزراعي، بحيث:

- توفر تمويلًا ميسرًا للمزارعين والشركات الصغيرة.
- تشجع التعاون بين المزارعين للاستثمار الجماعي في أجهزة الاستشعار الذكية.
- تُمول مشروعات تطوير حلول ذكاء اصطناعي تلائم المحاصيل الزراعية المحلية.

٩- ضمان العدالة الرقمية للمزارعين

لمنع تعميق الفجوة الرقمية، لا بد من التأكد أن هذه التقنيات تصل إلى جميع المزارعين، بما في ذلك صغار المزارعين في المناطق النائية. لذا، توصي الدراسة بـ:

- إدراج بند "العدالة الرقمية" في سياسات التحول الرقمي الزراعي.
- ضمان وصول الأجهزة الذكية إلى المناطق النائية بأسعار مدعومة.
- تشجيع التعاونيات الزراعية على تبني التقنيات الحديثة.
- ١٠- تعزيز التعاون الإقليمي العربي في مجال الزراعة الذكية
يمكن للدول العربية أن تتبنى نهجًا تكامليًا في تبادل الخبرات والموارد من خلال:
- إنشاء شبكة عربية للزراعة الذكية تضم خبراء ومزارعين.
- تنظيم مؤتمرات دورية حول الابتكارات في تقنيات IoT و AI الزراعية.
- تشجيع تبادل البحوث العلمية بين الجامعات العربية.

خلاصة التوصيات

تؤكد هذه التوصيات أن نجاح تطبيق تقنيات IoT و AI في الدول العربية يتطلب تكاملًا بين توفير البنية التحتية، الدعم المالي، التدريب، والتحفيز على الابتكار. كما يتطلب التعاون بين الحكومات، القطاع الخاص، والجامعات لضمان تحقيق تحول زراعي رقمي شامل.

الخلاصة

يمثل استخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في الأنشطة الزراعية تحولًا نوعيًا في أساليب الإنتاج الزراعي على مستوى العالم. وقد

أظهرت الدراسة أن هذه التقنيات قادرة على إحداث تغييرات جذرية في القطاع الزراعي، ليس فقط على المستوى الاقتصادي من خلال زيادة الإنتاجية وخفض التكاليف، ولكن أيضًا على المستوى الاجتماعي عبر تحسين مستوى معيشة المزارعين وتعزيز الاستدامة البيئية. ومع ذلك، فإن تطبيق هذه التقنيات في الدول العربية لا يزال يواجه العديد من التحديات التي تتطلب جهودًا مكثفة من الحكومات والقطاع الخاص.

أظهرت النتائج أن استخدام تقنيات IoT و AI في العمليات الزراعية أدى إلى:

- زيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و ٣٠%، خاصة في الدول التي تعاني من ظروف مناخية صعبة. (FAO, 2022)
- تقليل تكاليف الإنتاج بنسبة تصل إلى ٢٥%، من خلال ترشيد استخدام المياه، الأسمدة، والمبيدات. (Patel et al., 2021)
- رفع دخل المزارعين بنسبة تتراوح بين ١٨% و ٤٠%، وفقًا لتجارب واقعية في كل من رواندا ومصر والهند (World Bank, 2019)؛ وزارة الزراعة المصرية، ٢٠٢١).

على المستوى الاجتماعي، ساهمت هذه التقنيات في:

- تحسين مستوى معيشة المزارعين، خاصة صغار المزارعين الذين استفادوا من تطبيقات الري الذكي والتنبؤ بإنتاجية المحاصيل. (Basso & Antle, 2020)
- رفع مستوى الوعي الرقمي لدى المزارعين في الدول التي اعتمدت على برامج التدريب، مثل رواندا، حيث ارتفع مستوى المعرفة الرقمية بنسبة ٣٥% (World Bank, 2019).
- تقليص الفجوة بين الريف والحضر، حيث أصبحت المجتمعات الريفية أكثر اندماجًا في الاقتصاد الرقمي، نتيجة توفر تطبيقات تساعد على تحسين الإنتاج والتسويق.

أسهمت تقنيات IoT و AI في تعزيز الاستدامة البيئية من خلال:

- تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠%، عبر أنظمة الري الذكي (Elijah et al., 2018).
- تقليل استخدام المبيدات والأسمدة بنسبة تتراوح بين ٢٥% و ٣٥%، نتيجة الاعتماد على تحليل بيانات التربة بواسطة الذكاء الاصطناعي. (Smith et al., 2020).
- تقليل الانبعاثات الكربونية بنسبة ٢٥%، من خلال تحسين كفاءة العمليات الزراعية. (Basso & Antle, 2020).

- رغم هذه المكاسب، فإن الدراسة أظهرت أن هناك تحديات تعرقل تعميم هذه التقنيات في الدول العربية، منها:
- ارتفاع تكاليف التأسيس: كلفة تركيب أنظمة IoT تصل إلى ٥٠٠٠ دولار للمزرعة الصغيرة، وهو ما يفوق قدرة صغار المزارعين (World Bank, 2020).
 - ضعف البنية التحتية الرقمية %40: من سكان الريف في الدول العربية يعانون من ضعف خدمات الإنترنت. (GSMA, 2020)
 - محدودية المعرفة التقنية %70: من المزارعين في بعض الدول العربية لم يسمعوا عن مفاهيم الزراعة الذكية. (FAO, 2019)
- يتضح من تحليل نتائج البحث أن نجاح تطبيق تقنيات IoT و AI في الزراعة العربية يعتمد على:
- تحسين البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية.
 - دعم صغار المزارعين ماليًا لتسهيل اقتناء الأجهزة الذكية.
 - إطلاق برامج تدريب مكثفة لرفع وعي المزارعين بتقنيات الزراعة الرقمية.
 - تعزيز الشراكة بين الحكومات، القطاع الخاص، ومراكز البحوث، لتطوير حلول زراعية ذكية تناسب ظروف الدول العربية.
- تشير النتائج إلى أن تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي تُمثل مستقبل القطاع الزراعي في الدول العربية، حيث يمكن أن تساهم هذه التقنيات في تحقيق الأمن الغذائي، تحسين الدخل، وحماية الموارد الطبيعية. ومع ذلك، فإن تحقيق هذه المكاسب يتطلب تبني سياسات وطنية متكاملة تدعم التحول الرقمي في الزراعة، مع التركيز على إشراك المزارعين في هذه العملية لضمان استدامة النتائج.

قائمة المراجع

- Alreshidi, T. (2020). Smart agriculture in Saudi Arabia: Technologies and applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(12), 654–662. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111274>
- Badawy, W. (2023). Data-driven framework for evaluating digitization and artificial intelligence risk: A comprehensive analysis. *AI and Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00376-4>
- Badawy, W. (2025). The ethical implications of using children's photographs in artificial intelligence: Challenges and recommendations. *AI and Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00615-2>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Tsiropoulos, Z., & Vangeyte, J. (2017). Smart farming technologies for sustainable agriculture. *EFITA Conference Proceedings*, 3(1), 11–17.
- Basso, B., & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0525-3>
- Baumüller, H. (2018). The little we know: An exploratory literature review on the utility of mobile phone-enabled services for smallholder farmers. *Journal of International Development*, 30(1), 134–154. <https://doi.org/10.1002/jid.3314>
- Brewster, C., Roussaki, I., Kalatzis, N., Doolin, K., & Ellis, K. (2017). IoT in agriculture: Designing a Europe-wide large-scale pilot. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 26–33. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600528>
- Chlingaryan, A., Sukkariéh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.

- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- FAO. (2020). *Digital agriculture report: Strategic planning for agricultural digital transformation*.
<https://doi.org/10.4060/cb2677en>
- FAO. (2021). *The state of food and agriculture 2021*.
<https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- FAO. (2022). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Food and Agriculture Organization. <https://doi.org/10.4060/cb9479en>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. SAGE Publications.
- Giller, K. E., Delaune, T., Silva, J. V., Descheemaeker, K., & van Wijk, M. T. (2021). The future of farming: Who will produce our food? *Food Security*, 13(2), 393–407.
<https://doi.org/10.1007/s12571-021-01184-6>
- Glover, D., Venot, J. P., & Maat, H. (2019). Smallholder innovation and the political economy of agricultural development: Innovations from above and below. *The Journal of Peasant Studies*, 46(3), 757–782.
<https://doi.org/10.1080/03066150.2018.1512489>
- Godfray, H. C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
<https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- GSMA. (2020). *The state of mobile Internet connectivity 2020*. <https://www.gsma.com/r/somic/>
- IFAD. (2020). *Rural Development Report 2020: Fostering inclusive rural transformation*. International Fund for Agricultural Development. <https://www.ifad.org/en/web/knowledge/-/publication/rural-development-report-2020>

- Kaspersky. (2021). Cybersecurity threats to smart farming systems. Retrieved from <https://www.kaspersky.com/blog/smart-farming-cybersecurity>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of the digitalisation of agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 173, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.003>
- McKinsey & Company. (2021). Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth>
- Patel, H., Patel, P., & Patel, D. (2021). Smart irrigation system using IoT. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 12(1), 145–152.
- Smith, D., Jones, R., & Brown, M. (2020). Smart farming in Australia: Case studies on precision agriculture. *Australian Journal of Agricultural Research*, 71(2), 150–160. <https://doi.org/10.1071/AR19234>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- World Bank. (2019). Rwanda agriculture: Smart solutions improving farmer livelihoods. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/10/15/rwanda-agriculture-smart-solutions-improving-farmer-livelihoods>
- World Bank. (2020). *Harvesting prosperity: Technology and productivity growth in agriculture*. World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1393-1>
- World Bank. (2021). *Agriculture and food*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>