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

ا.د/ وائل ماجد السيد بدوي

Prof. Wael Badawy

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

Doi: 10.21608/asajs.2025.419028

استلام البحث : ١١ / ٩ /٢٠٢٤

قبول النشـر : ١٢ / ١٠ / ٢٠٢٤

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% و٣٠%، مع تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠%. كما أسهمت في تقليص استخدام الأسمدة والمبيدات، مما انعكس إيجابًا على البيئة. اقتصاديًا، ساعدت هذه التقنيات في خفض تكاليف الإنتاج الزراعي، وزيادة دخل المزارعين بنسبة تصل إلى ٤٠% في بعض الدول، مثل الهند ورواندا. اجتماعيًا، أسهم استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين مستوى معيشة المزارعين، خصوصًا 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 تحولًا جذريًا نتيجة التطورات التكنولوجية المتسارعة، حيث أصبحت مفاهيم مثل "إنترنت الأشياء "(IoT) و"الذكاء الاصطناعي "(AI) جزءًا أساسيًا من العمليات الزراعية الحديثة. هذه التقنيات باتت تمثل ثورة رقمية في عالم الزراعة، ليس فقط من حيث زيادة الإنتاجية، بل أيضًا في تحقيق الاستدامة، وتقليل الهدر في الموارد، وتحسين مستوى معيشة العاملين في هذا القطاع (World Bank, 2020).

وفقًا لتقرير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة(FAO, 2022) ، يُواجه القطاع الزراعي عالميًا 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)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

إن إنترنت الأشياء (IoT) عبارة عن شبكة من الأجهزة المتصلة، مثل المستشعرات والطائرات المُسيّرة، 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 لآفات، ما يسمح بالتدخل المبكر وتقليل الخسائر.(Zhang et al., 2019)

اقتصاديًا، ساهم تطبيق IoT و AIفي 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 AIفي 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) (2021إضافةً إلى ذلك، يتطلب استخدام هذه التقنيات مهارات رقمية متقدمة، ما يستدعي وضع برامج تدريبية لتأهيل المزارعين.(GODAN, 2019)

أظهرت تجارب دول مثل هولندا، التي تُعدّ رائدة في مجال "الزراعة الدقيقة"، أن توظيف IoT و AIأدى 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، خصوصًا مصر، لهذه التقنيات لتحديث قطاعها الزراعي.

من المتوقع أن يشهد قطاع الزراعة في الشرق الأوسط تحولًا رقميًا متزايدًا خلال السنوات القادمة. وفقًا لتقرير شركة(2022) Deloitte ، فإن ٧٠% من المزارع الكبرى في

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

السعودية تخطط للاستثمار في تقنيات IoT و AIبحلول 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 AIفي 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 صُنّاع 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 Badawy, W. (2023). 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 سلبًا 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 تساعدهم 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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).

وفقًا لـPwC (2020)، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساهم في زيادة القيمة المضافة للقطاع الزراعي العالمي بحوالي ٢٠٠ مليار دولار سنويًا.

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 عائقًا رئيسيًا 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 و AIتُحقق مكاسب اقتصادية واجتماعية واضحة، غير أنها تتطلب توفير بنية تحتية مناسبة، ودعمًا حكوميًا، وبرامج تدريبية لتأهيل المزارعين.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

مشكلة البحث

رغم التقدم الملحوظ في تطبيقات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT)في القطاع الزراعي عالميًا، لا تزال الدول النامية، خصوصًا 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، خصوصًا 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 اتصالًا ثابتًا 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 .AIأظهرت 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 التداعيات قد تؤدي إلى تفاقم مشكلات البطالة، خصوصًا 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 AIضمن 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 غالبًا 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 AIفي

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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. وفقًا لتقرير صادر عن(2021) Kaspersky ، تعرضت ١٥% من أنظمة الزراعة الذكية في آسيا لهجمات سيبرانية، مما أدى إلى تعطل أنظمة الري الذكي وإتلاف المحاصيل. هذه التهديدات تجعل المزارعين متخوفين من استخدام هذه التقنيات.

رغم أن تقنيات IoT و AIتساهم في تحسين كفاءة الموارد الزراعية، إلا أن استخدامها المكثف قد يُشكل ضغطًا على الموارد الطبيعية. على سبيل المثال، أجهزة الاستشعار تحتاج إلى طاقة كهربائية مستمرة، مما يُشكل عبئًا 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 تعطل المشروع بعد عامين من إطلاقه.(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، وبنيوية في الدول العربية. هذه التحديات تستدعي البحث والدراسة لفهم كيفية تهيئة البيئة المناسبة لاعتماد هذه التقنيات، بما يُحقق الاستدامة الزراعية، ويرفع مستوى معيشة المزارعين.

تساؤلات البحث

في ظل التحولات الكبيرة التي يشهدها القطاع الزراعي عالميًا، 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، خصوصًا في الدول النامية. يُعدّ تحديد هذه التساؤلات أمرًا جوهريًا لفهم الإشكاليات التي تواجه هذا القطاع، والوصول إلى حلول علمية وعملية تساعد في رسم سياسات زراعية قائمة على الابتكار الرقمي.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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. فوفقًا 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 البنيوية تشكل عائقًا 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 تأثرًا بمشكلات الفقر والبطالة، وهو ما يجعل التكنولوجيا الزراعية الذكية فرصة لخلق فرص عمل جديدة، أو على العكس، تهديدًا 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 سلبًا على مستويات البطالة؟

٣- ما مدى وعي المزارعين في الدول العربية بأهمية استخدام IoT و AIفي 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 AIفي قطاع الزراعة بالدول العربية (World Bank, 2020). فإلى أي 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 فرصًا 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؟

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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). فإلى 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 AIعلى 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 وAI؟

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 الرؤى الوطنية؟

خلاصة التساؤلات البحثية

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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 يسهم في:

- **زيادة الإنتاجية :**أظهرت دراسات (FAO, 2022) أن استخدام أنظمة الري الذكي يمكن أن يرفع الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و٣٠%، 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%، وفقًا 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 اقتصاديًا واجتماعيًا في الدول العربية. لذلك، فإن التحول الرقمي في الزراعة له تأثير اجتماعي بارز يتمثل في:

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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

- **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 يسهم 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 AIفي الزراعة يمثل فرصة لتحديث هذا القطاع:

- **دمج المزارعين في الاقتصاد الرقمي :**إدخال التكنولوجيا يمكن أن يجعل المزارعين جزءًا من الاقتصاد الرقمي، ويمكّنهم 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 AIيمكن 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 يُسهم في سد هذه الفجوة.
- **دعم صُناع القرار :**يقدم البحث توصيات علمية قائمة على الأدلة لمتخذي القرار في الدول العربية لتبني سياسات زراعية رقمية.
- **تعزيز التنمية المستدامة :**البحث يسهم 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."

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 عالميًا، 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 AIفي 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 ٢٥%، وزيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة ٣٠%. غير أن هذه النتائج مستمدة غالبًا 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 ٢٠ % (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 تُسهم في تعزيز الأمن الغذائي، وتقليل الفجوة بين العرض والطلب على المحاصيل الزراعية.

وفقًا لمنظمة الأغذية والزراعة(FAO, 2022) ، تعاني الدول العربية من عجز غذائي كبير، إذ تعتمد على الاستيراد لتغطية ٥٠% من احتياجاتها من الحبوب. لذلك، من الضروري معرفة مدى فعالية تقنيات IoT و AIفي 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، خصوصًا فيما يتعلق بفرص العمل.

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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

.(Antle, 2020لذا، 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 AIيمكن أن يكون محفزًا 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، خصوصًا في المناطق التي تعاني من ندرة المياه.

الهدف الثامن هو تقدير الجدوى الاقتصادية لاعتماد IoT وAI، خاصة لصغار المزارعين.

وفقًا 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 واقعيًا في الدول العربية، حيث تفرض الظروف الاقتصادية قيودًا 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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، مستندًا إلى مراجعة الأدبيات الحديثة، ودراسة تطبيقات فعلية لتقنيات IoTو AIفي 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، استنادًا 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 دوليةFAO :، البنك الدولي، .GSMA
- رسائل ماجستير ودكتوراه حول الزراعة الذكية والتحول الرقمي الزراعي.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

ب. تحليل بيانات من تجارب دولية

تم استخدام بيانات ميدانية منشورة حول تجارب ناجحة لتطبيق IoT و AIفي 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 وExcel، مع تطبيق أساليب تحليل التباين واختبارات المتوسطات لمقارنة تأثير التقنيات الحديثة مقابل الأساليب التقليدية (Field, 2018).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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).

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

واجهت الدراسة بعض التحديات، منها:

- **ندرة الدراسات العربية** :أغلب الأبحاث الموثقة حول IoT و AIفي 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

١) التحول الرقمي في القطاع الزراعي: نظرة عامة

شهد القطاع الزراعي العالمي تحولًا رقميًا كبيرًا 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 AIفي 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)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

٢) تأثير IoT و AIعلى 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 مبكرًا. في البرازيل، أسهمت أنظمة AIفي خفض خسائر محصول الحمضيات بنسبة ٢٥% (Ferreira et al., 2020).

٣) الأثر الاقتصادي لتقنيات IoT وAI

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 وAI

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)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

٥) التحديات أمام تطبيق IoT وAI

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 و٥٠٠٠ 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 IoT و AIفي 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).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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

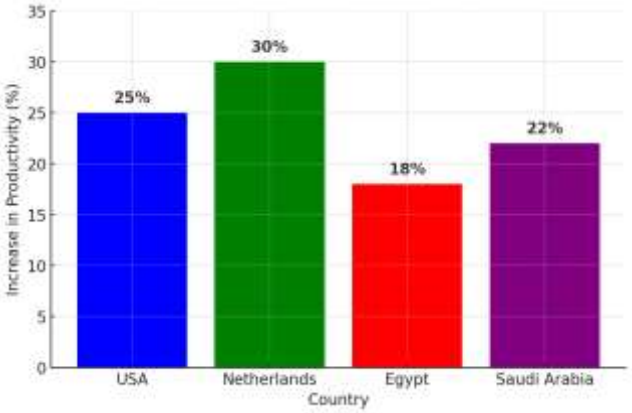
١- تحسين الإنتاجية الزراعية باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي

أظهرت النتائج أن استخدام إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) في القطاع الزراعي أدى إلى زيادة ملحوظة في إنتاجية المحاصيل الزراعية. وفقًا 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، خصوصًا 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 وفقًا لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2022).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 انترنت الاشياء والذماء الاصطناعي

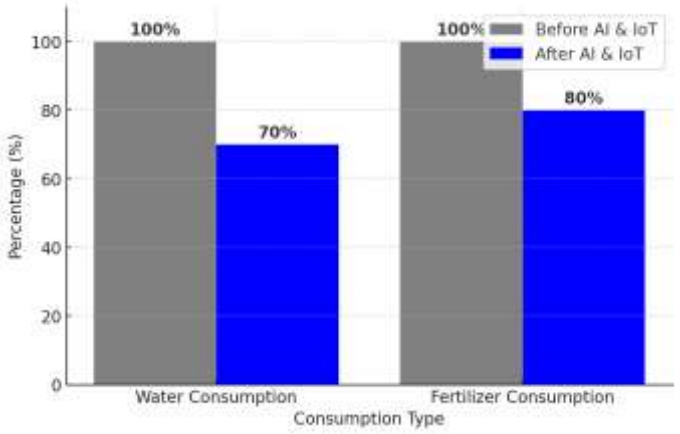
٢- تقليل استهلاك الموارد الزراعية (المياه والأسمدة)

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)، و يوضح انخفاض استهلاك المياه والأسمدة بعد تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وفقًا 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

استخدام الأسمدة انخفاضًا 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 انترنت الاشياء والذكاء الاصطناعي

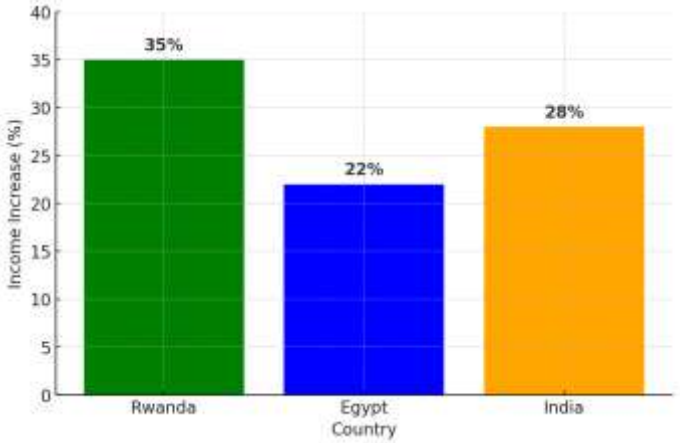
٣- زيادة دخل المزارعين وتحسين الوضع الاقتصادي

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، استنادًا 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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



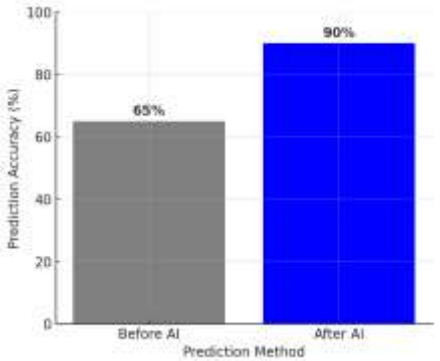
الشكل ٣: تأثير استخدام التكنولوجيا الزراعية على دخل المزارعين

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، وفقًا 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.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



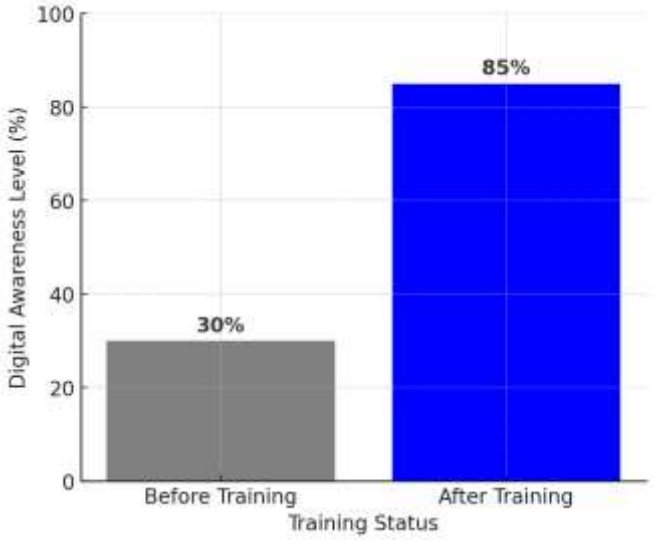
الشكل ٤: تحسين التنبؤ بإنتاج المحاصيل بعد تطبيق الذكاء الاصطناعي

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، وفقًا 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.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



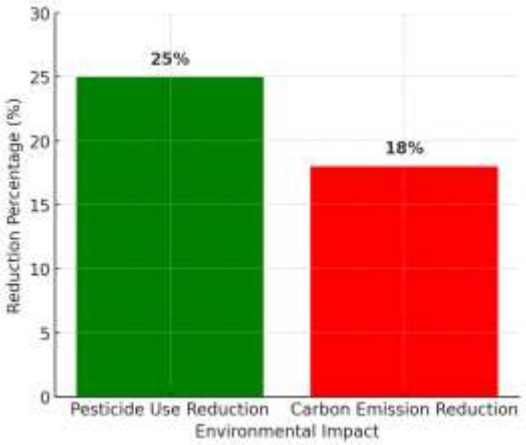
الشكل ٥: نسبة زيادة الوعي الرقمي بين المزارعين بعد التدريب على تطبيقات IoTو AI

٦- حماية البيئة وتحقيق الاستدامة الزراعية

أثبتت التجارب أن تقنيات IoT و AIساهمت 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، وفقًا 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 تلوثًا بيئيًا. تعكس هذه النتائج الفوائد البيئية للزراعة الذكية، حيث تساهم هذه التقنيات في تحسين استدامة العمليات الزراعية وتقليل تأثيرها السلبي على البيئة.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



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

تحليل شامل للنتائج

أ. المكاسب الاقتصادية

- زيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و٣٠%.
- 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.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

- 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 AIفي 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 عائقًا رئيسيًا أمام تبني التكنولوجيا في الزراعة .(FAO, 2020) لذا، توصي الدراسة بـ:

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

- 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 AIتلائم 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) .(2019لذا، 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 حسومات 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 AIفي الزراعة، إلا أن البحث العلمي في الدول العربية لا يزال محدودًا في هذا المجال .(Elijah et al., 2018) لذا، يُوصى بـ:

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

- 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 AIالزراعية.
- تشجيع تبادل البحوث العلمية بين الجامعات العربية.

خلاصة التوصيات

تؤكد هذه التوصيات أن نجاح تطبيق تقنيات IoT و AIفي 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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 AIفي العمليات الزراعية أدى إلى:

- **زيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة تتراوح بين ٢٠% و٣٠%**، 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% و٤٠%**، 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 تساعدهم على تحسين الإنتاج والتسويق.

أسهمت تقنيات IoT و AIفي 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% و٣٥%**، 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)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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 AIفي 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.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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., Sukkarieh, 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.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

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

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Effect of climatic factors, gibberellic acid, mineral nutrients concentration on fruit splitting of Washington Navel orange and pomegranate (Punica granatum L.) in Egypt

تأثير العوامل المناخية ، و حمض الجبرلين ، و تركيز العناصر الغذائية على تشقق الثمار فى محصولى البرتقال "ابوسرة واشنطن " و الرمان فى مصر

By

Mona Ezzat Mohamed Helal[1]
Ibrahim Eldesouki Arafat[2]

[1]Citrus Research Department, Horticultural Research Institute - Agricultural Research Center, Giza, Egypt
[2]Department of Olive and Semiarid Zone Fruits Research, Horticultural Research Institute - Agricultural Research Center, Giza, Egypt,

Doi: 10.21608/asajs.2025.419029

استلام البحث : ١٩ / ١ /٢٠٢٥

قبول النشـر : ١١ / ٢ / ٢٠٢٤

Helal, Mona Ezzat Mohamed & Arafat , Ibrahim Eldesouki. (2025). Effect of climatic factors, gibberellic acid, mineral nutrients concentration on fruit splitting of Washington Navel orange and pomegranate (*Punica granatum* L.) in Egypt. ***The Arab Journal of Agricultural Sciences***, Arab Institute for Education, Science and Arts, Egypt, 8 (26), 37 -62.

http://asajs.journals.ekb.eg

Effect of climatic factors, gibberellic acid, mineral nutrients concentration on fruit splitting of Washington Navel orange and pomegranate (*Punica granatum* L.) in Egypt

Abstract

A field experiment was conducted during the 2019–2020 and 2020–2021 seasons in private orchards of Washington Navel orange (*C. sinensis*) budded on sour orange (*C. aurantium*) rootstocks (20 years old) in Al-Dakahlia Governorate and Wonderful pomegranate (10 years old) in Al-Behera Governorate, Egypt. At the start of the study, the percentage of fruit splitting was assessed in four directions (north, east, west, and south) and at three canopy positions (upper, middle, and lower). Samples of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate fruits, with and without splitting symptoms, were collected to determine calcium (Ca) and boron (B) content in the fruit peels. The experiment aimed to evaluate the effects of calcium chloride, boric acid and gibberellic acid on fruit splitting and fruit quality. Twenty-five trees of each fruit species were divided into five groups, and each group was sprayed three times at full bloom, 30 days and 60 days after full bloom with one of the following treatments: 150 ppm GA_3, 2.0% calcium chloride ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$), 0.3% boric acid (H_3BO_3) and 150 ppm GA_3 + 2.0% $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ + 0.3% boric acid. The results revealed that the highest rates of fruit splitting occurred in July, coinciding with high temperatures, intense solar radiation, and low relative humidity. Fruit splitting was more prevalent on the southern side and the lower canopy portion. Higher concentrations of calcium and boron were detected in the peels of non-split fruits compared to split ones. The combined treatment of 150 ppm GA_3, 2.0% $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, and 0.3% boric acid was the most effective in reducing fruit splitting and enhancing yield and fruit quality of Washington Navel oranges and Wonderful pomegranates.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Therefore, this treatment is recommended to reduce fruit splitting and improve yield and quality parameters of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate under experiment conditions.

Key words: climatic factors, gibberellic acid, calcium, boron, splitting, Washington' Navel orange, pomegranate

المستخلص:

أجريت تجربة حقلية خلال الموسمين ٢٠١٩-٢٠٢٠ و٢٠٢٠-٢٠٢١ في بساتين خاصة مزروعة باشجارالبرتقال ابوسرة واشنطن (عمر٢٠ سنة) (*C. sinensis*) مطعم على أصول البرتقال البلدى المالح (*C. aurantium*) بمحافظة الدقهلية، و الرمان وندرفل (عمر ١٠ سنوات) بمحافظة البحيرة، مصر. قبل البدء فى التجربة تم تقديرنسبة تشقق الثمار في الأربعة اتجاهات للشجرة (الشمال، الشرق، الغرب، الجنوب) وفي الثلاثة أجزاء موضعية (أعلى، وسط، وأسفل) للشجرة. تم اخذ عينات من ثمار البرتقال سرة واشنطن والرمان وندرفل مع وبدون أعراض للتشقق وذلك لتقديرمحتوى قشرتها من الكالسيوم والبورون. لدراسة تأثير الرش بالكالسيوم ، والبورون، و GA_3 على الاصابة بالتشقق وانتاجية وجودة ثمار البرتقال ابو سرة واشنطن والرمان وندرفل. خمسة وعشرين شجرة من البرتقال ابو سرة واشنطن والرمان وندرفل اختيرت عشوائياً و قسمت الى خمس مجموعات كل مجموعة رشت ثلاث مرات (عند الإزهار الكامل ، بعد ٣٠ و ٦٠ يومًا من الإزهار الكامل) بالماء المقطر(الكنترول)، و حمض الجبرليك بتركيز ١٥٠ جزء فى المليون، و كلوريد الكالسيوم بتركيز ٢ % ، و حمض البوريك بتركيز ٠.٣ % ، و١٥٠ جزء في المليون من حمض الجبريليك + ٢ % كلوريد الكالسيوم + ٠.٣ % حمض البوريك. اوضحت النتائج ان اعلى نسبة تشقق لثمار البرتقال ابوسرة و الرمان وندرفل كانت فى شهر يوليو عند ارتفاع درجة حرارة الهواء و الإشعاع الشمسي، وانخفاض الرطوبة النسبية. كما اضهرت النتائج ان اعلى نسبة تشقق قد سجلت فى الجهة الجنوبية من الشجرة عن الجهات الاخرى، و فى الجزء السفل من الشجرة خاصة فى المترالاول من الكانوبى كانت اعلى منها فى الجزء العلوى من الشجرة. قشرة الثمار السليمة (بدون أعراض للتشقق) احتوت على تركيزات أعلى من الكالسيوم و البورون في مقارنة بقشرة الثمار المصابة بالتشقق. ادى الرش بالمعاملة التى استخدم فيها ١٥٠ جزء في المليون من حمض الجبريليك + ٢ % كلوريد الكالسيوم + ٠.٣ % حمض البوريك تقليل الاصابة بتشقق الثمار كما حسنت إنتاجية وجودة الثمار مقارنة

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

بالمعاملات الاخرى. لذلك يوصى برش أشجار برتقال سرة واشنطن والرمان الوندرفل بالمعاملة السابقة لمنع حدوث التشقق و تحسين انتاجية و جودة الثمار.
الكلمات المفتاحية: العوامل المناخية، حمض الجبريليك، الكالسيوم، البورون، التشقق، برتقال ابو سرة واشنطن ، الرمان.

Introduction

Fruit splitting or cracking is a major pre-harvest physiological disorder affecting the Washington Navel orange (*Citrus sinensis* L. (Osbeck) and pomegranate (*Punica granatum* L.) industries, resulting in significant economic losses and reducing commercial value. This issue can lead to annual yield reductions of up to 30% (El-Sayed, 2016 and El-Akkad *et al.*, 2016). Factors contributing to fruit splitting include environmental factors, nutritional deficiencies, and imbalances in plant growth regulators (Abdelrahman, 2010; Singh *et al.*, 2020; Krajewski *et al.*, 2022). Environmental factors such as high temperatures, intense soil radiation, elevated transpiration rates, low relative humidity, and significant day-night temperature fluctuations during fruit development are closely linked to splitting (Abdelrahman, 2010, Khub, 2014 and Li and Chen, 2017).

Nutritional deficiencies, particularly in calcium (Ca) and boron (B), are directly associated with fruit splitting in oranges and pomegranates (Singh *et al.*, 2020 and Krajewski *et al.*, 2022). Calcium and boron play essential roles in maintaining cell wall integrity and plasma membrane function by interacting with pectic polymers in the cell wall matrix (Singh et al., 2012). Fruits with higher calcium and boron levels in their peel exhibit greater firmness, stronger cell walls, and reduced susceptibility to splitting (Masoud *et al.*, 2019 and Morwal and Das, 2021).

Additionally, endogenous plant growth regulators influence fruit splitting. Studies by Peng *et al.* (2001) and Sekse *et al.* (2005) indicate that gibberellic acid (GA_3) can mitigate

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

fruit splitting by delaying fruit maturity, enhancing peel elasticity, increasing the deposition of stratum corneum components, reducing the activity of pectin methylesterase (PME) and polygalacturonase (PG), and improving cell wall plasticity and fruit hardness. The combined application of GA_3, calcium, and boron has been found effective in reducing fruit splitting severity in several crops, including litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) (Singh *et al.,* 2022), lemon (*Citrus limon* L. cv. Eureka) (Devi *et al.,* 2018), sweet cherry (*Prunus avium* L.) (Dong *et al.,* 2019), grapes (*Vitis vinifera* L. cv. Muscat Hamburg) (Parthiban *et al.,* 2021), mandarin (*Citrus reticulata*) (Kaur *et al.,* 2024), 'Okitsu no. 58' citrus fruit (Wang *et al.,* 2024), and Lane Late Navel orange (Shi *et al.,* 2024).

Given the severity of the problem, this study aimed to evaluate the individual and combined effects of calcium, boron fertilization, and gibberellic acid treatment on fruit splitting, yield, and quality in Washington Navel orange and Wonderful pomegranate, two of Egypt's most commercially significant fruit crops.

Material and methods

A field experiment was conducted during the 2019–2020 and 2020–2021 seasons in private orchards of Washington Navel orange (*Citrus sinensis*) trees budded onto sour orange (*Citrus aurantium* L.) rootstocks (20 years old) located in Al-Dakahlia Governorate, Egypt (31.15° N latitude, 31.49° E longitude, 2.89 m altitude) and Wonderful pomegranate (*Punica granatum* L.) trees (10 years old) were studied in Al-Behera Governorate, Egypt (30.47° N latitude, 30.09° E longitude, 94.5 m altitude). The planting distances were 5 m × 5 m for the orange trees and 4 m × 4 m for the pomegranate trees. In both orchards, the experimental trees were managed under uniform fertilization, irrigation, and pest control practices as recommended by the

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

Egyptian Ministry of Agriculture and Land Reclamation. Details of the soil's physicochemical properties at the experimental sites are provided in Table 1.

Table (1): Physical and chemical characteristics of orange and pomegranate orchards soil.

Soil attributes	Orange	Pomegranate
Sand (%)	25.00	90.50
Silt (%)	25.50	2.700
Clay (%)	49.500	6.8
Soil texture	clay/ loamy	Sandy
Field capacity (%)	36.00	16.00
Saturation (%)	72.00	32.00
Organic matter (g/kg)	13.50	2.90
pH	7.90	8.00
EC, dS/m	2.99	1.34
Available N (mg/kg)	53.60	23.20
Available P (mg/kg)	11.40	3.50
Available K (mg/kg)	224.90	112.50

Agro-meteorological data, such as maximum and minimum temperatures (°C), relative humidity (%), and solar radiation (MJ/m²/day), were collected from January to December during the 2020 and 2021 seasons from weather stations situated in the Al-Dakahlia and Al-Behera governorates.

At the beginning of the experiment, 10 trees were randomly selected from each orchard. Five branches on each tree were marked in four directions, and the number of split fruits on these branches was recorded and expressed as a percentage. The tree canopy was divided into three sections (upper, middle, and lower), and the percentage of fruit splitting was calculated for each section. To analyze calcium and boron content in the fruit peels, 50 commercially mature Washington Navel orange and Wonderful pomegranate fruits, both with and without splitting symptoms, were collected. Calcium (Ca) content was analyzed

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

using an atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer - 3300) following the method of Chapman and Pratt (1961). Boron (B) content was measured photometrically using the azomethine color reaction, based on the method of Banuelos *et al.* (1992) with modifications by Liakopoulos *et al.* (2005).

For the experiment, 25 trees of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate with similar yields, canopy sizes, and vigor were selected. These trees were divided into five groups, each receiving one of the following treatments applied as sprays at full bloom (FB), and 30 and 60 days after full bloom: gibberellic acid (GA_3) (ACG-EGYPT ®), calcium chloride ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$), and boric acid (H_3BO_3), either individually or in combination. The treatments were: control (distilled water), 150 ppm GA_3, 2.0 % $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.3 % H_3BO_3 and 150 ppm GA_3 + 2.0 % $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ + 0.3 % H_3BO_3. Each treatment had five replicates (trees).

The following parameters were measured:

Leaf calcium and boron content

Leaf samples were collected in July during both seasons from Washington Navel orange and Wonderful pomegranate trees to determine calcium and boron contents, following the methods described earlier.

Percentage of fruit splitting

The incidence of fruit splitting was evaluated monthly until the ripening stage. Split-affected fruits on each tree were counted, and the data were expressed as a percentage of split-affected fruits. The total percentage of fruit splitting was calculated using the formula:

Fruit splitting (%) =Total number of split fruits \ Total number of fruits ×100

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

Yield and Fruit Quality Parameters

At the ripening stage, all fruits from each treatment were harvested separately. Measurements included fruit weight (g), yield (kg/tree), fruit diameter (cm), fruit firmness (kg/m²), total soluble solids (TSS) (%), titratable acidity (TA) (%), ascorbic acid (vitamin C) content, and reducing sugars (%).

Fruit diameter (cm) and skin thickness (mm) were measured using a vernier caliper.

Fruit firmness (kg/m²) was determined using a handheld fruit firmness tester (Penetrometer, Model FT 327, QA Supplies, Norfolk, VA, USA).

TSS (%) was measured using a hand refractometer (0–32 °Brix) with temperature correction at 20°C (Chawla *et al.*, 2018).

TA (%) was determined by titration with 0.01 N NaOH using phenolphthalein as an indicator, and results were expressed as citric acid percentage (El-Sisy, 2013).

Ascorbic acid content (vitamin C) was determined in fruit juice via oxidation with 2,6-dichlorophenol-indophenol dye, with results expressed in mg ascorbic acid per 100 mL of juice (El-Sisy, 2013).

Reducing sugars (%) were analyzed using the phenol-sulfuric acid method and the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method (Lam *et al.*, 2021).

Statistical Analysis

The experiment was conducted using a completely randomized block design with three replications. Data from each season were analyzed using analysis of variance (ANOVA) with SPSS 17.0 software (Statistical Packages for the Social Sciences, Inc., Chicago, USA). Treatment differences were assessed using the least significant difference (LSD) test at a 5% significance level (Steel et al., 1997).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Results and discussion

Splitting as affected by fruit position on the tree

As shown in Tables 2 and 3, fruit splitting in Washington Navel orange and Wonderful pomegranate was significantly affected by the fruit's position on the tree ($p \leq 0.05$). Table 2 indicates that fruits located on the southern side of the tree canopy exhibited a higher percentage of splitting compared to other sides in both seasons. Similarly, Table 3 emphasizes the impact of fruit position within the tree canopy. The highest splitting rates were observed in the lower canopy (1 m height), followed by the middle canopy (2 m height) and the upper canopy (3 m height) across both seasons. Fruits in the lower canopy exhibited significantly more splitting than those in higher sections. These results are consistent with the findings of El-Sammak (2010), El-Sayed (2016), Saffari and Akhavan (2018), and Mandal and Mitra (2018), who linked increased splitting in the southern and lower canopy areas to higher temperatures, greater light intensity, and lower relative humidity in these regions.

Table 2. Effect of fruit position and distribution on fruit splitting percentage of Washington navel orange and Wonderful pomegranate grown under Al-Dakahlia and Al-Behera governorates climatic conditions in 2020 and 2021 seasons.

Season	Washington navel orange					Wonderful pomegranate				
	Fruit position					Fruit position				
	North	South	East	West	Total	North	South	East	West	Total
2020	3.50 d	13.70 a	4.30 c	9.50 b	31	1.5 d	9.3 a	2.3 c	5.9 b	19
2021	4.5 d	15.2 a	5.7 c	10.8 b	36.2	2.5 d	11.5 a	5.7 c	3.8 b	23.5

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

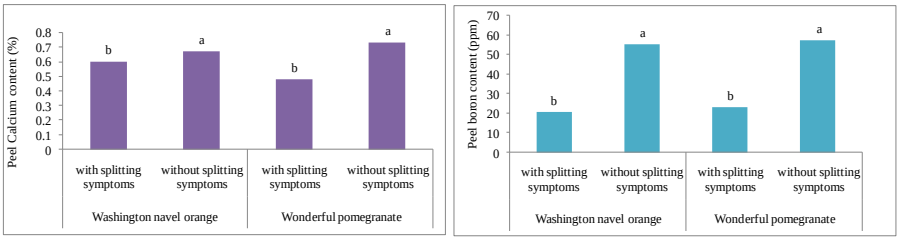
Table 3. % fruit splitting at different position of Washington navel orange and Wonderful pomegranate grown under Al-Dakahlia and Al-Behera governorates climatic conditions in 2020 and 2021 seasons.

Season	Washington navel orange				Wonderful pomegranate			
	Tree high				Tree high			
	Lower part(1m)	Medium part (2 m)	Higher part(3m)	Total	Lower part(1m)	Medium part (2 m)	Higher part(3m)	Total
2020	19.5 a	9.5 b	2 c	31	11.5 a	5.6 b	1.9 c	19
2021	23.3 a	10.2 b	2.7 c	36.2	13.5 a	7.6 b	2.4 c	23.5

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Relationship between fruit splitting and calcium and boron content in Peel

Significant differences ($p \leq 0.05$) were found in the calcium (Ca) and boron (B) content of the peel between split and non-split fruits of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate. A negative correlation was observed between the levels of Ca and B in the fruit peel and the occurrence of splitting. Fruits without splitting symptoms showed higher concentrations of Ca and B in their peels, as illustrated in Figure 1. Similarly, earlier research on litchi (*L. chinensis*) has demonstrated that split fruits had notably lower levels of calcium and boron in the peel compared to non-split fruits of the same variety (Lin, 2001; Huang *et al.*, 2004).



ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Figure 1. Relationship between peel Calcium (Ca) and boron (B) content and fruit splitting presence. Values in the bar followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Effect of Climatic conditions on fruit splitting in Washington Navel orange

The data presented in Figure 2 (a, b, c, d) illustrate that climatic factors, particularly air temperature, relative humidity, and solar radiation, significantly affect fruit splitting in Washington Navel orange and Wonderful pomegranate. The occurrence of fruit splitting began to appear slightly in June and July, peaking in July for both fruit types.

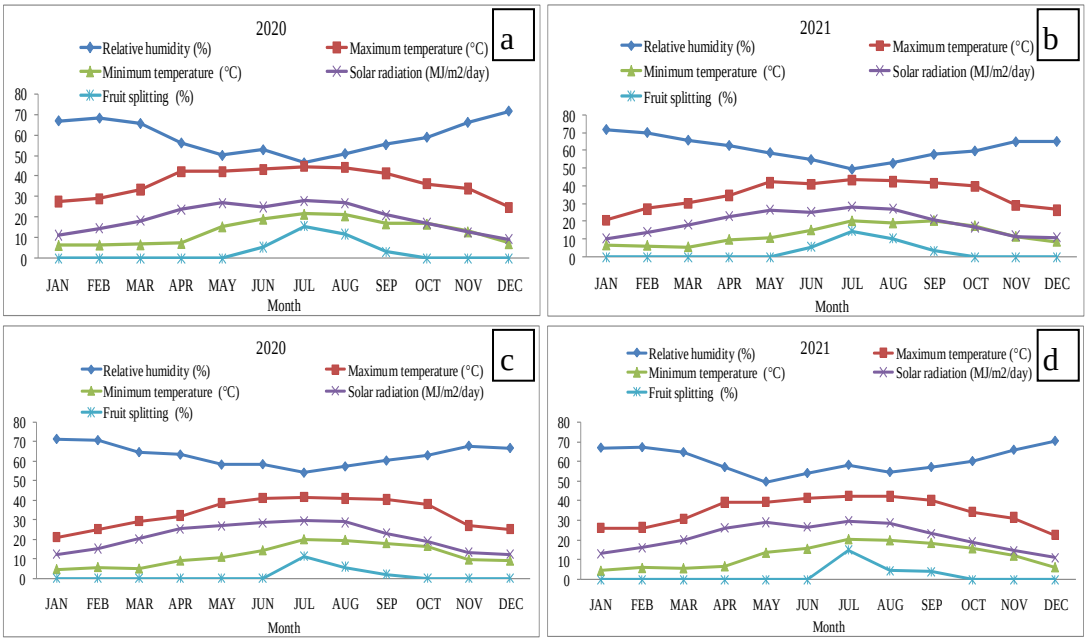
Air temperature was positively correlated with fruit splitting. Higher maximum temperatures (r^2 = 0.615 for orange and 0.519 for pomegranate) and minimum temperatures (r^2 = 0.752 for orange and 0.685 for pomegranate) were linked to increased fruit splitting (Figure 2 a, b). These findings are consistent with those of Bolaños *et al.* (2017), who reported a similar trend in litchi (*L. chinensis*). Extreme temperature fluctuations can cause carbohydrate accumulation, lowering the osmotic potential of the fruit and increasing water absorption, which accelerates growth and heightens the risk of splitting (Wang and Camp, 2000).

Relative humidity showed a negative correlation with fruit splitting in both crops (r^2 = -0.692 for orange and -0.656 for pomegranate). The highest percentage of split fruits occurred during periods of low relative humidity (Figure 2 a, b). This aligns with research by Li et al. (2006) and Kaur *et al.* (2022), as well as Bolaños *et al.* (2017), who found that low relative humidity coupled with high temperatures promotes splitting in litchi.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

Moreover, solar radiation was positively correlated with the percentage of split fruits. High solar radiation periods had a significant impact on fruit splitting, with correlation values of r^2 = 0.645 for orange and 0.545 for pomegranate (Figure 2 a, b). These results support the findings of Bolaños *et al.* (2017), who noted that increased solar radiation contributes to fruit splitting. The effect of solar radiation may be due to elevated external fruit temperatures, which create stress conditions, making fruits more vulnerable to splitting (Mitra *et al.*, 2010).

Figure 2. Splitting fruit incidence (%) in (a, b) Washington Navel orange and (b, c) Wonderful pomegranate fruits and its relation with air maximum and minimum temperatures (T °C), relative humidity (%) and solar radiation. Study period from January to December 2020-2021.



ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Effect of foliar application of gibberellic acid, calcium, and boron on fruit splitting and quality

Nutritional status (leaf mineral composition)

The nutritional status of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate trees, as indicated by the leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, and B, was evaluated in response to various treatments during the 2019–2020 and 2020–2021 seasons. The compiled data are presented in Tables 2 and 3.

As shown in Tables 4 and 5, all treatments significantly ($p \leq 0.05$) increased leaf nutrient contents (N, P, K, Ca, Mg, and B) compared to the control. Among the treatments, the combination of GA_3 (150 mg/L) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0%) + boric acid (0.3%) proved to be the most effective, resulting in the highest nutrient concentrations in the leaves. The GA_3 (150 mg/L) foliar spray alone ranked as the second most effective treatment.

Table 4. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on N, P, K, Ca, Mg and B content in leaves dry weight of Washington navel orange, plodded data of two seasons 2019 - 2020 and 2020 - 2021.

Treatments	Washington navel orange					
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (ppm)
Control (distilled water)	1.90 e	0.07 e	0.35 e	1.50 e	0.14 e	8.91e
GA_3 (150 mg/l)	2.77 b	0.19 b	0.95 b	3.05 b	0.34 b	50.70 b
$CaCl_2$ (2.0 %)	2.56 c	0.17 c	0.55 c	2.93 c	0.20 c	41.05 d
Boric acid (0.3%)	2.00 d	0.11 d	0.47 d	2.02 d	0.16 d	43.05 c
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	2.85 a	0.21 a	1.13 a	3.40 a	0.38 a	76.33 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

Table 5. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on % N, P, K, Ca, Mg and B elements uptake in leaves dry weight of Wonderful pomegranate, plodded data of two seasons 2019 - 2020 and 2020 - 2021.

Treatments	Wonderful pomegranate					
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (ppm)
Control (distilled water)	1.44 e	0.11 e	0.74 e	2.33 e	0.20 e	10.01e
GA_3 (150 mg/l)	1.90 b	0.19 b	0.91 b	2.77 b	0.25 b	42.44 b
$CaCl_2$ (2.0 %)	1.70 c	0.16 c	0.85 c	2.57 c	0.23 c	33.57 d
Boric acid (0.3%)	1.11 d	0.13 d	0.79 d	2.07 d	0.18 d	37.55 c
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	2.33 a	0.24 a	0.98 a	2.90 a	0.27 a	68.23 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

All treatments, whether applied individually or in combination, significantly ($p \leq 0.05$) reduced fruit splitting in Washington Navel orange and Wonderful pomegranate. Among the treatments, the combination of GA_3, calcium, and boron was the most effective, resulting in the lowest fruit splitting rates, while the untreated control trees displayed the highest rates of splitting (Table 6).

The effectiveness of these treatments can be attributed to their synergistic effects. Gibberellic acid (GA_3) promotes cell elongation and enhances cell flexibility (Peng *et al.*, 2001; Sekse *et al.*, 2005). Calcium improves cell wall cohesion by interacting with cell wall components (Bakeer, 2016), and boron enhances the water content of the fruit peel by promoting nutrient uptake, maintaining ionic balance in cell membranes, and regulating enzymatic activity (Shireen et al., 2018). Together, these

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

treatments create an optimal physiological state, improving both the qualitative and quantitative attributes of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate fruits.

Table 6. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on fruit splitting of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate, plodded data of two seasons 2019 - 2020 and 2020 - 2021.

Treatments	Fruit splitting %	
	Washington Navel orange	Wonderful pomegranate
Control (distilled water)	36.51 a	23.66 a
GA_3 (150 mg/l)	4.31 d	3.12 d
$CaCl_2$ (2.0 %)	2.56 c	2.22 c
Boric acid (0.3%)	6.11 b	5.50 b
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	0.32 e	0.17 e

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Effect of treatments on fruit yield and quality parameters

Fruit yield, measured as weight (kg/tree), along with fruit weight, diameter, firmness, and peel thickness, were evaluated in response to different treatments during the 2019–2020 and 2020–2021 experimental seasons. The data, presented in Tables 7 and 8, clearly demonstrate that all treatments, including gibberellic acid (GA_3), calcium chloride ($CaCl_2.2H_2O$), and boric acid (H_3BO_3), significantly ($p \leq 0.05$) enhanced fruit diameter, firmness, peel thickness, fruit weight, and overall yield per tree for Washington Navel orange and Wonderful pomegranate compared to the control (water-sprayed trees).

The effectiveness of the treatments in improving these parameters varied among the substances. However, all showed a

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

consistent trend across both experimental seasons. The combination of GA_3 (150 mg/L), $CaCl_2.2H_2O$ (2.0%), and boric acid (0.3%) proved to be the most effective treatment, resulting in the highest increases in all measured fruiting parameters compared to the control and other treatments. The remaining treatments ranked as follows, in descending order of efficacy for enhancing these parameters: GA_3 (150 mg/L) ranked second, followed by $CaCl_2.2H_2O$ (2.0%) and boric acid (0.3%), which ranked third and fourth, respectively. These findings align with those of Parthiban *et al.* (2021) and Singh *et al.* (2022), who reported that the combined application of GA_3, calcium, and boron significantly improved yield components in grapes (*Vitis vinifera*) and litchi (*L. chinensis*), respectively.

Table 7. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on yield parameters of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate, plodded data of two seasons 2019 - 2020 and 2020 - 2021.

Treatments	Washington Navel orange		Wonderful pomegranate	
	Fruit weight (g)	Yield (kg/tree)	Fruit weight (g)	Yield (kg/tree)
Control (distilled water)	230.70 e	49.32 e	381.21 e	35.51 e
GA_3 (150 mg/l)	277.41 b	88.33 b	490.57 b	58.71 b
$CaCl_2$ (2.0 %)	260.21 c	73.11 c	478.02 c	50.24 c
Boric acid (0.3%)	255.33 d	68.82 d	465.66 d	47.11 d
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	301.11 a	98.70 a	507.91 a	62.70 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Table 8 . Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on fruit diameter (cm), firmness (kg/cm^2) and peel thickness (mm) of Washington Navel orange and Wonderful pomegranate fruits, plodded data of two seasons 2019 - 2020 and 2020 - 2021.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Treatments	Washington Navel orange			Wonderful pomegranate		
	Fruit diameter (cm)	Firmness (kg/cm^2)	Peel thickness (mm)	Fruit diameter (cm)	Firmness (g/cm^2)	Peel thickness (mm)
Control (distilled water)	5.02 e	10.71 e	3.01 e	11.51 e	420.57 e	54.70 e
GA_3 (150 mg/l)	6.50 b	18.78 b	3.90 b	13.71 b	523.17 b	64.50 b
$CaCl_2$ (2.0 %)	5.87 c	16.45 c	3.77 c	13.57 c	509.11 c	62.56 c
Boric acid (0.3%)	5.33 d	13.67 d	3.45 d	13.12 d	487.38 d	57.33 d
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	7.76 a	21.33 a	4.21 a	14.50 a	541.40 a	68.67 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Effect of treatments on fruit chemical properties

The chemical properties of fruit, including total soluble solids (TSS %), titratable acidity (%), ascorbic acid (vitamin C), and reducing sugar content (%), were evaluated in response to different treatments during the 2019–2020 and 2020–2021 experimental seasons. The results, shown in Tables 9 and 10, demonstrate that all treatments significantly ($p \leq 0.05$) enhanced the four chemical parameters when compared to the control. Among the treatments, the combination of GA_3 (150 mg/L), $CaCl_2.2H_2O$ (2.0%), and boric acid (0.3%) resulted in the highest values for TSS, ascorbic acid, and reducing sugars while achieving the lowest titratable acidity. This treatment was the most effective, followed by GA_3 (150 mg/L) alone, which ranked second during both seasons. These findings align with prior studies by Verreynne and Der Merwe (2011) and Hegazi *et al.* (2014). Similarly, El-Akkad *et al.* (2016) reported that calcium chloride and GA_3 applications significantly improved the fruit quality of Manfalouty pomegranate by increasing TSS,

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

vitamin C, and reducing sugars while lowering titratable acidity compared to untreated controls.

The observed improvements are likely due to the combined effects of calcium and GA_3 on promoting growth, enhancing nutrient uptake, and improving food synthesis. These processes contribute to better fruit maturation and enriched chemical constituents, as suggested by Ismail *et al.* (2018).

Table 9. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on fruit quality parameters (TSS, acidity, ascorbic acid content, reducing sugar %) of Washington Navel orange, plodded data of 2019-2020 and 2020-2021 seasons.

Treatment	Total soluble solid (%)	Titratable acidity (%)	Ascorbic acid content (mg /100 ml juice)	Reducing sugars (%)
Control (distilled water)	18.11 c	0.87 c	64.50 c	6.07 c
GA_3 (150 mg/l)	16.50 e	0.97 a	55.44 e	4.60 e
$CaCl_2$ (2.0 %)	19.03 b	0.71 d	68.52 b	7.10 b
Boric acid (0.3%)	17.60 d	0.91 b	60.01 d	5.30 d
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	20.01 a	0.67 e	73.11 a	8.61 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Table 10. Effect of gibberellic acid, calcium and boron treatments on fruit quality parameters (TSS, acidity, ascorbic acid content, reducing sugar %) of Wonderful pomegranate, plodded data of 2019-2020 and 2020-2021 seasons.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Treatment	Total soluble solid (%)	Titratable acidity (%)	Ascorbic acid content (mg /100 ml juice)	Reducing sugars (%)
Control (distilled water only)	15.34 e	1.72 a	11.26 e	10.18 e
GA_3 (150 mg/l)	19.73 c	0.90 c	20.50 c	11.70 c
$CaCl_2$ (2.0 %)	21.55 b	0.88 d	24.77 b	12.00 b
Boric acid (0.3%)	17.60 d	0.98 b	18.79b d	11.05 d
GA_3 (150 mg/l) + $CaCl_2.2H_2O$ (2.0 %) + Boric acid (0.3 %)	24.59 a	0.85 e	26.32 a	12.70 a

Values in the column followed by the same letter(s) are not significantly different at a 5 % level of probability.

Conclusions

The results indicated that high percentages of fruit splitting were observed in July, a period characterized by high air temperatures, high solar radiation, and low relative humidity. Additionally, the highest rates of fruit splitting occurred on the south side and in the lower part of the canopy. Fruits without splitting symptoms had higher concentrations of calcium (Ca) and boron (B) in their peel compared to split fruits. The combination of (150 mg/L), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (2.0%), and boric acid (0.3%) was found to be the most effective treatment for reducing fruit splitting, as well as improving tree yield and fruit quality parameters for both Washington Navel orange and Wonderful pomegranate. Based on these findings, foliar application of GA_3 (150 mg/L), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (2.0%), and boric acid (0.3%) is recommended to reduce fruit splitting and enhance yield and quality under the experimental conditions.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

References

Abdelrahman, I.E. (2010). Physiological studies on cracking phenomena of Pomegranate. Journal of Applied Sinces Research, 6 (6): 696-703.

Bakeer, S.M. (2016). Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees. Sci. Hortic., 209, 300–308.

Banuelos, G.S., Cardon, G., Pflaum, T. and Akohoue, S. (1992) .Comparison of dry ashing and wet acid digestion on the determination of boron in plant tissue. Commun Soil Plant Anal. 23:2383–2397.

Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1961). Methods of Analysis for Soil, Plant and Waters. Univ. of Calif. Division of Agric. Sc. 6 th Ed. P: 56-64.

Chapman, H.D. and Pra, P.F. (1961). ″ Methods of analysis for soils, plants and waters ″ Div. Of Agric. Sci. Univ. of Calif., pp. 309.

Chawla, S., Devi, R., and Jain, V. (2018). Changes in physicochemical characteristics of guava fruits due to chitosan and calcium chloride treatments during storage.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7 (3): 1035-1044.

Devi, K., Kumar, R., Wali, V.K., Bakshi, P., Sharma, N., and Arya, V.M. (2018). Effect of foliar nutrition and growth regulators on nutrient status and fruit quality of Eureka lemon (*Citrus limon*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 88 (5): 704-708.

Dong, Y., Zhi, H., and Wang, Y. (2019). Cooperative effects of pre-harvest calcium and gibberellic acid on tissue calcium content, quality attributes, and in relation to postharvest disorders of late-maturing sweet cherry. Scientia horticulturae, 246, 123-128.

El-Akkad, M.M., Gouda F.M. and Ibrahim, R.A. (2016). Effect of GA_3, Calcium Chloride and Vapor guard Spraying on Yield and Fruit Quality of Manfalouty Pomegranate Trees. Assiut J. Agric. Sci., 47 (6-1): 181-190.

El-Sammak, A.F. (2010). Physiological studies on orange fruit splitting. Kafrelsheikh University. Master's Thesis. P 69.

El-Sayed, S.A. (2016). Some factors affecting orange fruit splitting of Washington Navel orange under Kaferelshikh conditions. B- The effect of climate conditions and fruit

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

position on the tree canopy. J. Plant Prod. Mansoura Univ., 7, 339–342.

El-Sisy, W.A.A.Z. (2013). Evaluation of some genotypes of guava trees grown under Alexandria governorate condition I. Vegetative growth, flowering and fruit quality. World Applied Sciences Journal, 28, 583–595.

Hegazi, A., Samra , N.R. El-Baz, E.E.T., Khalil, B.M. and Gawish, M.S. (2014). Improving fruit quality of Manfalouty and Wonderfull pomegranates by using bagging and some spray treatments with gibberellic acid, calcium chloride and kaolin. J. Plant Production, Mansoura Univ., 5 (5): 779-792.

Huang, X.M., Yuan, W.Q., Wang, C., Li, J.G., Huang, H.B., Luo, S. and Yin, J. (2004). Linking cracking resistance and fruit desiccation rate to pericarp structure in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). J Hort Sci Biotech 79: 897-905.

Ismail, M. H., Abd-Alhamid, N., Sewrus, E. S., and Nasr, S. (2018). Improving fruit cracking resistance of wonderful pomegranates. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 26 (2): 445-457.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Kaur, R., Kaur, N., and Singh, H. (2022). Fruit Cracking in Lemon cv. Punjab Baramasi in Relation to Developmental Physiology. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 92 (3): 561-568.

Kaur, K., Gupta, M., Rattanpal, H.S., Chahal, T.S., and Singh, G. (2024). Impact of foliar application of growth regulators on fruit splitting, yield and quality of daisy mandarin (*Citrus reticulata*). The Indian Journal of Agricultural Sciences, 94 (2):181–186.

Krajewski, A., Ebert, T., Schumann, A. and Waldo, L. (2022). Pre-Harvest Fruit Splitting of Citrus. Agronomy, 12, 1505.

Lal, N. and Nath ,V. (2020). Studies on sun burn and fruit cracking in litchi cultivars under Bihar condition. Indian J Arid Hort. 20 (1, 2): 62-66.

Lam, H.H., Dinh, T.H., and Dang-Bao, T. (2021). Quantification of total sugars and reducing sugars of dragon fruit-derived sugar-samples by UV-Vis spectrophotometric method. In IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 947(1):012041.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

Li , C.Y., Zhang, G.L., Zeng, X., Luo, N. and Hu, Q. (2006). Studies on cell wall enzymes of navel orange (*Citrus sinensis*) fruit. Journal of Sichuan Agricultural University, 24: 73–76.

Li, J. and Chen, J. (2017). Citrus fruit-cracking: Causes and occurrence. Hortic. Plant J., 3, 255–260.

Lin, L.W. (2001). Effect of mineral nutrient on fruit cracking rate of *Litchi chinensis* Sonn. Soil Environ Sci., 10: 55-56.

Mandal, D., and Mitra, S. (2018). Cracking of lychee fruits: responsible factors and control. In V International Symposium on Lychee, Longan and Other Sapindaceae Fruits (Vol. 1211).

Martínez Bolaños, M., Martínez Bolaños, L., Guzmán Deheza, A., Gómez Jaimes, R., and Reyes Reyes, A. L. (2017). Calcium and gibberellic acid in litchi fruits cracking (*Litchi chinensis* Soon.) cultivar Mauritius. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8 (4): 837-848.

Masoud, A.A.B., Radwan, E.M.A. and Abou-Zaid, E .A.A. (2019). Effect of some micronutrients, silicon and GA_3 spraying on yield and fruit quality of pomegranate. Assiut J. Agric. Sci., 49 (3): 97-106.

Mitra, S. K., Pathak, P. K., Debnath, S., Sarkar, A. and Mondal, A. (2010). Elucidation of the factors responsible for cracking and sunburn in litchi and integrated management to minimize the disorders. Acta Hort., 863:225-234.

Morwal, B.R. and Das, S. (2021). Foliar application of boron and calcium nitrate decreased fruit cracking and improved

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

quality in pomegranate (*Punica granatum* L.). J. Krishi Vigyan, 9 (2): 72-75.

Parthiban, S., Indirani, R., Subbiah, A., Saraswathy, S. and Nireshkumar, N. (2021). Effect of Calcium, Boron and Micronutrient Formulations on Berry Cracking in Grapes var. Muscat Hamburg. Madras Agric. J., 108 (7-9): 332 - 239.

Peng, J., Xi, J.B.,Tang, X.D., Wang, Y.G., Si, X.M. and Chen, J.S. (2001). Effect of Ca $(NO_3)_2$ and GA spray on leaves on the fruit cracking of 'Nuomici' litchi. Acta Hort. Sinica, 28:348-350.

Saffari, B., and Akhavan, H. (2018). Effects of location in the tree canopy on some quality characteristics of fresh pistachio fruit. Journal of Nuts, 9 (2): 135-145.

Sekse, L., Bjerke, K.L and Vangdal, E. (2005). Fruit cracking in sweet cherries – An integrated approach. Acta. Hort., 667:471-474.

Shi, G., Zhou, X., Tong, C. and Zhang, D. (2024). The Physiological and Molecular Mechanisms of Fruit Cracking Alleviation by Exogenous Calcium and GA3 in the Lane Late Navel Orange. Horticulturae, 10,1283.

Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. Int. J. Mol. Sci., 19, 1856.

Singh, D. P., Beloy, J., McInerney, J. K. and Day, L. (2012). Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**

C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). Food chemistry, 132(3): 1161-1170.

Singh, A., Shukla, A.K. and Meghwal, P.R. (2020). Fruit Cracking in Pomegranate: Extent, Cause, and Management - A Review. Int. J. Fruit Sci., 20, S1234–S1253.

Singh,A.P., Nand, V., Badal D.S., Kumar, P. and Rawat, A.S.(2022). Effect of GA_3, Zinc Sulphate and Borax on Fruit Drop, Fruit Cracking Length of Fruit, Fruit Diameter, Weight of Fruits and Weight of Pulp, of Litchi Cultivar Dehradun. Biological Forum,14 (4): 271-275

Steel, R.., Torrei, J., Dickey, D., (1997). Principles and Procedures of Statistics A Biometrical Approach., A Biometrical Approach.

Verreynne, S. and Merwe, S. V. D. (2011). Sunburn reduction on 'Miho Wase'Satsuma mandarin. South African Fruit Journal,10 (2): 52- 55.

Wang, T., Tan, L., Chen, Z., Yang, Y., Yuan, Y., Zheng, Z., Deng, L., Zhang, M., Sun, G., He, S., Wang, J., Xiong, B. and Wang, Z. (2024). Mitigating citrus fruit cracking: the efficacy of chelated calcium or silicon foliar fertilizers in 'Okitsu no. 58' citrus fruit. Front. Plant Sci., 15:1402945.

ISSN: 2537-0804 **eISSN: 2537- 0855**