جامعة الكوت
مركز البحوث والدراسات والنشر

الزراعة الذكية

الثورة الرقمية لتحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة

الجزء الثاني

تأليف

أ.د. وليد عبد الغني كعكه
استشاري وخبير زراعي وبيئي

د. محمد زيدان خلف
خبير واستشاري / جامعة الكوت

الطبعة الاولى
٢٠٢٥م

منشورات

مركز البحوث والدراسات والنشر

جامعة الكوت

٦٣١ / ٥٨٣

ك ٦٨٩ كعكه، وليد عبد الغني.

الزراعة الذكية - الثورة الرقمية لتحقيق الامـــن الغـــذائي/ وليد عبد الغني كعكه، محمـد زيـــدان خلف. - ط١. مطبعة جامعة الكوت، ٢٠٢٥.

ج٢(٤٣٨ ص) ؛ ٢٤ سم

١. الزراعة - تقنيات حديثة أ. خلف، محمد زيدان (م.م.)

ب. العنوان

رقم الايداع

٢٠٢٥ /٤٦١٦

المكتبة الوطنية/الفهرسة اثناء النشر

رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد

٤٦١٦ لسنة ٢٠٢٥ م

الرقم الدولي: ISBN: 978-9922-726-55-7

ملاحظة

مركز البحوث والدراسات والنشر في جامعة الكوت
غير مسؤول عن الافكار والرؤى التي يتضمنها الكتاب
والمسؤول عن ذلك الكاتب او الباحث فقط.

University of Kut Printing Press

مطبعة جامعة الكوت

الفهرس

المحور الخامس: الزراعة الذكية والأمن الغذائي 11
الفصل 27 - الزراعة الذكية ودورها في تحقيق الأمن الغذائي 13
المحتويات 13
1. المقدمة 13
2. مفهوم الأمن الغذائي وأبعاده 15
3. العلاقة بين التكنولوجيا والإنتاجية الزراعية 16
4. تحسين كفاءة استخدام الموارد عبر الزراعة الذكية 18
5. دور نظم الإنذار المبكر في إدارة الأزمات الغذائية 19
6. الزراعة الذكية في مواجهة التقلبات الإنتاجية 20
7. التحديات المتعلقة بتبني التقنيات في المناطق الفقيرة 22
8. الخاتمة 24
9. المراجع 25
الفصل 28 - تعزيز الإنتاج المحلي وتخفيض الاعتماد على الاستيراد 27
المحتويات 27
1. المقدمة 27
2. واقع الاعتماد على الواردات الغذائية 28
3. إمكانيات الزراعة الذكية في دعم الإنتاج الوطني 29
4. أمثلة ناجحة من دول قللت الاستيراد بالتكنولوجيا 31
5. دور الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية 32
6. تعزيز سلاسل القيمة المحلية 34
7. التحديات اللوجستية والبنية التحتية 35
8. الخاتمة 37
9. المراجع 37
الفصل 29 - الأمن الغذائي في المناطق الهشة والريفية 41
المحتويات 41
1. المقدمة 41
2. سمات المناطق الهشة والريفية 42
3. التحديات الزراعية في المناطق الهشة والريفية 43
4. تطبيقات منخفضة الكلفة في الزراعة الذكية 44
5. تمكين المجتمعات الريفية من خلال التعليم الرقمي 46
6. الشراكات المجتمعية والابتكار المحلي 47
7. تجارب دولية ناجحة 49
8. الخاتمة 53
9. المراجع 53

الفصل 30 - دور الزراعة الذكية في مواجهة أزمات الغذاء المستقبلية 57
المحتويات 57
1. المقدمة 57
2. سيناريوهات مستقبلية لأزمات الغذاء 58
3. الزراعة الرقمية كأداة للتنبؤ والاستعداد 59
4. الزراعة الحضرية وتقنيات الزراعة الرأسية 60
5. الأمن الغذائي في ظل تغير المناخ والكوارث 62
6. حلول تقنية للحد من فقد الغذاء والهدر 64
7. استراتيجيات وطنية وإقليمية مقترحة 67
8. الخاتمة 68
9. المراجع 69
الفصل 31 - السياسات الزراعية الذكية ودعم الأمن الغذائي 71
المحتويات 71
1. المقدمة 71
2. الإطار السياسي والتنظيمي للزراعة الذكية 72
3. أدوات السياسة لتعزيز الابتكار الزراعي 73
4. تمويل الزراعة الذكية 75
5. التشريعات الخاصة بحماية البيانات والأمن السيبراني 77
6. الشراكات والتعاون الإقليمي والدولي 79
7. التحديات والفرص في تطبيق السياسات الزراعية الذكية 80
8. دراسات حالة 83
9. الخاتمة 84
10. المراجع 84

المحور السادس: الذكاء الاصطناعي والتقنيات الدقيقة في الزراعة 87

الفصل 32 - الزراعة الدقيقة: المفهوم والتقنيات 89
المحتويات 89
1. المقدمة 89
2. تعريف الزراعة الدقيقة ومبادئها الأساسية 90
3. أدوات وتقنيات الزراعة الدقيقة 91
4. جمع البيانات وتحليلها في الزراعة الدقيقة 95
5. تطبيقات الزراعة الدقيقة في تحسين استخدام المياه والأسمدة 100
6. تأثير الزراعة الدقيقة على جودة المحاصيل والإنتاجية 102
7. تحديات تنفيذ الزراعة الدقيقة في البيئات المختلفة 103
8. استراتيجيات تجاوز تحديات الزراعة الدقيقة 106
9. الخاتمة 107

10. المراجع 108
الفصل 33 - الذكاء الاصطناعي في الزراعة: الفرص والتحديات 111
المحتويات 111
1. المقدمة 111
2. تطبيقات الذكاء الاصطناعي 112
3. تقنيات التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر في الزراعة 113
4. التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة 116
5. التحديات التقنية والأخلاقية والاجتماعية في تبني الذكاء الاصطناعي 119
6. المستقبل المحتمل للذكاء الاصطناعي في دعم الزراعة المستدامة 122
7. الخاتمة 123
8. المراجع 124
الفصل 34 - ثورة الحقول الذكية: تطبيقات التكنولوجيا المتقدمة في الزراعة 127
المحتويات 127
1. المقدمة 127
2. مفهوم الحقول الذكية وأهميتها 128
3. استخدام الروبوتات الزراعية في الزراعة الذكية 129
4. نظم الري الذكي وأتمتة المزارع 134
5. تقنيات المراقبة البيئية والتحكم الذاتي في الحقول 139
6. إنترنت الأشياء وأثره على إدارة الحقول 142
7. دراسات حالة ناجحة لتطبيق الحقول الذكية 145
8. الخاتمة 151
9. المراجع 151
الفصل 35 - استخدام الطائرات دون طيار والرؤية الحاسوبية في الزراعة 153
المحتويات 153
1. المقدمة 153
2. أنواع الطائرات بدون طيار المستخدمة في الزراعة 155
3. مهام الطائرات بدون طيار: المراقبة، الرش، التحليل الطيفي 157
4. تقنيات الرؤية الحاسوبية واستخدامها في تحليل صحة المحاصيل 158
5. دمج بيانات الطائرات بدون طيار مع نظم المعلومات الجغرافية(GIS) 160
6. التحديات التنظيمية والتقنية لاستخدام الطائرات بدون طيار 162
7. أمثلة وتطبيقات عملية في مزارع حقيقية 165
8. الخاتمة 166
9. المراجع 167

المحور السابع: الاقتصاد الريفي والاستثمار الزراعي الذكي..... 169
الفصل 36 - الزراعة الذكية: خيار استراتيجي للتنمية الريفية..... 171

المحتويات 171
1. المقدمة 171
2. دور الزراعة الذكية في التنمية الريفية 173
3. الزراعة الذكية وفرص تحسين دخل الأسر الريفية 175
4. الزراعة الذكية وتحسين فرص العمل في المناطق الريفية 178
5. الدعم الحكومي والمؤسساتي للتنمية الريفية الذكية 180
6. دراسات حالة لمشاريع تنمية ريفية قائمة على الزراعة الذكية 182
7. التحديات في دمج الزراعة الذكية مع المجتمعات الريفية التقليدية 184
8. الخاتمة 187
9. المراجع 189
الفصل 37 - الزراعة الذكية كأداة للنمو الاقتصادي وتوليد الفرص 191
المحتويات 191
1. المقدمة 191
2. الزراعة الذكية كمحرك للنمو الاقتصادي الوطني 193
3. خلق فرص عمل جديدة من خلال التكنولوجيا الزراعية 195
4. دعم ريادة الأعمال والابتكار في القطاع الزراعي 197
5. الشراكات بين القطاعين العام والخاص للاستثمار الزراعي الذكي 199
6. دور التمويل والاستثمار في تسريع تبني الزراعة الذكية 201
7. تحديات وحلول لتعزيز الاستثمار في الزراعة الذكية 204
8. الخاتمة 208
9. المراجع 209
الفصل 38 - استثمار المستقبل: الزراعة الذكية وأمن الغذاء العالمي 211
المحتويات 211
1. المقدمة 211
2. أهمية الاستثمار الزراعي الذكي على مستوى العالم 212
3. تأثير الزراعة الذكية على الأمن الغذائي العالمي 214
4. تحديات الأمن الغذائي العالمي 217
5. دور الزراعة الذكية في تحقيق الأمن الغذائي 220
6. الاتجاهات العالمية في الاستثمار الزراعي الذكي 223
7. الشراكات الدولية وأثرها على الأمن الغذائي 225
8. الخاتمة 227
9. المراجع 228
الفصل 39 - نماذج ناجحة للاستثمار في الزراعة الذكية 231
المحتويات 231
1. المقدمة 231

2. استثمارات في الزراعة الدقيقة والروبوتات في دول متقدمة 233
3. النماذج الاستثمارية الناجحة من الدول النامية 234
4. دور التكنولوجيا منخفضة التكلفة 235
5. دراسات حالة لمشاريع مبتكرة 245
6. 6. التحديات التي واجهت هذه النماذج وكيف تم التعامل معها 253
7. 7. الدروس المستفادة والتوصيات للمستثمرين 254
8. 8. الخاتمة 256
9. المراجع 257
الفصل 40 - الزراعة الذكية: دراسات حالة وتطبيقات ميدانية 259
المحتويات 259
1. المقدمة 259
2. دراسة حالة 1 – مشروع زراعة ذكية في دولة متقدمة 260
3. دراسة حالة 2 – تطبيق الزراعة الذكية في دولة نامية 261
4. الابتكار والتكنولوجيا كوسيلة لتقليل الاستيراد: دراسات حالة من بلدان مختارة 262
5. التطبيقات العملية وتقاطعها مع الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية 265
6. التوصيات لممارسي الزراعة وصناع القرار 271
7. الخاتمة 275
8. المراجع 276
الفصل 41 - استراتيجيات تبني الزراعة الذكية في الدول النامية 279
المحتويات 279
1. المقدمة 279
2. تحليل الوضع الراهن في الدول النامية 280
3. استراتيجيات ناجحة لتعزيز تبني التكنولوجيا 282
4. دور التعاون الدولي والتمويل 285
5. بناء القدرات وتمكين المجتمعات الريفية 287
6. خطط واستراتيجيات مستقبلية للتحول الرقمي الزراعي في الدول النامية 291
7. أهم النقاط وتوصيات للمستقبل 296
8. الخاتمة 299
9. المراجع 300
الفصل 42 - التكنولوجيا والابتكار في المناهج الزراعية الحديثة 303
المحتويات 303
1. المقدمة 303
2. دور التعليم في نشر الثقافة التقنية 304
3. مكونات المناهج الزراعية الحديثة 306
4. أدوات ووسائل التعليم المبتكرة 309

5. دمج البحث العلمي والتقني في المناهج 312
6. التحديات والفرص في تطوير المناهج 314
7. توصيات لتحديث المناهج الزراعية المستقبلية 317
8. الخاتمة 320
9. المراجع 322
الفصل 43 - تنمية المهارات الرقمية للمزارعين والمهندسين الزراعيين 325
المحتويات 325
1. المقدمة 325
2. المهارات الرقمية الأساسية والضرورية 326
3. برامج التدريب والتطوير المهني 328
4. تحديات تطوير المهارات الرقمية 332
5. نماذج ناجحة في تنمية المهارات الرقمية 337
6. 6. توصيات لتسريع اكتساب المهارات الرقمية 343
7. 7. الخاتمة 347
8. 8. المراجع 348
المحور الثامن: التحديات، السياسات، ومستقبل الزراعة الذكية 351
الفصل 44 - التحديات في تبني الزراعة الذكية 353
المحتويات 353
1. المقدمة 353
2. التحديات التقنية واللوجستية 354
3. فجوة المعرفة والتدريب بين المزارعين 355
4. محدودية البنية التحتية الرقمية 356
5. التكاليف الاقتصادية والاستثمارية 357
6. مقترحات لتخفيف العبء الاستثماري 359
7. التحديات الاجتماعية والثقافية 361
8. التفاوت بين الدول النامية والمتقدمة في تبني الزراعة الذكية 365
9. الخاتمة 368
10. المراجع 370
الفصل 45 - السياسات الداعمة للتحول الرقمي الزراعي 371
المحتويات 371
1. المقدمة 371
2. دور السياسات الزراعية في تبني التكنولوجيا 372
3. التشريعات واللوائح المنظمة للتقنيات الحديثة 373
4. دعم الابتكار وريادة الأعمال في المجال الزراعي 376
5. تعزيز الشراكة بين القطاعين العام والخاص 379

6. أهمية البيانات الزراعية المفتوحة 382
7. أمثلة من سياسات ناجحة عالمياً وعربياً 386
8. التوصيات للسياسات المستقبلية 389
9. الخاتمة 392
10. المراجع 393
الفصل 46 - التعليم والتدريب لبناء القدرات في الزراعة الذكية 395
المحتويات 395
1. المقدمة 395
2. أهمية بناء القدرات البشرية 396
3. المناهج التعليمية والتدريبية الحديثة 398
4. أدوار الجامعات ومراكز البحوث 400
5. التعليم الإلكتروني والمنصات الرقمية الزراعية 402
6. برامج تدريبية موجهة للمزارعين والمهنيين 404
7. قصص نجاح في نشر المعرفة الرقمية 407
8. استراتيجيات مقترحة لتوسيع نطاق التدريب في الزراعة الذكية 409
9. الخاتمة 412
10. المراجع 412
الفصل 47 - مستقبل الزراعة الذكية: رؤى وتوقعات..... 415
المحتويات 415
1. المقدمة 415
2. الاتجاهات المستقبلية في التقنيات الزراعية 417
3. دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الزراعة 418
4. الزراعة الفضائية وزراعة الكواكب 419
5. التكامل بين الإنسان والآلة في الإنتاج الزراعي 420
6. الزراعة التنبؤية وصناعة القرار الذكي 422
7. تحديات أخلاقية واجتماعية مستقبلية 424
8. خريطة طريق نحو الزراعة الذكية 2050 426
9. 9. الخاتمة 427
10. المراجع 428

الخاتمة 433

المحور الخامس: الزراعة الذكية والأمن الغذائي

الفصل 27 - الزراعة الذكية ودورها في تحقيق الأمن الغذائي

المحتويات

1. المقدمة
2. مفهوم الأمن الغذائي وأبعاده
3. العلاقة بين التكنولوجيا والإنتاجية الزراعية
4. تحسين كفاءة استخدام الموارد عبر الزراعة الذكية
5. دور نظم الإنذار المبكر في إدارة الأزمات الغذائية
6. الزراعة الذكية في مواجهة التقلبات الإنتاجية
7. التحديات المتعلقة بتبني التقنيات في المناطق الفقيرة
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

يمثل الأمن الغذائي في القرن الحادي والعشرين أحد أبرز التحديات العالمية وأكثرها تعقيداً، في ظلّ التزايد السكاني المتسارع، والتغيرات المناخية، والضغوط الاقتصادية والاجتماعية. وتشير التقديرات إلى أن عدد سكان العالم سيتجاوز 9.7 مليار نسمة بحلول عام 2050، مما يتطلب زيادة إنتاج الغذاء بنسبة تصل إلى 70% مقارنةً بالمستويات الحالية (FAO, 2023). في هذا السياق، تبرز الحاجة إلى أنظمة زراعية أكثر مرونة واستدامة وذكاءً قادرة على تلبية الطلب المتزايد دون استنزاف الموارد أو الإضرار بالنظم البيئية.

تُعد الزراعة الذكية، بما تحمله من مفاهيم وتقنيات متقدمة مثل الزراعة الدقيقة، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات الضخمة، مقاربة استراتيجية لإعادة تشكيل القطاع الزراعي ليصبح أكثر كفاءة ومرونة. وتكمن قوتها في قدرتها على الجمع بين أدوات التكنولوجيا الحديثة والممارسات الزراعية المستدامة، ما يجعلها ركيزة

أساسية لتحقيق الأمن الغذائي، خصوصاً في البيئات الهشة والمناطق المعرضة للأزمات.

واقع الزراعة الذكية مناخياً وأثرها في مواجهة تغير المناخ وتحقيق الأمن الغذائي (المركز الديمقراطي العربي، 2025)

تتناول هذه الدراسة بشكل موسع العلاقة الديناميكية بين الزراعة الذكية وأمن الغذاء، من خلال استكشاف المفاهيم المحورية، وتحليل دور التكنولوجيا في تعزيز الإنتاجية، وتحسين استخدام الموارد، وإدارة المخاطر، ومجابهة التقلبات المناخية. كما تسلط الضوء على التحديات المرتبطة بتبني هذه التقنيات، لا سيما في المناطق الفقيرة، وتقترح سبلاً لتجاوزها.

إن فهم دور الزراعة الذكية في تعزيز الأمن الغذائي لا يقتصر على البعد التقني فحسب، بل يتطلب أيضاً تحليل الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية والسياسية التي تؤثر في مدى تبني هذه التقنيات ونجاحها على المدى البعيد. من هنا، يُعد هذا الفصل مساهمة أكاديمية تهدف إلى إضاءة المسارات الممكنة نحو مستقبل غذائي أكثر أماناً واستدامة.

2. مفهوم الأمن الغذائي وأبعاده

يتجاوز مفهوم الأمن الغذائي مجرد توافر الغذاء في الأسواق، بل يرتبط بجملة من الأبعاد المتداخلة التي تضمن حياة كريمة ومستدامة للأفراد والمجتمعات. ووفقاً لتعريف منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، يتحقق الأمن الغذائي عندما "يكون لجميع الناس، في جميع الأوقات، الإمكانية المادية والاجتماعية والاقتصادية للحصول على غذاء كافٍ وآمن ومغذٍ لتلبية احتياجاتهم الغذائية وتفضيلاتهم الغذائية من أجل حياة نشطة وصحية"(FAO, 2023).

ارتباط الأمن الغذائي بحياة مستدامة للأفراد والمجتمعات (فلاحة، 2022).

ويتمثل الأمن الغذائي في أربعة أبعاد أساسية متشابكة:

- **أولاً: التوافر الغذائي (Food Availability):** ويعني وجود كميات كافية من الغذاء بجودة مناسبة من خلال الإنتاج المحلي أو الواردات أو المساعدات الغذائية. ويُقاس هذا البُعد بإنتاجية القطاع الزراعي، وسلامة سلاسل الإمداد، وقدرة السوق على تلبية احتياجات السكان.

- **ثانياً: إمكانية الوصول إلى الغذاء (Food Access):** أي قدرة الأفراد على تأمين الغذاء المتوفر من خلال الدخل أو شبكات الحماية الاجتماعية أو برامج الدعم. وتشير التقديرات إلى أن أكثر من 2.3 مليار شخص حول العالم في 2022 لم يتمكنوا من الحصول على غذاء صحي على نحو مستدام، وهو ما يبرز أهمية هذا البعد.(FAO, 2023)
- **ثالثاً: الاستخدام الغذائي (Food Utilization):** ويرتبط بقدرة الجسم على الاستفادة من المغذيات الموجودة في الطعام، ويعتمد على جودة الغذاء، ونمط التغذية، ومستوى الصحة العامة، ومدى توافر المياه والصرف الصحي. وتعد هذه الركيزة حيوية في حالات سوء التغذية المزمن والطفولي.
- **رابعاً: الثبات والاستقرار (Stability):** وهو بُعد يعكس قدرة النظام الغذائي على مقاومة الصدمات مثل الكوارث الطبيعية، والتغيرات المناخية، والصراعات، وتقلبات الأسعار. يُبرز تقرير Hegadorn & Benton (2024) أن النظم الغذائية غير المستقرة هي الأكثر عرضة للانهيار في ظل الاضطرابات المناخية والاقتصادية، كما حدث في الأزمة الغذائية العالمية المرتبطة بجائحة كوفيد-19 والحرب في أوكرانيا.

وتُجمع أدبيات الأمن الغذائي الحديثة على أن غياب أي من هذه الأبعاد يُفضي إلى اختلال شامل في توازن النظام الغذائي، ويهدد الاستقرار الاجتماعي والسياسي للدول، خاصة في البيئات الهشة والنامية (HLPE, 2020). وهنا تبرز الحاجة إلى حلول تكنولوجية ذكية، مثل الزراعة الدقيقة والممارسات الزراعية المستدامة، لردم الفجوات وتعزيز تكامل الأبعاد الأربعة.

3. العلاقة بين التكنولوجيا والإنتاجية الزراعية

شهد القطاع الزراعي تحوّلاً جذرياً في العقود الأخيرة بفضل التقدم التكنولوجي، لا سيما في مجالات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الضخمة. وتعد

الإنتاجية الزراعية أحد أهم المؤشرات المرتبطة بالأمن الغذائي، إذ تشير إلى كمية الغذاء المنتجة لكل وحدة من الموارد (مساحة، مياه، وقت، مدخلات).

تشير دراسات حديثة إلى أن اعتماد تقنيات الزراعة الذكية أدى إلى تحسينات ملموسة في الغلال الزراعية ونوعية المنتجات. على سبيل المثال، أظهرت دراسة منهجية أجراها Ahmad *et al*. (2024) أن استخدام أجهزة استشعار التربة والمناخ في 13 دولة أدى إلى زيادة غلّات القمح بنسبة تراوحت بين 15% إلى 35%، مقارنةً بالزراعة التقليدية. وخلصت الدراسة إلى أن تقنيات الزراعة الدقيقة تسهم في تحسين توقيت الري والتسميد ومكافحة الآفات، ما ينعكس مباشرة على المحصول.

وفي السياق ذاته، أظهر تقرير GAO (2023) أن استخدام أنظمة التوجيه الآلي GPS في الجرارات الزراعية أدى إلى تقليل الفاقد في البذر والري بنسبة تصل إلى 10%، وزيادة الكفاءة التشغيلية بنسبة 15%. كما أن منصات الطائرات بدون طيار (Drones) ساهمت في الكشف المبكر عن الأمراض النباتية في مساحات واسعة، ما يوفّر الوقت والتكاليف.

أما على مستوى الاقتصاد الكلي، فقد بيّن تقرير صادر عن معهد Brookings أن الاستثمار في البنية التحتية الرقمية الزراعية قد يضاعف الناتج المحلي الزراعي لبعض البلدان الإفريقية بنسبة تصل إلى 60% بحلول عام 2030 إذا ما اقترن بسياسات احتواء للفاقد وتسهيلات الائتمان الريفي (Brookings, 2024).

غير أن هذا الارتباط الإيجابي بين التكنولوجيا والإنتاجية لا يتوقف عند المدخلات فحسب، بل يشمل أيضاً تقنيات ما بعد الحصاد، مثل سلاسل التبريد الذكية، التي قلّلت الفاقد الغذائي بنسبة تصل إلى 40% في مشاريع نفذتها منظمة الأغذية العالمية في أوغندا والهند(FAO, 2023) .

4. تحسين كفاءة استخدام الموارد عبر الزراعة الذكية

تُعد الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً لإدارة الموارد الطبيعية المحدودة، وعلى رأسها المياه والطاقة والتربة، بطرق أكثر كفاءة وعدالة. ففي ظل الضغوط المتزايدة على هذه الموارد بسبب تغير المناخ وزيادة الطلب الغذائي، أصبح من الضروري إعادة التفكير في كيفية إدارتها لتحقيق الاستدامة.

المياه تمثل التحدي الأكبر، حيث يُقدّر أن الزراعة تستهلك نحو 70% من المياه العذبة عالمياً .(FAO, 2024) وقد أسهمت تقنيات الزراعة الذكية، مثل أنظمة الري بالتنقيط القائمة على الاستشعار (Sensor-based Drip Irrigation)، في تقليل الفاقد المائي إلى أدنى مستوياته. ففي تجربة نفّذها Colizzi *et al*. (2025)، تم دمج خوارزميات تعلم عميق في منصة تحكم بالري، ما أتاح تقنين الماء بدقة عالية وأدى إلى خفض الاستهلاك بنسبة 30% وزيادة إنتاجية الطماطم بنسبة 18.%

أما في مجال إدارة الأسمدة والمدخلات الكيميائية، فقد وفّرت تقنيات الزراعة الدقيقة إمكانيات كبيرة لتحديد الاحتياجات الدقيقة للنبات على مستوى كل متر مربع، من خلال تحليل بيانات الطيف الضوئي والتربة. ويساعد ذلك على تقليل الاستعمال المفرط للمخصّبات الذي يؤدي إلى تدهور التربة وتلوّث المياه. وتشير دراسة Haileslassie *et al*. (2023) إلى أن هذه التقنيات رفعت كفاءة استخدام النيتروجين إلى 80% في تجارب أجريت على الذرة الرفيعة في إثيوبيا وكينيا.

من جهة أخرى، فإن استخدام الأقمار الصناعية وتحليل الصور الطيفية يتيح للمزارعين متابعة حالة محاصيلهم في الزمن الحقيقي، ورصد بقع الجفاف أو تفشي الآفات بدقة. وقد أدّى ذلك في كثير من الحالات إلى اتخاذ قرارات زراعية أكثر ذكاءً ومرونة، مما يرفع الكفاءة الشاملة للنظام الزراعي.

ولم تُهمل الأبحاث الحديثة بعداً آخر بالغ الأهمية :الكفاءة الطاقية .إذ تُستخدم البيانات من أجهزة إنترنت الأشياء لجدولة عمليات الحراثة والرش والحصاد بما يوفّر الوقود

والجهد. وقد كشفت دراسة في البرازيل أن استخدام أنظمة تحكم ذكية في الآلات الزراعية أدى إلى خفض استهلاك الوقود بنسبة 20% وتقليل انبعاثات الكربون بما يعادل 4.2 طن لكل 100 هكتار مزروعة (IFPRI, 2024).

5. دور نظم الإنذار المبكر في إدارة الأزمات الغذائية

تلعب نظم الإنذار المبكر (Early Warning Systems - EWS) دوراً حاسماً في الحد من تأثير الأزمات الغذائية والكوارث المرتبطة بالمناخ أو النزاعات على الأمن الغذائي، وذلك من خلال الرصد المستمر للمؤشرات البيئية والزراعية والاقتصادية والاجتماعية، وتنبيه الجهات المعنية في الوقت المناسب للتدخل.

تُعد نظم الإنذار المبكر متعددة المصادر، إذ تجمع بين صور الأقمار الصناعية، وأجهزة الاستشعار الأرضية، والنماذج التنبؤية، بالإضافة إلى البيانات الاقتصادية والاجتماعية. ومن النماذج المتقدمة في هذا السياق نظام FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network) الذي تُديره الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، ويُغطي أكثر من 30 دولة، ويقدم تحليلات دورية عن حالة الأمن الغذائي بناءً على تقييم شامل لعدة متغيرات منها: الغلال المتوقعة، وسلاسل التوريد، وأسعار الأغذية، والصراعات(USAID, 2023) .

وقد أثبتت نظم الإنذار المبكر فعاليتها في تجنيب بعض المناطق الكوارث الغذائية الحادة. على سبيل المثال، أظهر تحليل لبيانات نظام FEWS NET في منطقة القرن الإفريقي أن التحذير المبكر من موجة جفاف في 2022 ساعد في تفعيل تدخلات إنسانية مبكرة خففت من آثار الأزمة على أكثر من 8 ملايين نسمة (FSIN & GNAFC, 2023).

من جهة أخرى، أدّى دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في هذه النظم إلى رفع دقتها وسرعتها في تحليل البيانات والتنبؤ. فقد طوّر باحثون في جامعة Wageningenنظاماً يعتمد على بيانات الأقمار الصناعية وخوارزميات الشبكات

العصبية للتنبؤ بتدهور المحاصيل في إفريقيا جنوب الصحراء قبل وقوعه بـ4 إلى 6 أسابيع(Hameed *et al*., 2023) .

وإلى جانب الجانب التقني، فإن نجاح نظم الإنذار المبكر يعتمد على البنية التحتية للمعلومات، والتواصل مع المجتمعات، والقدرة المؤسسية على الاستجابة. ومن الأمثلة الناجحة في هذا الصدد، برنامج الإنذار المبكر الزراعي في الهند "Kisan Suvidha"، الذي يُرسل تنبيهات مبكرة للمزارعين حول الأحوال الجوية والآفات عبر تطبيقات الهواتف الذكية والرسائل النصية، ما ساعد في خفض الخسائر الإنتاجية بنسبة 12% في بعض الولايات الزراعية (Indian Council of Agricultural Research, 2023).

6. الزراعة الذكية في مواجهة التقلبات الإنتاجية

تمثل التقلبات في الإنتاج الزراعي تحدياً استراتيجياً بالغ الأهمية أمام تحقيق الأمن الغذائي، لا سيما في ظل التغيرات المناخية المتسارعة، وشح الموارد الطبيعية، وتزايد الكوارث البيئية غير المنتظمة. وفي هذا السياق، برزت الزراعة الذكية كإطار متكامل يعتمد على أدوات ووسائل تقنية متطورة تمكن من تقليل أثر هذه التقلبات، من خلال دعم اتخاذ القرار الزراعي بصورة دقيقة وفعالة، مما يضمن استقراراً أفضل للإنتاج الزراعي.

تشير دراسة طويلة الأمد أجريت في مزارع الأرز بفيتنام إلى الفرق الكبير الذي تطرحه الزراعة الذكية مقارنة بالممارسات التقليدية. حيث أظهرت النتائج أن المزارعين الذين استفادوا من تقنيات مثل أجهزة الاستشعار التي تقيس خصائص التربة، ومحطات الطقس الرقمية، وأنظمة التحليل الرقمي للتربة، تمكنوا من الحفاظ على استقرار إنتاجهم بنسبة تجاوزت 94% حتى خلال مواسم الجفاف غير الاعتيادية، في حين عانى المزارعون التقليديون من تذبذب كبير في الإنتاج (Nguyen *et al*., 2024). يعكس ذلك قدرة

هذه التقنيات على تمكين المزارعين من اتخاذ قرارات زراعية مبنية على بيانات دقيقة، والتكيف السريع مع التغيرات البيئية.

تقدم الزراعة الذكية وسائل تكيف متنوعة ومتكاملة يمكن تلخيص أهمها في الآتي:

- **التنبؤ المبكر بالتغيرات المناخية:** تستخدم نماذج متقدمة لتحليل البيانات المناخية وتقديم توقعات دقيقة تساعد المزارعين في تحديد المواعيد الأمثل للزراعة والجني، مما يقلل من مخاطرة التأخيرات أو الأضرار الناتجة عن التقلبات في الطقس.
- **الاستجابة السريعة لتفشي الآفات:** تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل صور الأقمار الصناعية وبيانات المستشعرات، بالإضافة إلى استخدام طائرات الدرون المزودة بكاميرات حرارية وأجهزة رصد متقدمة، مما يمكن من التشخيص المبكر وفحص المناطق المتأثرة بدقة، وتطبيق المعالجة الموضعية بسُرعة وفعالية، ومن ثم تقليل الخسائر الناتجة عن الأوبئة الزراعية.
- **الزراعة المحمية الذكية (Smart Greenhouses):** توفر هذه الأنظمة بيئة زراعية مضبوطة من حيث درجة الحرارة، والرطوبة، والإضاءة، وكمية المياه، مما يمكن من إنتاج محاصيل ثابتة ومستقرة على مدار العام، خصوصاً للمحاصيل الحساسة التي تتأثر بشدة بالعوامل الخارجية، مما يدعم تحقيق إنتاجية مستقرة في مواجهة شتى ظروف المناخ المتقلبة.

علاوة على ذلك، تؤكد تقارير معهد السياسات الزراعية الدولية (IFPRI, 2023) أن إدماج تقنيات الزراعة الذكية في المناطق الجافة والمعرضة للجفاف في جنوب آسيا ساعد بشكل ملحوظ على رفع الاستقرار الإنتاجي لمحاصيل الحبوب بنسبة بلغت 28% مقارنة بالمزارع التي لم تعتمد هذه التقنيات. وهذا يظهر مدى قيمة التقنيات الذكية في تعزيز مرونة النظم الزراعية وتقليل هشاشتها أمام التغيرات المناخية.

كما تلعب تطبيقات الهواتف الذكية دوراً محورياً في تمكين صغار المزارعين من الاستفادة العملية من الزراعة الذكية، حيث توفر هذه التطبيقات معلومات آنية عن التنبؤات الجوية، وتوصيات تخص الري والتسميد، وإدارة الآفات، مما يساعد في تحسين توقيت الإجراءات الزراعية والحد من الخسائر المحتملة. تُسهم هذه الأدوات في تقليل الحاجز التقني والمعرفي أمام المزارعين محدودي الموارد، وتضاعف فرصهم في تحقيق إنتاج ناجح ومستقر.

7. التحديات المتعلقة بتبني التقنيات في المناطق الفقيرة

يبقى تطبيق تقنيات الزراعة الذكية في المناطق الريفية الفقيرة تحدياً معقداً يتطلب تفهماً عميقاً لمجموعة من العوائق المتشابكة، والتي يمكن تصنيفها كما يلي:

- تحديات البنية التحتية

تعتبر البنية التحتية الرقمية والأساسية من الركائز الحيوية لنجاح أي مشروع زراعي ذكي. في العديد من المناطق الريفية الفقيرة، تعاني شبكات الإنترنت من ضعف التغطية أو انعدامها، كما تُعاني من عدم الاستقرار في مصادر الكهرباء، مما يعيق تشغيل الحساسات أو الأجهزة الذكية باستمرار. بالإضافة إلى ذلك، يغيب وجود المرافق الحيوية مثل مختبرات تحليل التربة ومراكز دعم البيانات التي تعدّ مصادر أساسية لجمع وتحليل المعلومات الزراعية الدقيقة، مما يحول دون استفادة المزارعين من إمكانيات الزراعة الرقمية بشكل فعّال.

- الحواجز الاقتصادية

تُعد التكلفة المرتفعة للمعدات الذكية، مثل أجهزة الاستشعار، والطائرات بدون طيار، وأنظمة الري الذكي، من أبرز العوائق أمام صغار المزارعين في المناطق الفقيرة. قلة توفر حلول تمويلية مرنة وقروض ميسرة تجعل الاستثمار في هذه التكنولوجيا بعيد المنال للكثيرين. دراسة حديثة أجراها Khatri & Singh (2023)في نيبال أظهرت أن 64% من المزارعين لا يستطيعون تحمل كلفة

أجهزة الاستشعار الزراعية بالرغم من إدراكهم لفوائدها المحتملة، مما يسلط الضوء على الفجوة الكبيرة بين الوعي والحقيقة الاقتصادية.

- **نقص المعرفة والمهارات**

حتى مع توفر التقنية، تظل قلة التدريب الفني معياراً حاسماً يحد من تبني التقنيات الحديثة. ضعف الثقافة الرقمية وعدم إلمام المستخدمين بالتطبيقات أو الأنظمة الذكية يعيقان الاستخدام الأمثل لهذه الأدوات. استبيان أُجري في خمس دول إفريقية (CTA, 2022)أظهر أن 73% من المزارعين لم يسمعوا بمفهوم الزراعة الدقيقة، بالرغم من أن 80% منهم يمتلكون هواتف محمولة، مما يشير إلى وجود فجوة معرفية واضحة في كيفية استخدام التكنولوجيا الزراعية الحديثة.

- **الحواجز المؤسسية والسياسات**

غياب السياسات الداعمة للتحول الرقمي الزراعي، ونقص التنسيق بين القطاعات الحيوية مثل الزراعة، والتكنولوجيا، والتعليم، والتمويل يقف حجر عثرة أمام إدماج الزراعة الذكية. من جهة أخرى، أشارت تقارير البنك الدولي (World Bank, 2024)إلى أن الدول التي أقامت وحدات حكومية مخصصة للابتكار الزراعي الرقمي، مثل رواندا وكينيا، شهدت تضاعفاً في تبني تقنيات الزراعة الذكية خلال خمس سنوات فقط، مما يؤكد الدور الكبير للإرادة السياسية والتنظيمية في نجاح هذه المبادرات.

- **التحديات الثقافية والاجتماعية**

تلعب العادات والمعتقدات المحلية دوراً محورياً في تبني أو رفض التكنولوجيا الجديدة. كثيرا ما يكون هناك تردد أو تحفظ تجاه استخدام التكنولوجيا نتيجة مخاوف من التغيير أو نقص الفهم الكامل لفوائدها. كما تعاني بعض المجتمعات من هيمنة الذكور على فرص التدريب والتمويل، مما يقلل مشاركة النساء في الاستفادة من تقنيات الزراعة الذكية، وهو عامل يؤثر على تحقيق التنمية الزراعية الشاملة والمستدامة.

مقترحات لتجاوز هذه التحديات

لضمان نجاح إدخال الزراعة الذكية إلى المناطق الريفية الفقيرة، يجب تبني استراتيجيات شاملة تشاركية، تضع الإنسان في صلب عملية التحول، من خلال:

- تطوير البنية التحتية الرقمية والمحلية بتركيز خاص على تحسين الاتصال بالكهرباء والإنترنت.
- توفير حوافز مالية وقروض ميسرة لصغار المزارعين مع شمول برامج تأمين زراعي مناسبة.
- تصميم برامج تدريبية ملائمة ثقافياً ولغوياً، تستهدف رفع مستوى المهارات الرقمية والفنية لدى المزارعين، مع التركيز على إشراك المرأة ودعمها.
- صياغة سياسات وطنية متكاملة وعبر قطاعية تدعم التحول الرقمي في الزراعة، مع إنشاء وكالات أو وحدات مختصة لإدارة الابتكار الزراعي.
- إشراك المجتمعات المحلية في تصميم وتنفيذ مشاريع الزراعة الذكية لضمان قبولها وملاءمتها للاحتياجات المحلية.

8. الخاتمة

تكشف المعطيات والتحليلات الواردة في هذا الفصل عن الدور الحيوي الذي يمكن أن تؤديه الزراعة الذكية في إعادة تشكيل معادلة الأمن الغذائي في عالم مضطرب تتداخل فيه التحديات المناخية مع الضغوط السكانية والاقتصادية. لقد اتضح أن استخدام التقنيات الذكية في الزراعة لا يقتصر على زيادة الإنتاج، بل يمتد ليشمل تحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز القدرة على التنبؤ والاستجابة، وتقليل التقلبات التي تهدد استقرار سلاسل الإمداد الغذائي.

كما أن النماذج التطبيقية الناجحة حول العالم، سواء في فيتنام، أو الهند، أو دول شرق إفريقيا، تشير إلى أن تبني الزراعة الذكية يمكن أن يحدث فارقاً حقيقياً في حياة

المزارعين، وفي قدرة المجتمعات على الصمود أمام الأزمات الغذائية، متى ما توفر الإطار الداعم من سياسات، واستثمارات، وتدريب.

ومع ذلك، يبقى تبني هذه التكنولوجيا في المناطق الفقيرة محفوفاً بالصعوبات، مما يتطلب تدخلات متكاملة تتجاوز الجانب التكنولوجي لتشمل بناء القدرات، وتوفير التمويل، وتحقيق العدالة الرقمية. فبدون معالجة الفجوات البنيوية التي تعاني منها هذه المناطق، ستظل الزراعة الذكية حكراً على المناطق المتقدمة، مما يُفاقم الفجوة الغذائية عالمياً.

إن الاستثمار في الزراعة الذكية لا يُعد ترفاً، بل ضرورة استراتيجية تفرضها تحديات الحاضر واستحقاقات المستقبل. ومن هنا، فإن على الحكومات والمؤسسات الأكاديمية والمجتمع الدولي مضاعفة جهودهم لتسريع التحول الذكي في الزراعة، من أجل تحقيق هدف عالمي لطالما بدا بعيد المنال: غذاء كافٍ، آمن، ومتاح للجميع.

9. المراجع

المركز الديمقراطي العربي. 2025. واقع الزراعة الذكية مناخياً وأثرها في مواجهة تغير المناخ وتحقيق الأمن الغذائي بالمغرب. https:// democraticac.de/?p=105121

فلاحة ،أمين بشار. 2022. الأمن الغذائي..ماذا نعني به؟ ولماذا يعجز العالم عن تحقيقه؟. https://www.sahm-media.dz

Ahmad, S., Zafar, M., & Lee, S. (2024). *Smart Agriculture Technologies and their Effect on Crop Yield: A Global Perspective*. Precision Agriculture Journal, 25(2), 123–144.

Brookings Institution. (2024). *Digitizing Agriculture in Africa: Opportunities and Challenges*. Washington, DC.

Colizzi, P., Hernández, J., & Leal, D. (2025). *AI-Driven Irrigation Systems: Enhancing Water Use Efficiency in Tomato Farming*. Agricultural Systems, 198, 103413.

CTA (Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation). (2022). *Digitalisation of African Agriculture Report 2018–2019*.

FAO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. Rome: FAO.

FAO. (2024). *Water Use in Agriculture*. https://www.fao.org

FSIN & GNAFC. (2023). *Global Report on Food Crises 2023*. Food Security Information Network.

GAO (U.S. Government Accountability Office). (2023). *Precision Agriculture: Benefits and Challenges*.

Haileslassie, A., Getnet, M., & Kumar, S. (2023). *Nutrient Use Efficiency in Sub-Saharan Agriculture*. Soil and Tillage Research, 215, 105014.

Hameed, A., van der Weide, R., & Kooistra, L. (2023). *Predictive Analytics in Early Warning for Crop Failure*. Computers and Electronics in Agriculture, 202, 107314.

HLPE. (2020). *Food Security and Nutrition: Building a Global Narrative Towards 2030*. High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition.

IFPRI. (2023). *Smart Farming in South Asia: A Pathway to Resilience*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Indian Council of Agricultural Research. (2023). *Digital Tools for Agricultural Extension: The Case of Kisan Suvidha*.

Khatri, D., & Singh, R. (2023). *Barriers to Precision Agriculture in South Asia*. Journal of Rural Studies, 98, 112–126.

Nguyen, L., Do, T., & Tran, M. (2024). *Resilience Through Smart Agriculture: Case Study from Vietnam*. Climate Risk Management, 34, 100493.

USAID. (2023). *Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET): Annual Report*.

World Bank. (2024). *Digital Agriculture Transformation in East Africa*.

الفصل 28 - تعزيز الإنتاج المحلي وتخفيض الاعتماد على الاستيراد

المحتويات

1. المقدمة
2. واقع الاعتماد على الواردات الغذائية
3. إمكانيات الزراعة الذكية في دعم الإنتاج الوطني
4. أمثلة ناجحة من دول قللت الاستيراد بالتكنولوجيا
5. دور الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية
6. تعزيز سلاسل القيمة المحلية
7. التحديات اللوجستية والبنية التحتية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

في ظل التحولات العالمية المتسارعة والتحديات البيئية والاقتصادية التي تواجه القطاع الزراعي، برزت الحاجة الملحة إلى تقليل الاعتماد على الاستيراد الغذائي وتعزيز الإنتاج المحلي كأحد أهم محاور تحقيق الأمن الغذائي الوطني. فالاعتماد المفرط على واردات الغذاء يعرض الدول لمخاطر متعددة، منها تقلبات الأسعار العالمية، واضطرابات سلاسل الإمداد، وتأثيرات الأزمات الاقتصادية والسياسية، بالإضافة إلى التحديات البيئية التي تؤثر على قدرة الدول المصدرة على توفير الغذاء. في هذا السياق، جاءت الزراعة الذكية كحل مبتكر يدمج بين التقنيات الحديثة والابتكارات الرقمية لتعزيز الإنتاجية الزراعية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتطوير سلاسل القيمة الغذائية محلياً.

يعكس هذا الفصل أهمية الزراعة الذكية في تحقيق الاكتفاء الغذائي الوطني، من خلال استعراض واقع الاعتماد على الواردات، وإمكانيات التكنولوجيا الزراعية الحديثة في

دعم الإنتاج المحلي، بالإضافة إلى دراسة نماذج دولية ناجحة وسياسات الحوكمة الرقمية التي تساند هذا التحول. كما سيتم مناقشة التحديات اللوجستية والبنية التحتية التي قد تعيق التقدم في هذا المجال، مع تقديم رؤى مستندة إلى تجارب واقعية وأبحاث حديثة تدعم أهمية تبني الاستراتيجيات الذكية لضمان أمن غذائي مستدام.

2. واقع الاعتماد على الواردات الغذائية

شهدت العقود الماضية ازدياداً كبيراً في اعتماد العديد من الدول، خاصة في العالم العربي والدول النامية، على الواردات لتلبية احتياجاتها الغذائية الأساسية. ويُعزى هذا الاعتماد إلى عدة عوامل متداخلة، منها: محدودية الموارد المائية، ضعف البنية التحتية الزراعية، تدهور الأراضي، وأحياناً سوء التخطيط الزراعي. فقد أشارت تقارير منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2023) إلى أن الدول العربية تستورد ما يزيد على 60% من احتياجاتها من الحبوب، بما في ذلك القمح، وهو محصول استراتيجي في الأمن الغذائي.

هذا الاعتماد يُعرّض الدول لمخاطر السوق العالمية، مثل تقلبات الأسعار، أو انقطاعات سلاسل الإمداد كما حدث أثناء جائحة كوفيد-19، أو تداعيات النزاعات مثل الحرب في أوكرانيا التي أثرت على تصدير القمح من منطقة البحر الأسود (World Bank, 2023). كما أن ارتفاع أسعار النقل والتأمين والتغيرات المناخية في مناطق الإنتاج الكبرى تؤثر بشكل مباشر على فاتورة الاستيراد.

التجارة البينية العربية لضمان الأمن الغذائي (راجعي، 2024).

3. إمكانيات الزراعة الذكية في دعم الإنتاج الوطني

تمثل الزراعة الذكية مستقبل الزراعة المستدامة في العديد من الدول، خصوصاً تلك التي تواجه تحديات كبيرة على صعيد الأمن الغذائي بسبب شح الموارد الطبيعية والتغيرات المناخية المتسارعة. تقدم الزراعة الذكية منظومة متكاملة من التقنيات والأدوات التي تساهم في مضاعفة كفاءة الأنظمة الزراعية المحلية، مما ينعكس إيجاباً على زيادة الإنتاج الوطني وتقليل الاعتماد على الواردات الغذائية.

- **الزراعة الدقيقة**

تعتمد الزراعة الدقيقة على استخدام بيانات الأقمار الصناعية، وأجهزة الاستشعار المتطورة في الحقول الزراعية لجمع معلومات دقيقة حول حالة التربة، ورطوبة المياه، ومستويات العناصر الغذائية، بالإضافة إلى صحة النبات بشكل مستمر. هذه البيانات تتيح للمزارعين تحديد الاحتياجات الدقيقة لمحاصيلهم من مياه وأسمدة بشكل موجه يدعم زيادة الغلة وتحسين جودة الإنتاج، فضلاً عن تقليل الهدر في الموارد. على سبيل المثال، أظهرت دراسة حديثة قام بها Ahmad *et al.* (2024)أن تطبيق الزراعة الدقيقة أدى إلى تحسين كفاءة استخدام المياه والأسمدة بنسبة تجاوزت 35% في محاصيل الحبوب والخضروات في بعض المناطق العربية، مع زيادة في الإنتاج بحدود 20% إلى 25%.

- **التحكم البيئي في الزراعة المحمية**

تمثل البيوت الزجاجية الذكية نموذجاً متطوراً للزراعة المحمية التي تعتمد على التحكم الكامل في المناخ المحيط داخلها، مثل درجة الحرارة، والرطوبة، والإضاءة، والتهوية. هذه السيطرة البيئية تسمح بإنتاج المحاصيل على مدار السنة، بغض النظر عن الظروف المناخية الخارجية. ينتج عن ذلك زيادة توافر المنتجات المحلية على مدار العام وتقليل الاعتماد على الواردات الموسمية التي غالباً ما تتسم

بالتذبذب. كما تسهم هذه الأنظمة في خفض استهلاك المياه والأسمدة، وتحسين جودة الإنتاج الزراعي (FAO, 2023).

- **التنبؤ بالطقس والآفات باستخدام الذكاء الاصطناعي**

يُعد الذكاء الاصطناعي من الأدوات الأساسية في الزراعة الذكية لقدرته على تحليل كميات ضخمة من البيانات من مصادر مختلفة، مثل محطات الطقس وأجهزة الاستشعار، وتقديم تنبؤات دقيقة حول الظروف المناخية، فضلاً عن الكشف المبكر عن انتشار الآفات والأمراض. هذا التنبؤ المسبق يمكّن المزارعين من التخطيط الاستباقي لتوقيت الزراعة، والري، ومكافحة الآفات بفعالية، مما يحد من الخسائر المحتملة في الإنتاج، ويزيد من استقرار الأمن الغذائي الوطني (IFPRI, 2024).

- **تحسين الموارد الوراثية**

تسهم التكنولوجيات الحديثة مثل الهندسة الوراثية وتعديل الجينات في إنتاج أصناف نباتية مقاومة للجفاف، ودرجات الملوحة العالية للبيئة الزراعية. يسمح هذا التطور بتوسيع الرقعة الزراعية لتشمل أراضٍ كانت سابقاً غير صالحة للزراعة، ويزيد من مرونة النظم الزراعية في مواجهة التغير المناخي. وقد حققت بعض الدول، مثل الأردن وأستراليا، تقدماً في هذا المجال من خلال تطوير أصناف محاصيل محلية متكيفة، مما يعزز من الإنتاج الوطني ويحسن من جودة الغذاء (CSIRO, 2021؛ ICARDA, 2021).

تشير الدراسات الحديثة إلى أن دمج هذه التقنيات الذكية في مزارع الحبوب والخضروات في دول مثل المغرب والمملكة العربية السعودية قد ساعد في تقليص فجوة الإنتاج الغذائي بنسبة وصلت إلى 30% خلال فترة خمس سنوات فقط، وهو إنجاز يعكس قدرة الزراعة الذكية على دعم التنمية الزراعية المستدامة وتقليل الاعتماد على الاستيراد الغذائي (IFPRI, 2024).

4. أمثلة ناجحة من دول قللت الاستيراد بالتكنولوجيا

شهدت عدة دول تحولات نوعية في إنتاجها الزراعي نتيجة لاعتمادها على تقنيات الزراعة الذكية، مما أدى إلى تقليل كبير في الاعتماد على الواردات الغذائية، وتعزيز اكتفائها الذاتي. يمكن استعراض أبرز هذه النماذج:

- **هولندا**: تُعتبر هولندا من الدول الرائدة عالمياً في تطبيق الزراعة الذكية رغم محدودية مساحتها الزراعية. اعتمدت هولندا على تقنيات الزراعة الرأسية، والبيوت المحمية عالية التقنية، وأنظمة التهوية والتحكم البيئي المؤتمتة، مع الاستفادة من الروبوتات وأجهزة الاستشعار الدقيقة لمراقبة نمو النباتات. أسفرت هذه التقنيات عن إنتاج مكثف وعالي الجودة من الخضروات والزهور، جعلها ثاني أكبر مصدر زراعي عالمي بعد الولايات المتحدة، مع تقليل الحاجة إلى استيراد هذه المنتجات (Van Hooijdonk, 2023) . ويرجع نجاحها إلى التكامل بين البحث العلمي، والاستثمار في البنية التحتية، ووجود نظام حوكمة زراعية متطور.
- **الإمارات العربية المتحدة**: تواجه الإمارات تحديات بيئية قاسية، مثل ندرة المياه وارتفاع درجات الحرارة، مما حد من إمكانيات الزراعة التقليدية. لكن من خلال استراتيجيات الأمن الغذائي الوطنية، استثمرت الإمارات بكثافة في الزراعة الذكية، خاصة الزراعة العمودية والزراعة المائية والزراعة في البيوت المحمية الذكية. هذه المشاريع لا تعتمد فقط على التكنولوجيات الحديثة بل على دمجها مع نظم تحكم دقيقة في استهلاك المياه والتغذية النباتية، مما أتاح إنتاج محاصيل طازجة محلياً وتقليل اعتماد الدولة على الاستيراد بنسبة ملحوظة (UAE Ministry of Climate Change and Environment, 2023).
- **الهند**: مع تزايد الضغط على الأراضي والموارد المائية، قدمت الهند نموذجاً مهماً من خلال تطوير منصات رقمية متقدمة توفر بيانات الطقس، والاستشارات الزراعية، وخدمات التمويل للمزارعين. من خلال هذه المنصات، استطاع

المزارعون تحسين مواعيد الزراعة، واستخدام المدخلات بكفاءة، وزيادة الإنتاجية. وقد ساهم هذا التحول الرقمي في تقليل الفجوات الإنتاجية وتقليل الاعتماد على واردات الحبوب الأساسية بنسبة 15% خلال السنوات الأخيرة (Indian Council of Agricultural Research, 2023).

- **كينيا**: استثمرت كينيا في تطوير تطبيقات الهاتف المحمول التي تتيح للمزارعين الصغار الوصول إلى الأسواق، والتنبؤات الجوية، ونصائح الزراعة الذكية، مما أدى إلى تحسين المحاصيل وتقليل الخسائر، وزيادة الحصيلة الوطنية بشكل ملحوظ، مما انعكس إيجاباً على تقليل الاستيراد الغذائي (World Bank, 2023).

5. دور الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية

تلعب الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية دوراً جوهرياً وحيوياً في تسريع وتيرة تبني تقنيات الزراعة الذكية، ودعم تحقيق أهداف الاكتفاء الذاتي الغذائي على المستويين المحلي والوطني. يرتكز هذا الدور على عدة محاور رئيسية يمكن توضيحها كما يلي:

- **توفير البنية التحتية الرقمية المتطورة**

تعتبر البنية التحتية الرقمية المتقدمة شرطاً أساسياً لتمكين المزارعين من الوصول إلى أدوات الزراعة الذكية واستخدامها بكفاءة عالية. تشمل هذه البنية شبكات الإنترنت عالية السرعة، والمنصات الرقمية الزراعية، وقواعد البيانات المفتوحة التي تسمح بتبادل المعلومات وتوفيرها بشكل شفاف وسريع. تسهم هذه البنية بدور محوري في توسيع رقعة الانتشار خصوصاً في المناطق الريفية والنائية التي غالباً ما تعاني من ضعف الاتصالات، وبالتالي تمكين الفئات المهمشة من الدخول إلى اقتصاديات الزراعة الذكية الحديثة (World Bank, 2024).

- **دعم السياسات المالية والاقتصادية**

تضطلع السياسات الحكومية الداعمة بدور التشجيع على تبني التقنيات الحديثة من خلال تقديم دعم مالي ملموس مثل منح القروض الميسرة، وتقديم حوافز ضريبية،

بالإضافة إلى برامج تدريبية مستمرة تصقل مهارات المزارعين في استخدام هذه التقنيات. على سبيل المثال، يمكن لبرامج الدعم تخفيض تكلفة تقنيات الري الحديث أو أجهزة الاستشعار المتطورة، مما يجعلها في متناول أيدي المزارعين ويدفعهم إلى اعتمادها بشكل أوسع وأسرع (FAO, 2023). هذا الدعم يعزز التنمية الزراعية المستدامة عبر إيجاد بيئة محفزة للابتكار وتحفيز القطاع الخاص على الاستثمار في هذا المجال.

- **الرقمنة الشاملة لسلسلة الإنتاج الزراعي**

تعمل الحكومات الرقمية على إدخال نظم إدارة متكاملة تشمل تسجيل البيانات الزراعية بدقة، ورصد مراحل الإنتاج، والتتبع الرقمي للمنتجات عبر سلسلة الإمداد، ما يزيد من شفافية العمليات وجودة المنتج النهائي. يتيح ذلك بناء قاعدة بيانات قوية تساعد في وضع خطط إنتاجية دقيقة ومدروسة، علاوة على تقديم استجابات سريعة وفعالة في حالات الأزمات مثل الجفاف أو انتشار الآفات، مع توجيه الدعم التنموي إلى المناطق والأصناف الزراعية الأكثر حاجة (World Bank, 2024). تُسهم هذه الرقمنة في ترسيخ سياسات مستندة إلى البيانات تعزز الأمن الغذائي.

- **تعزيز الشراكات والتعاون متعدد القطاعات**

تلعب السياسات التي تشجع على تعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص، والمؤسسات البحثية، والمزارعين أنفسهم، دوراً مركزياً في تبادل المعرفة العلمية والتقنية، وتأمين التمويلات اللازمة لتطوير المشروعات الزراعية الذكية. الحوكمة الرقمية الفعالة تخلق بيئة تشاركية ومتجانسة تسمح لجميع الأطراف بالاستفادة المثلى من فرص التقنيات الحديثة، وتشجع على تطوير حلول زراعية مخصصة تلائم واقع التحديات المناخية والبيئية والاجتماعية (IFPRI, 2024).

- **تطوير الأطر القانونية والتنظيمية**

يلزم نجاح الزراعة الذكية وجود أطر قانونية وتنظيمية واضحة تُحكم استخدام البيانات الزراعية، وتحدد معايير الجودة والسلامة، وتحمي حقوق الملكية الفكرية

المتعلقة بالابتكار التكنولوجي. تقديم بيئة تنظيمية مستقرة تشجع الابتكار وتحفز المشاركين على تبني التقنيات الحديثة دون مخاوف قانونية أو تنظيمية، يُعد من عناصر النجاح الأساسية (FAO, 2023). كما تساهم الأطر القانونية في بناء الثقة بين كافة الأطراف المعنية وتسهيل عمليات التعاون الدولي والمحلي في مجال الزراعة الذكية.

يمكن القول إن نجاح تبني الزراعة الذكية وتحقيق تنمية إنتاجية مستدامة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بفعالية الحوكمة الرقمية وصياغة وتنفيذ السياسات الزراعية المتكاملة. هذه السياسات تعد الإطار الشامل الذي يمكن من خلاله معالجة معوقات استخدام التقنيات الحديثة، وتوفير بنية تحتية داعمة، ودعم مالي مستمر، وضمان نزاهة الخدمات الرقمية، مع تكامل الأدوار بين مختلف الجهات، مما يخلق بيئة مثالية للنمو الزراعي الذكي والمستدام.

6. تعزيز سلاسل القيمة المحلية

تُعتبر سلاسل القيمة المحلية أحد الركائز الأساسية لزيادة فعالية النظام الغذائي وتحقيق الأمن الغذائي المستدام. فالزراعة الذكية لا تقتصر على تحسين الإنتاج الزراعي فحسب، بل تمتد لتشمل كافة مراحل سلسلة القيمة، بدءاً من الإنتاج، مروراً بالمعالجة، والتغليف، والتخزين، وصولاً إلى التسويق والتوزيع. ويساهم تحسين كل مرحلة في زيادة القيمة المضافة للمنتج، وتقليل الفاقد الغذائي، وتعزيز القدرة التنافسية للأسواق المحلية.

- **التتبع الرقمي والشفافية**: توفر تقنيات مثل البلوك تشين وإنترنت الأشياء (IoT)أدوات فعالة لتتبع المنتجات الزراعية منذ مرحلة الزراعة وحتى وصولها إلى المستهلك النهائي. هذا يعزز من شفافية العمليات ويزيد ثقة المستهلك في جودة المنتجات المحلية (Kamilaris *et al*., 2019). كما يساعد التتبع الرقمي في التقليل من عمليات التهريب أو التلاعب، وتحسين سلامة الغذاء.

- **التخزين الذكي وإدارة الفاقد**: تشكل خسائر ما بعد الحصاد تحدياً رئيسياً في تحقيق الأمن الغذائي، خاصة في المناطق ذات البنية التحتية الضعيفة. تمكن التقنيات الحديثة مثل أجهزة الاستشعار الذكية وأنظمة التبريد المُدارة رقمياً من تحسين ظروف التخزين والحفاظ على جودة المنتجات، مما يقلل الفاقد الغذائي بشكل ملحوظ (FAO, 2023).
- **التسويق الرقمي**: أدت منصات التسويق الإلكترونية والتجارة الإلكترونية الزراعية إلى توسيع نطاق وصول المنتجات المحلية للأسواق، سواء داخل الدولة أو على المستوى الإقليمي. هذا يدعم المزارعين الصغار في الوصول إلى شريحة أوسع من المستهلكين، وبالتالي زيادة دخلهم وتحفيز الإنتاج (World Bank, 2024).
- **تمكين التعاونيات والمزارعين الصغار**: تتيح تقنيات الزراعة الذكية فرصاً جديدة للتعاون بين المزارعين، من خلال مشاركة المعلومات والموارد، وتسهيل الوصول إلى الأسواق والخدمات المالية. تلعب التعاونيات دوراً محورياً في تحسين القدرة التفاوضية للمزارعين وزيادة مشاركتهم في سلاسل القيمة(IFPRI, 2024) .
- **دمج القطاعات الإنتاجية ذات الصلة**: يمكن أن تساهم الزراعة الذكية في ربط القطاع الزراعي بقطاعات أخرى مثل الصناعات الغذائية، والخدمات اللوجستية، والطاقة المتجددة، ما يخلق منظومة متكاملة تدعم تنمية اقتصادية شاملة ومستدامة.

7. التحديات اللوجستية والبنية التحتية

على الرغم من الفوائد الكبيرة للزراعة الذكية في تعزيز الإنتاج المحلي وتقليل الاعتماد على الاستيراد، إلا أن هناك العديد من التحديات التي تواجه تطوير بنية تحتية لوجستية فعالة تضمن استدامة سلسلة التوريد الزراعية:

- **ضعف شبكات النقل والتوصيل** :في العديد من الدول النامية، لا تزال البنية التحتية للنقل تعاني من نقص في الطرق المعبدة، وقلة شبكات السكك الحديدية والطرق السريعة، مما يؤدي إلى تأخر وصول المنتجات للأسواق، خاصة المنتجات سريعة التلف كالخضروات والفواكه (FAO, 2023).
- **نقص وحدات التخزين الباردة**: تتطلب المنتجات الزراعية الحديثة وجود مستودعات مبردة متطورة للحفاظ على جودة المنتجات وتقليل الفاقد. إلا أن نقص هذه الوحدات، خصوصاً في المناطق الريفية، يحد من إمكانية تخزين المحاصيل لفترات طويلة، ما يضطر المزارعين لبيعها بسرعة بأسعار منخفضة(World Bank, 2023) .
- **ضعف الخدمات اللوجستية الرقمية**: تعاني بعض المناطق من ضعف انتشار الخدمات الرقمية الخاصة بسلاسل الإمداد، مثل أنظمة تتبع الشحنات، وبرمجيات إدارة المخزون، وهذا يؤثر على القدرة على مراقبة عمليات التوزيع وتحسينها(Kamilaris *et al*., 2019) .
- **قلة التخصص والكفاءات الفنية**: تحتاج إدارة اللوجستيات الزراعية الذكية إلى كوادر فنية مؤهلة تدير الأنظمة الذكية وتتعامل مع البيانات الكبيرة (Big Data). عدم توفر هذه الكفاءات يعد عائقاً أمام الانتشار الأمثل للتقنيات (IFPRI, 2024).
- **تكلفة الاستثمار العالية**: تتطلب بناء بنية تحتية متطورة، مثل مراكز التخزين البارد وأنظمة النقل الذكية، استثمارات مالية ضخمة قد لا تكون متاحة في بعض البلدان، مما يستدعي تنسيقاً بين القطاعين العام والخاص لتأمين التمويل اللازم(FAO, 2023) ,

- **الضوابط والتشريعات**: تحتاج اللوجستيات الزراعية الذكية إلى أطر تنظيمية واضحة تنظم النقل، والتخزين، والسلامة الغذائية، واستخدام البيانات، لضمان سير العمليات بشكل قانوني وفعّال (World Bank, 2024).

8. الخاتمة

في ختام هذا الفصل، يتضح أن تعزيز الإنتاج المحلي وتخفيض الاعتماد على الاستيراد يمثلان هدفاً استراتيجياً يتطلب تضافر جهود التكنولوجيا والحوكمة والسياسات الفعالة. لقد أثبتت الزراعة الذكية قدرتها على تحقيق زيادة مستدامة في الإنتاج الزراعي عبر تحسين استخدام الموارد وتطوير سلاسل القيمة المحلية، مما يساهم في تقليل المخاطر المرتبطة بالاعتماد على الأسواق العالمية. كما أظهرت النماذج الناجحة من دول مختلفة كيف يمكن للتكنولوجيا والابتكار أن يلعبا دوراً حاسماً في تحويل واقع الأمن الغذائي.

مع ذلك، فإن تحقيق هذه الأهداف لا يخلو من تحديات لوجستية وبنية تحتية، تتطلب استثمارات مستمرة وتعاوناً فعالاً بين القطاعين العام والخاص. لذا، يجب أن تستند السياسات الزراعية المستقبلية إلى رؤية شاملة تجمع بين الابتكار التقني، وتطوير القدرات البشرية، وتعزيز الشراكات الاستراتيجية، لضمان تحويل الإمكانات التقنية إلى واقع عملي ملموس ينعكس إيجابياً على الأمن الغذائي الوطني.

في النهاية، تظل الزراعة الذكية أداة حيوية لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة، والاستقلال الغذائي، مما يعزز من قدرة الدول على مواجهة التحديات المستقبلية بكل ثقة واقتدار.

9. المراجع

راجعي، مصطفى. 2024. التجارة البينية العربية لضمان الأمن الغذائي. https://ourouba22.com/article/2063

Ahmad, S., Zafar, M., & Lee, S. (2024). Smart Agriculture Technologies and their Effect on Crop Yield: A Global Perspective. *Precision Agriculture Journal*, 25(2), 123–144.

CSIRO. (2022). Genetic modification breakthroughs in heat and drought-resistant crops in Australia.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). Controlled environment agriculture: Enhancing food security through smart greenhouses.

ICARDA. (2021). Developing drought-tolerant barley varieties for Jordan.

IFPRI. (2024). Smart Farming and Food Security in the MENA Region. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Indian Council of Agricultural Research. (2023). *Digital agriculture and its impact on Indian farming*. ICAR. https://icar.org.in/digital-agriculture

Indian Council of Agricultural Research. (2023). Digital Tools for Agricultural Extension in India.

International Food Policy Research Institute. (2024). *Agricultural innovation systems and smart agriculture*. IFPRI. https://www.ifpri.org/publications

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology, 91*, 640–652.

UAE Ministry of Climate Change and Environment. (2023). *Annual report on sustainable agriculture and food security 2051.* UAE Government. https://www.moccae.gov.ae/en/reports

Van Hooijdonk, P. (2023). *High-tech horticulture: The Dutch model of agricultural innovation*. Wageningen University Press.

Van Hooijdonk, T. (2023). Dutch Greenhouses and the Future of Farming. *Journal of Controlled Environment Agriculture*, 12(1), 45–59.

World Bank. (2023). *Agricultural logistics and infrastructure in developing countries*. World Bank Group. https://documents.worldbank.org/en/publication/agriculture-logistics

World Bank. (2023). Impacts of the Ukraine War on Global Food Supply. Washington, DC.
World Bank. (2024). *Digital transformation in agriculture: Policy and governance*. World Bank Group. https://www.worldbank. org /en/topic/agriculture/brief/ digital- agriculture
World Bank. (2024). Leveraging Digital Agriculture for Economic Growth. Washington, DC.

الفصل 29 - الأمن الغذائي في المناطق الهشة والريفية

المحتويات

1. المقدمة
2. سمات المناطق الهشة والريفية
3. التحديات الزراعية في هذه المناطق
4. تطبيقات منخفضة الكلفة في الزراعة الذكية
5. تمكين المجتمعات الريفية من خلال التعليم الرقمي
6. الشراكات المجتمعية والابتكار المحلي
7. تجارب دولية ناجحة
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

يُعد الأمن الغذائي أحد الركائز الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة، لا سيما في المناطق الهشة والريفية التي تعاني من ضعف الموارد والظروف البيئية الصعبة. تمثل هذه المناطق تحدياً كبيراً نظراً لتعرضها المتزايد لصدمات متعددة مثل تغير المناخ، النزاعات، والفقر المزمن، مما يزيد من هشاشة سلاسل الإمداد الغذائي ويهدد قدرة السكان على الحصول على غذاء كافٍ وآمن (FAO, 2020). ومع ذلك، تمثل هذه المناطق أيضاً فرصة مهمة لتعزيز الإنتاج الزراعي من خلال اعتماد حلول زراعية ذكية ومبتكرة تراعي ظروفها الخاصة. يلعب التعليم الرقمي والشراكات المجتمعية دوراً محورياً في تمكين هذه المجتمعات وتوفير أدوات فعالة لتحقيق أمن غذائي مستدام. في هذا الفصل، سيتم تناول سمات المناطق الهشة والريفية، التحديات التي تواجه الزراعة فيها، الفرص الناشئة من تطبيق تقنيات منخفضة التكلفة في الزراعة الذكية، ودور التعليم الرقمي والشراكات المجتمعية في دعم هذا القطاع، مع استعراض تجارب دولية ناجحة كنماذج قابلة للتبني.

بناء قدرة سكان الريف على الصمود في السياقات الهشة (الفاو، 2022).

2. سمات المناطق الهشة والريفية

المناطق الهشة عادةً ما تتميز بظروف بيئية صعبة، مثل ندرة المياه، وتدهور التربة، والتعرض للكوارث الطبيعية مثل الجفاف والفيضانات. كما تعاني هذه المناطق من ضعف في البنية التحتية الأساسية، بما في ذلك شبكات الري، والتخزين، والطرق، مما يؤثر سلباً على إنتاج وتوزيع الغذاء (IFAD, 2020). على الصعيد الاجتماعي، غالباً ما تكون هذه المناطق موطناً لمجتمعات تعاني من معدلات فقر مرتفعة، ونقص فرص التعليم والتدريب الزراعي، إضافة إلى ضعف وصول النساء والشباب إلى الموارد والفرص الاقتصادية (World Bank, 2021).

في المناطق الريفية، وعلى الرغم من الاعتماد الكبير على الزراعة كمصدر رئيسي للدخل والغذاء، إلا أن الإنتاجية الزراعية غالباً ما تكون محدودة بسبب تقنيات الزراعة التقليدية، وافتقار إلى المعرفة الزراعية الحديثة. تتميز هذه المناطق أيضاً بتنوع

بيولوجي وثقافي يمكن استثماره في تنمية زراعية مستدامة إذا ما تم تبني نهج شامل يدمج المعرفة التقليدية مع التكنولوجيا الحديثة.

3. التحديات الزراعية في المناطق الهشة والريفية

تواجه الزراعة في المناطق الهشة والريفية تحديات معقدة ومتداخلة تؤثر على قدرة هذه المناطق على تحقيق الأمن الغذائي، ويمكن تفصيلها كما يلي:

- **تغير المناخ وتأثيراته**

تعد تغيرات المناخ أحد أكبر التحديات التي تواجه الزراعة في هذه المناطق، حيث تؤدي إلى تقلبات في نمط الأمطار وزيادة في درجات الحرارة. هذا التغير يؤدي إلى تقلص مواسم الزراعة، وزيادة تعرض المحاصيل للجفاف، إضافة إلى تفشي الآفات والأمراض (FAO, 2019). في أفريقيا جنوب الصحراء، تشير التقارير إلى أن هطول الأمطار أصبح أكثر تذبذباً، مما يقلل من قدرة المزارعين على التخطيط للمواسم الزراعية (IPCC, 2022).

- **نقص الموارد المائية وأنظمة الري التقليدية**

تعتمد الزراعة بشكل كبير على المياه، وخاصة في المناطق الريفية التي تفتقر إلى أنظمة ري حديثة. غالباً ما يكون الري معتمداً على الأمطار أو مصادر مائية محدودة، مما يزيد من مخاطر فشل المحاصيل (UNEP, 2020). كذلك، الهدر الكبير في مياه الري بسبب ضعف البنية التحتية وعدم وجود تقنيات ترشيد المياه يؤثر سلباً على الاستدامة الزراعية.

- **ضعف البنية التحتية**

يُعتبر ضعف البنية التحتية من أهم العقبات التي تحد من تطوير الإنتاج الزراعي، فغياب الطرق المعبدة وصعوبة الوصول إلى الأسواق يؤدي إلى خسائر بعد الحصاد، فضلاً عن ضعف مرافق التخزين التي تؤدي إلى تلف المحاصيل. ضعف

البنية التحتية يحد كذلك من القدرة على نقل المدخلات الزراعية الضرورية كالبذور والأسمدة (IFAD, 2020).

- **التبني المحدود للتقنيات الزراعية الحديثة**

يعاني المزارعون في المناطق الهشة من محدودية وصولهم إلى التقنيات الزراعية الحديثة مثل نظم الري الذكي، الزراعة الدقيقة، أو استخدام الطائرات بدون طيار للمراقبة. يعود ذلك إلى ضعف التمويل، نقص الخبرة الفنية، وغياب الدعم الحكومي أو المؤسسي (World Bank, 2021).

- **محدودية الوصول إلى التمويل والخدمات**

معظم صغار المزارعين في هذه المناطق يفتقرون إلى مصادر التمويل الرسمية أو غير الرسمية. كذلك، غياب الخدمات الاستشارية الزراعية والتدريب الفني يؤثر على قدرة المزارعين على تطوير ممارساتهم الزراعية وتبني الحلول المستدامة (FAO, 2019).

4. تطبيقات منخفضة الكلفة في الزراعة الذكية

في ظل القيود الاقتصادية وضعف الموارد في المناطق الهشة والريفية، تبرز الحاجة إلى تبني حلول ذكية منخفضة التكلفة تُسهم بشكل فعّال في دعم الزراعة وتحسين الأمن الغذائي. فهذه الحلول لا تتطلب استثمارات ضخمة، بل توفر إمكانيات تقنية عملية تناسب الأوضاع المحلية، وتسهل على صغار المزارعين الاستفادة من مزايا الزراعة الذكية دون أعباء مالية كبيرة.

- **تقنيات الاستشعار الذكية منخفضة التكلفة**

تلعب الحساسات الأرضية دوراً مهماً في قياس المؤشرات الحيوية للتربة مثل مستوى الرطوبة ودرجة الحرارة، وهي بيانات أساسية لتنظيم مواعيد الري والتسميد بشكل دقيق. تتميز الحساسات منخفضة التكلفة بأنها سهلة التركيب والصيانة، وتعطي معلومات دقيقة ومستمرة تساعد المزارعين على تقليل استهلاك

المياه والمواد الكيميائية الزراعية، وبالتالي زيادة الإنتاجية مع تقليل الهدر (Kumar *et al*., 2021). مثل هذه الحلول بسيطة وفعالة بشكل خاص في المناطق التي تعاني من نقص الموارد، وتُعد بمثابة نقطة انطلاق نحو نظم زراعية أكثر ذكاءً.

- **أنظمة الري بالتنقيط المدعمة بالحساسات**

تستخدم أنظمة الري بالتنقيط منخفضة التكلفة المتكاملة مع حساسات قياس رطوبة التربة لضبط كميات المياه بشكل تلقائي بناءً على حاجة النبات الفعلية. أثبتت تجارب ميدانية في إثيوبيا أن اعتماد هذه الأنظمة ساهم في تقليل استهلاك المياه بنسبة تزيد عن 40% مع تحسين ملحوظ في غلة المحاصيل، خصوصاً في البيئات الجافة التي تعاني من ندرة المياه (Gebreselassie *et al*., 2020). توفر هذه الأنظمة حلاً مستداماً وذكياً مع تكاليف استثمارية مقبولة، ما يضاعف من فرص تبنيها في المجتمعات الريفية الفقيرة.

- **التطبيقات المحمولة والتقنيات الرقمية البسيطة**

تنعكس فائدة التطبيقات المحمولة البسيطة في جعل المعلومات الزراعية في متناول صغار المزارعين عبر هواتفهم الذكية أو حتى الهواتف ذات الإمكانيات المحدودة. تقدم هذه التطبيقات نصائح يومية متعلقة بإدارة المحاصيل بناءً على بيانات الطقس، وتوفر تنبيهات مبكرة عن تفشي الأمراض والآفات الزراعية. مثل هذه التقنيات الرقمية منخفضة التكلفة تدعم زيادة الوعي الزراعي وتمكن المزارعين من اتخاذ قرارات محسوبة أكثر، مما يقلل من الخسائر ويزيد فرص النجاح في المحصول (FAO, 2020).

- **الزراعة العضوية والمحافظة على التربة**

تُعتبر ممارسات الزراعة العضوية والمحافظة على التربة من الأساليب منخفضة التكلفة التي تلعب دوراً مكملاً في الزراعة الذكية. إذ تشجع هذه الممارسات على استخدام المواد العضوية مثل السماد الطبيعي وإعادة تدوير النفايات الزراعية، ما

يعزز خصوبة التربة على المدى الطويل ويقلل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية باهظة الثمن (Smith & Jones, 2019). إضافة إلى ذلك، تساعد هذه الأساليب في تحسين بنية التربة، وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، مما يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالممارسات المستدامة والذكية.

5. تمكين المجتمعات الريفية من خلال التعليم الرقمي

يعتبر التعليم الرقمي حجر الزاوية في جهود تمكين المجتمعات الريفية، حيث يوفر فرصة ذهبية لتجاوز الحواجز الجغرافية والاجتماعية التي تعترض وصول المزارعين إلى المعرفة والممارسات الزراعية الحديثة. من خلال التعليم الرقمي، يمكن نقل التقنيات والحلول الذكية إلى المزارع الصغيرة والبعيدة، ما يدعم التحول نحو زراعة مستدامة وذكية تكون أكثر قدرة على التكيف مع تحديات التغير المناخي وضمان الأمن الغذائي.

- **منصات التعلم عن بعد والمحتوى الرقمي**

تلجأ العديد من الدول إلى تطوير منصات تعليمية رقمية ترمي إلى تدريب المزارعين ومهندسي الزراعة على أحدث الممارسات في مجال الزراعة الذكية. تتنوع هذه المنصات بين فيديوهات تعليمية تساعد في توضيح التطبيقات العملية، وندوات تفاعلية عبر الإنترنت تتيح نقاشاً مباشراً مع خبراء، ودورات تدريبية قصيرة معتمدة تمنح شهادات تساعد في تعزيز فرص التوظيف والتمكين الاقتصادي. هذه الوسائل تقلل من حاجز المسافة بين المزارعين والمراكز التدريبية، وتخفض بشكل كبير من تكاليف التدريب والتنقل، مما يعزز من شمولية التعليم (World Bank, 2022).

- **تطبيقات الهاتف المحمول التعليمية**

تُعد تطبيقات الهواتف المحمولة أداة فعالة جداً في إيصال المحتوى التعليمي إلى الفئات الريفية. تقدم تطبيقات مثل "e-Agriculture" و "FarmCrowdy"

محتوى تعليمياً بلغات محلية متنوعة، كما توفر توصيات فنية موجهة تُرتكز إلى بيانات آنية عن حالة الطقس، مستويات الرطوبة، ونصائح خاصة بالري والتسميد ومكافحة الآفات. تساعد هذه التطبيقات المزارعين في اتخاذ قرارات أكثر علمية وواقعية، ما يقلل من الخسائر ويزيد من فرص النجاح في الإنتاج (FAO, 2020). كما تزيد من التواصل بين المزارعين وخبراء الزراعة والصحة النباتية، مما يسرع في حل المشكلات الزراعية.

- **بناء القدرات التقنية للمزارعين الشباب والنساء**

يشكل التعليم الرقمي منصة استراتيجية لاستهداف فئات الشباب والنساء في الريف، اللذين يمثلان نسبة كبيرة من اليد العاملة الزراعية لكنه غالباً ما يواجهون تحديات في الوصول إلى الفرص التدريبية التقليدية. تركّز البرامج التعليمية الرقمية على بناء قدرات هذه الفئات في مجال استخدام التكنولوجيا الزراعية الحديثة، مما يُمكّنهم من استخدام أدوات الزراعة الذكية كالاستشعار عن بعد، تطبيقات الهاتف، والطائرات بدون طيار، وبالتالي زيادة مشاركتهم في التنمية الزراعية (IFAD, 2021). كما تساهم هذه البرامج في تعزيز التمكين الاجتماعي والاقتصادي للمرأة والشباب، ودعم مبدأ العدالة في الوصول إلى التكنولوجيا.

6. الشراكات المجتمعية والابتكار المحلي

تلعب الشراكات المجتمعية دوراً محورياً في دفع عجلة التنمية الزراعية وتعزيز الأمن الغذائي، خاصةً في المناطق الهشة التي تعاني من محدودية الموارد وتعرضها لتحديات مناخية وبيئية متزايدة. يشكل التعاون بين المزارعين، القطاع الخاص، والمؤسسات البحثية قاعدة صلبة لتبادل المعرفة والتجارب، وتطوير حلول مبتكرة مستدامة، ترتكز على خصوصيات هذه المناطق، وتسهم بفاعلية في بناء قدرات المجتمعات المحلية وتعزيز مرونتها.

- **التعاون بين المزارعين عبر الشبكات الرقمية**

تشكيل جمعيات تعاونية رقمية بين المزارعين يمثل نقلة نوعية في نمط العمل الزراعي التقليدي. تتيح هذه الجمعيات للمزارعين تبادل الموارد، مثل المعدات الزراعية والتقنيات الزراعية الحديثة، فضلاً عن مشاركة البيانات الزراعية والمناخية عبر منصات رقمية متقدمة. هذا التعاون يصنع بيئة عمل مستدامة من خلال تقليل التكاليف وعوامل المخاطرة المرتبطة بالتغير المناخي، ويزيد من قدرة الأفراد على التكيف مع التحديات المتجددة. وتأتي هذه الشبكات كمصدر حيوي للدعم التقني والمعلوماتي من خلال نشر الخبرات والابتكارات التي تم اختبارها ميدانياً(FAO, 2021) .

- **شراكات مع القطاع الخاص والمؤسسات البحثية**

يشكل العمل المشترك بين القطاع الخاص، ولا سيما شركات التكنولوجيا الزراعية، ومراكز البحوث والتطوير، ركيزة أساسية لتسريع تبني التقنيات الزراعية الحديثة في المناطق الهشة. من خلال هذه الشراكات، تُتاح حلول متطورة منخفضة التكلفة تأخذ في الاعتبار خصوصية الظروف البيئية والاجتماعية، مع إمكانية نقل التكنولوجيا بفعالية عبر برامج تدريب حالة المزارعين والمهندسين الزراعيين المحليين. يساهم هذا التكامل العلمي والتطبيقي في زيادة الإنتاجية، وتحسين إدارة الموارد، وتعزيز القدرة على التكيف مع التغير المناخي (CGIAR, 2022).

- **دعم الابتكار المحلي والتكيف مع الخصوصيات البيئية**

يُعَد تشجيع الابتكارات الزراعية القائمة على الموارد المحلية والتكيف مع البيئات المحيطة أمراً حيوياً لتحقيق حلول مستدامة وقابلة للتوسع. تتجسد هذه المبادرات، على سبيل المثال، في دعم أنظمة الزراعة المختلطة التي تجمع بين زراعة المحاصيل وتربية المواشي، أو تطوير أنظمة البستنة الذكية التي تُكيّف زراعة الأشجار والمحاصيل بما يتناسب مع الموارد المائية والتربة المتاحة. تساعد هذه المشاريع على تعزيز التنوع البيئي والاقتصادي مع تقليل المخاطر الناتجة عن

التغيرات المناخية (World Bank, 2021). كما تساهم في بناء قدرات المجتمعات المحلية على الاستقلالية في إدارة مواردها الزراعية وتطوير نماذج إنتاج مبتكرة تلبي حاجاتها الخاصة.

7. تجارب دولية ناجحة

- **السعودية: التحول الرقمي و"المزارع الذكية"**

تشهد المملكة طفرة في التحول الرقمي، حيث استخدم المزارعون خدمات منصات إلكترونية لبيع المنتجات مباشرة للمستهلكين، وتحليل البيانات باستخدام الحساسات والطائرات بدون طيار. أطلقت الحكومة مبادرات تدعم الري الذكي والاستشعار عن بعد، وتم إنشاء مزارع تعتمد على إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لجدولة الري ومراقبة صحة النبات وتقليل الفاقد (NajdAgriTech, 2025).

- **الأردن: الزراعة الذكية ومقاومة الجفاف**

تمت في الأردن عدة مشاريع تعاونية) بدعم من جهات دولية مثل ICARDA والبنك الدولي (لاستخدام نظم استشعار ذكية ومحطات طقس رقمية لدعم الزراعة في مواجهة التغير المناخي والجفاف. هذه المشاريع شملت تطوير أصناف قمح وشعير مقاومة للجفاف وتدريب آلاف المزارعين على استخدام تقنيات الري الدقيق والزراعة الذكية (World Bank, 2024).

- **العراق: الزراعة الذكية لمواجهة الجفاف**

أطلق الهلال الأحمر العراقي مشروعاً في ثلاث محافظات لزراعة الأعلاف باستخدام أصناف مقاومة للجفاف مع بنية ري حديثة تعتمد على شبكات الرش وحفر آبار المياه ومتابعة الإنتاج عن بعد، ما دعم استقرار مداخيل المزارعين وقلّل من استهلاك مياه الري (ReliefWeb, 2024).

- **تونس: تقنيات الاستشعار والتحكم الذكي**

أطلقت شركة "Ezzarya" في تونس نظاماً يدمج الحساسات في أنابيب الري والتربة، ما يسمح للمزارعين بمراقبة ملوحة التربة وتنظيم الري والتسميد عن بُعد. هذا الحل الذكي مكّن المزارعين من تعظيم جودة الغلّة وخفض استهلاك المياه والأسمدة، كما نجحت مشاريع عديدة في تونس في استخدام رسائل نصية لتنظيم جداول الري مما أدى إلى زيادة إنتاجية القمح بنسبة 36% في بعض المناطق (FAO, 2021).

- **الإمارات العربية المتحدة: الزراعة الرأسية والاستثمار الرقمي**

استثمرت الإمارات بكثافة في "الزراعة الرأسية" داخل منشآت خاضعة للتحكم الدقيق، مثل شركات "Madar Farms" و"Aerofarms"، باستخدام الإضاءة الاصطناعية والبيئات المغلقة، ما مكّن من تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى 90% مقارنة بالزراعة التقليدية، وزيادة الإنتاج على مدار السنة. أبوظبي أطلقت برنامجاً استثمارياً بقيمة تجاوزت 100 مليون دولار لدعم شركات التقنية الزراعية (GSMA, 2024).

- **المغرب: التعاونيات الزراعية الذكية**

عزز المغرب الإنتاج الزراعي من خلال إنشاء تعاونيات زراعية تعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد حالة المحاصيل وجدولة العمليات الزراعية بشفافية وفعالية أكبر. ساعد هذا التكامل التكنولوجي على تحسين التنسيق بين المزارعين ومراكز البحوث وتمكين اتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة، الأمر الذي أدى إلى زيادة الغلات الزراعية وتقليل التكاليف التشغيلية وتحسين إدارة الموارد بشكل مستدام (FAO, 2021).

- **إثيوبيا: مشروع الري بالتنقيط منخفض التكلفة**

شهدت إثيوبيا نجاحاً ملموساً في تحسين الأمن الغذائي من خلال مشروع يهدف إلى إدخال أنظمة ري بالتنقيط منخفضة التكلفة مدعمة بحساسات رصد رطوبة

التربة في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة. ساعد هذا المشروع في زيادة إنتاج الخضروات بنسبة 30% خلال ثلاث سنوات فقط، وذلك من خلال تقديم كميات المياه المطلوبة بدقة دون هدر، مما رفع من كفاءة استخدام الموارد الطبيعية وحسن من جودة الإنتاج الزراعي في مناطق تعاني من شح المياه (Gebreselassie *et al*., 2020).

- **الهند: التعليم الزراعي الرقمي في الريف**

أطلقت الحكومة الهندية منصة"Digital Green" ، وهي مبادرة تعليمية رقمية نوعية تهدف إلى تدريب ملايين المزارعين في المناطق الريفية على ممارسات الزراعة المستدامة من خلال استخدام فيديوهات تعليمية ومحتوى إرشادي يُرسل عبر الهواتف المحمولة الذكية. ساهم هذا البرنامج في تحسين الوعي الزراعي وتطوير المهارات الفنية للمزارعين، مما أدى إلى تحسين ممارسات الزراعة وزيادة الإنتاجية بشكل ملحوظ، بالإضافة إلى تعزيز دمج التقنيات الرقمية في الحياة الزراعية اليومية (World Bank, 2022).

- **أذربيجان: مشروع الزراعة الذكية مناخياً لإنتاج القطن**

حقق باحثون ومزارعون في أذربيجان زيادة كبيرة في إنتاجية القطن باستخدام ممارسات زراعية ذكية مناخياً مدعومة بتقنيات نووية وتقنيات زراعية متقدمة، شملت اختيار الأصناف المناسبة وإدارة المياه والمغذيات بدقة. ارتفع متوسط إنتاج القطن من 3 أطنان للهكتار إلى 8 أطنان، مع تحسين جودة ومرونة الإنتاج في مواجهة التغير المناخي المتسارع (IAEA & FAO, 2023).

- **كينيا: "قرى الزراعة الذكية مناخياً" في وادي نياندو**

في مواجهة الانجراف والجفاف، استخدمت قرى الزراعة الذكية مناخياً في وادي نياندو تقنيات مثل المحاصيل المحسنة، إدارة المياه، الزراعة المختلطة، وأنظمة حفظ التربة. ارتفعت الإنتاجية بنسبة 150%، تحسن الدخل بنسبة 34%،

وانخفضت فترات الجوع السنوية للنصف، مع تمكين النساء واعتماد أنظمة إنذار مبكر (IAEA, 2021).

- **غانا وساحل العاج: تطوير أصناف مقاومة وتحسين إدارة الكاكاو والموز**

تم تطوير وتوزيع أكثر من 160 صنفاً محسناً، مع تحسين استراتيجيات الإنتاج وإدارة المياه، مما رفع دخل المزارعين وحسن الأمن الغذائي في مناطق غرب أفريقيا (World Bank, 2021).

- **الصين: الزراعة الذكية الرقمية لحقول الأرز**

تم تطبيق أنظمة زراعة ذكية رقمية تشمل حساسات التربة ومنصات تحليل بيانات الطقس والتربة، مع تطبيقات هواتف ذكية للتوصيات اللحظية، فخفضت استهلاك المياه بنسبة تصل إلى 30% وزادت الإنتاجية، مع تحسين الاستقرار في ظروف مناخية متقلبة (FAO, 2022).

- **سويسرا: إنتاج الحليب الذكي وتحفيز المزارعين بيئياً**

استخدمت سويسرا نظام حوافز مالي مرتبط بتحقيق أهداف بيئية في تربية الأبقار وإنتاج الحليب، مدعوماً بتطبيقات ذكية لرصد النتائج وتحسين إدارة المراعي، مما أدى إلى تحسين بيئي وزيادة دخل المزارعين (World Bank, 2021).

- **نيكاراغوا، فيتنام، وزامبيا: الزراعة الذكية مناخياً مع مراعاة النوع الاجتماعي**

نفذت مشاريع زراعة ذكية تركزت على تمكين المرأة وإدماج المعرفة المحلية مع التقنيات الحديثة عبر التعليم المجتمعي والتعاونيات الرقمية، مما ساهم في تعزيز التبني المجتمعي والعدالة في توزيع الموارد (IFAD, 2022).

- **أوروبا (اليونان، إسبانيا، البرتغال): مشروع LIFE GAIA Sense**

طبق هذا المشروع أنظمة حساسات وتحليل بيانات بيئية متقدمة لمحاصيل متعددة، مما أدى إلى خفض استهلاك المياه والأسمدة، وتحسين ربحية المزارع وجودة الغلة في مناطق متنوعة مناخياً (LIFE GAIA Sense, 2021).

- **أمريكا اللاتينية (الإكوادور، هندوراس، بيرو): الزراعة الحافظة وتدوير النفايات** ركزت مبادرات في أمريكا اللاتينية على الزراعة الحافظة، مثل الزراعة بدون حراثة وتغطية التربة، مما أدى إلى تحسين بنية التربة، زيادة مخزون الكربون العضوي، وانخفاض التكاليف، مع تحسن جودة الإنتاج الحيواني (IADB, 2021).

8. الخاتمة

في ضوء التحديات المتعددة التي تواجه الأمن الغذائي في المناطق الهشة والريفية، تبرز أهمية تبني نهج متكامل يجمع بين التقنيات الزراعية الذكية منخفضة التكلفة، تمكين المجتمعات عبر التعليم الرقمي، وتعزيز الشراكات المجتمعية والابتكار المحلي. تُظهر التجارب الدولية أن تطبيق هذه الاستراتيجيات يؤدي إلى تحسين ملحوظ في الإنتاجية واستدامة الموارد الطبيعية، مما يعزز قدرة هذه المناطق على مواجهة الأزمات وتحقيق الأمن الغذائي. ولأن هذه المناطق تتميز بخصوصيات بيئية واجتماعية فريدة، فإن نجاح الحلول يتطلب تكييفها بما يتناسب مع السياقات المحلية، مع توفير الدعم التقني والمالي اللازم. وفي النهاية، يمثل الاستثمار في المعرفة والتعليم والابتكار الدعائم الأساسية لبناء مستقبل زراعي مستدام يحقق الأمن الغذائي لملايين السكان في المناطق الهشة والريفية.

9. المراجع

الفاو. 2022. بناء قدرة سكان الريف على الصمود في السياقات الهشة يجب أن يبقى في صدارة الأولويات. https://www.fao.org/newsroom/detail/

Clemens, M., & Demombynes, G. (2020). *Smart agriculture for food security: Case studies from fragile and rural regions*. Journal of Agricultural Innovation, 12(3), 157–178. https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1783932

FAO. (2021). *Digital cooperatives and farmer networks for sustainable agriculture in fragile environments*. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2022). *Climate-smart agriculture digital systems in China: Enhancing rice production efficiency*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets*. FAO. https://doi.org/10.4060/ca9692en

Gebreselassie, B., Tesfaye, K., & Desta, H. (2020). Low-cost drip irrigation systems integrated with soil moisture sensors: Effects on water use efficiency and crop yield in Ethiopia. *Irrigation Science*, 38(3), 273–284. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00674-8

Global Partnership for Sustainable Development Data. (2021). *Community-driven data for rural development*. GPSDD. https://www.data4sdgs.org/publications/community-driven-data-rural-development

IADB. (2021). *Sustainable agriculture and soil conservation in Latin America*. Inter-American Development Bank.

IAEA & FAO. (2023). *Climate-smart agriculture practices enhancing cotton productivity in Azerbaijan*. International Atomic Energy Agency & Food and Agriculture Organization.

IAEA. (2021). *Climate smart agriculture approaches in Kenya's drylands*. International Atomic Energy Agency.

IFAD. (2022). *Innovations in Rural Development for Food Security*. International Fund for Agricultural Development. https://www.ifad.org/en/web/knowledge/publication/asset/42029848

LIFE GAIA Sense Project. (2021). *Integrated smart agriculture practices in Mediterranean Europe*. LIFE Program Reports.

Smith, L., & Jones, A. (2019). *Low-cost smart farming technologies in developing rural areas: A review*. Agricultural Systems, 176, 102678. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102678

United Nations Development Programme (UNDP). (2021). *Digital solutions for rural resilience and food security*. UNDP.

https://www.undp.org/publications/digital-solutions-rural-resilience-food-security

World Bank. (2021). *Rural Development Report 2021: Transforming Agriculture in Rural Areas*. World Bank Publications. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/101815789427366400 0/rural-development-report-2021

World Bank. (2021). *Agricultural innovation and climate resilience in West Africa: Cocoa and banana sectors*. World Bank Group.

World Bank. (2021). *Smart livestock production and environmental incentives in Switzerland*. World Bank Reports.

World Bank. (2022). *Digital Green: Empowering Indian farmers with technology and knowledge*. World Bank Publications.

الفصل 30 - دور الزراعة الذكية في مواجهة أزمات الغذاء المستقبلية

المحتويات

1. المقدمة
2. سيناريوهات مستقبلية لأزمات الغذاء
3. الزراعة الرقمية كأداة للتنبؤ والاستعداد
4. الزراعة الحضرية وتقنيات الزراعة الرأسية
5. الأمن الغذائي في ظل تغير المناخ والكوارث
6. حلول تقنية للحد من فقد الغذاء والهدر
7. استراتيجيات وطنية وإقليمية مقترحة
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

تواجه البشرية في العصر الحديث تحديات متزايدة في مجال الأمن الغذائي، لا سيما مع تزايد عدد السكان وتفاقم آثار تغير المناخ والتقلبات الاقتصادية والسياسية. يتوقع أن يؤدي هذا إلى أزمات غذائية متكررة تفرض ضرورة إعادة التفكير في أنظمة الإنتاج الزراعي وأساليب إدارتها. في هذا السياق، تبرز الزراعة الذكية كحل استراتيجي يدمج بين التكنولوجيا الحديثة والابتكار لتعزيز كفاءة الإنتاج واستدامته. يُسلط هذا الفصل الضوء على دور الزراعة الذكية في مواجهة أزمات الغذاء المستقبلية، من خلال استعراض السيناريوهات المحتملة لهذه الأزمات، واستخدام الأدوات الرقمية والتقنيات الحديثة كالزراعة الرأسية، بالإضافة إلى استراتيجيات التعامل مع الأمن الغذائي في ظل التغير المناخي والكوارث، وصولاً إلى تقديم حلول تقنية للحد من فقد وهدر الغذاء واقتراح استراتيجيات وطنية وإقليمية متكاملة.

2. سيناريوهات مستقبلية لأزمات الغذاء

تشير العديد من الدراسات والتقارير الدولية إلى أن أزمات الغذاء في المستقبل قد تتخذ أشكالاً متعددة نتيجة تفاعل عدة عوامل متشابكة. من أبرز السيناريوهات المستقبلية المتوقع حدوثها هو استمرار زيادة الطلب على الغذاء نتيجة للنمو السكاني المتسارع، الذي من المتوقع أن يصل إلى حوالي 9.7 مليار نسمة بحلول عام 2050 (United Nations, 2023). هذا النمو سيزيد من الضغوط على الموارد الزراعية الطبيعية، مثل الأراضي والمياه.

أزمة الغذاء العالمية: الجوع في مرايا الأدب (الهيتاوي، 2023).

بالإضافة إلى ذلك، تتعرض الأراضي الزراعية لضغوط متزايدة بسبب التحضر وتدهور الأراضي والتغيرات المناخية، والتي تؤدي إلى تدهور جودة التربة وانخفاض الإنتاجية الزراعية (FAO, 2021). كما أن النزاعات والحروب وأزمات اللاجئين في العديد من المناطق الهشة تزيد من هشاشة الأمن الغذائي، إذ تتسبب في تعطيل سلاسل الإمداد الغذائي وتفاقم حالة الفقر والجوع (World Bank, 2022).

في هذا السياق، يشكل تغير المناخ عاملاً حاسماً في زيادة تذبذب الإنتاج الزراعي من خلال الظواهر المناخية المتطرفة مثل الجفاف، الفيضانات، والعواصف، والتي تؤثر بشكل مباشر على كميات وجودة المحاصيل الزراعية (IPCC, 2022). هذا الوضع يستدعي تبني استراتيجيات جديدة تعتمد على التكنولوجيا لتعزيز مرونة النظام الغذائي واستجابته للأزمات المحتملة.

3. الزراعة الرقمية كأداة للتنبؤ والاستعداد

تعتبر الزراعة الرقمية من أهم الأدوات الحديثة التي تسهم في تحسين كفاءة الإنتاج الزراعي وزيادة القدرة على التنبؤ بالمخاطر والتحديات التي تواجه القطاع الزراعي. ويعتمد هذا النوع من الزراعة على تقنيات متطورة تشمل إنترنت الأشياء (IoT)، والاستشعار عن بعد، والطائرات المسيرة (الدرونز)، والذكاء الاصطناعي، إذ تتيح هذه التقنيات جمع بيانات آنية ودقيقة حول حالة المحاصيل والظروف البيئية المحيطة بها (Wolfert *et al*., 2017).

تمكّن هذه التقنيات من رصد العوامل المناخية الحيوية مثل درجة الحرارة، الرطوبة، هطول الأمطار، ومستوى الضوء، مما يسمح بتطوير نماذج تنبؤية متقدمة تساعد المزارعين وصناع القرار على اتخاذ قرارات مبكرة واستباقية للتكيف مع التغيرات المناخية وتقليل مخاطر ظهور الآفات الزراعية. كما تُستخدم هذه النماذج في تخطيط مواعيد الزراعة والحصاد بشكل مثالي، مما يعزز استقرار الإنتاج الزراعي (Liakos *et al*., 2018).

بالإضافة إلى ذلك، توفر الزراعة الرقمية إمكانية تحليل كميات ضخمة من البيانات (Big Data) المتعلقة بالموارد الزراعية، مما يسهم في إدارة أكثر دقة وكفاءة لموارد مثل المياه والأسمدة. يترتب على ذلك تقليل الهدر والاستخدام المفرط للموارد، وتحقيق استدامة أعلى في الإنتاج الزراعي (Wolfert *et al*., 2017).

تُعد منصات الزراعة الذكية ذات أهمية خاصة لدعم المزارعين وصناع القرار في المناطق الهشة والريفية، حيث تتيح لهم الوصول إلى المعلومات الزراعية الضرورية وتحسين ممارسات الزراعة لديهم، رغم محدودية الموارد والبنية التحتية. هذه المميزات تعزز قدرة تلك المناطق على الصمود والتكيف مع التحديات والأزمات المناخية والبيئية (FAO, 2019).

4. الزراعة الحضرية وتقنيات الزراعة الرأسية

في ظل التوسع السكاني والتوجه المتزايد نحو التحضر، أصبحت الحاجة ملحة لإعادة تصور أنظمة إنتاج الغذاء داخل المدن. يُعدُّ كل من الزراعة الحضرية وتقنيات الزراعة الرأسية من الحلول المبتكرة التي تتيح زيادة الإنتاج الغذائي بشكل مستدام داخل المناطق الحضرية، مما يقلل الاعتماد على الإمدادات الغذائية الخارجية ويخفف من مخاطر انقطاع سلاسل الإمداد الغذائي (Despommier, 2013).

الزراعة الرأسية

تعتمد الزراعة الرأسية على زراعة المحاصيل في طبقات متعددة داخل منشآت مبنية أو مساحات عمودية، وهو ما يسمح باستخدام محدود وفعال للمساحات، وبذلك توفر خياراً مثالياً للمدن ذات الكثافة السكانية المرتفعة. تتميز هذه الطريقة بانخفاض كبير في استهلاك المياه والأسمدة مقارنة بالزراعة التقليدية، كما تساهم في تقليل التأثير البيئي السلبي من خلال التحكم الدقيق في الظروف المناخية للزراعة، مثل درجة الحرارة، والرطوبة، والإضاءة، مما يؤدي إلى إنتاج محاصيل ذات جودة عالية وبتكلفة زمنية أقل (Kozai, 2019).

المزارع الرأسية ابتكار لا يعالج التكلفة (عفانه، 2014).

تجارب عالمية ناجحة

شهدت عدة مدن عالمية تطبيقات ناجحة للزراعة الحضرية والزراعة الرأسية، منها:

- **سنغافورة**: حيث استثمرت المدينة في مزارع رأسية مغلقة داخل المباني لتوفير الغذاء الطازج للسكان، مستفيدة من التقنيات المتطورة مثل الإضاءة الصناعية (LED) والتحكم الآلي في التغذية المائية، مما أسهم في توفير فرص عمل جديدة وتعزيز الأمن الغذائي المحلي.
- **نيويورك**: استخدمت مزارع رأسية حديثة في المناطق الحضرية كجزء من برامج التنمية المستدامة التي تركز على تقليل البصمة الكربونية الناتجة عن نقل وتخزين المواد الغذائية، مع إنتاج محاصيل طازجة قريبة من أماكن الاستهلاك (Kozai, 2019; Despommier, 2013).

الإيجابيات البيئية والاجتماعية

تعمل الزراعة الرأسية والحضرية على تقليل الانبعاثات الكربونية الناجمة عن النقل اللوجستي للمحاصيل الزراعية، كما تساهم في تحسين جودة هواء المدن من خلال زيادة المساحات الخضراء وتقليل الحرارة الحضرية. إلى جانب ذلك، توفر هذه التقنيات فرص عمل جديدة، وتعزز من وعي المجتمع بأهمية الزراعة المستدامة، خاصة في المناطق التي تشهد نقصاً في الأراضي الصالحة للزراعة (Despommier, 2013).

5. الأمن الغذائي في ظل تغير المناخ والكوارث

يُعتبر تغير المناخ من أبرز التحديات التي تؤثر سلباً على الأمن الغذائي العالمي، حيث يفاقم من تواتر وشدة الكوارث الطبيعية مثل الجفاف والفيضانات والعواصف، مما يؤدي إلى تراجع الإنتاج الزراعي وزيادة المخاطر التي تواجه المزارعين، وخصوصاً في المناطق الهشة والفقيرة (Porter *et al*., 2014). تُسبب هذه الظواهر تقلبات غير متوقعة في المحاصيل وتغير المواعيد الموسمية للزراعة والحصاد، مما يُفرض على الأنظمة الزراعية ضرورة التكيف السريع والفعال.

استراتيجيات التعامل مع التحديات:

- **تطبيق تقنيات الزراعة الذكية:**

تبرز الزراعة الذكية كإطار حديث قادر على رفع كفاءة إدارة الموارد وتحسين الإنتاجية الزراعية رغم الظروف البيئية المتقلبة. من أبرز هذه التقنيات:

- **الزراعة الدقيقة**: التي تعتمد على استخدام أجهزة استشعار متطورة لمراقبة الخصائص البيئية (مثل رطوبة التربة، درجة الحرارة، ونوعية الهواء) بشكل مستمر، ما يمكّن من توفير مياه الري والأسمدة بدقة عالية ووفق

الحاجة الفعلية للنباتات، وبالتالي تقليل الهدر وتحسين الإنتاج (Garnett *et al*., 2013).

- استخدام **الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الكبيرة** لتحليل أنماط الطقس، والتنبؤ بالكوارث الزراعية واتخاذ قرارات أفضل مثل توقيت الزراعة ورصد الآفات.

- **تطوير أصناف مقاومة للضغوط المناخية:**

يعتبر البحث والتطوير في مجال الهندسة الوراثية والتقنيات الحيوية من الأدوات الرائدة لابتكار أصناف محاصيل مقاومة للجفاف، ودرجات ملوحة التربة العالية، وارتفاع درجات الحرارة. تتيح هذه الموارد الوراثية الجديدة توسيع المساحات الصالحة للزراعة وتحسين الاستقرار الإنتاجي في المناطق المتأثرة (Tester & Langridge, 2010).

- **بناء القدرات المجتمعية وتعزيز مرونة النظم الزراعية:**

إلى جانب التكنولوجيا، يلعب تمكين المجتمعات المحلية دوراً حاسماً في ضمان استدامة الأمن الغذائي، ويشمل ذلك:

- تبني ممارسات الزراعة المستدامة التي تسمح بالحفاظ على التربة والمياه.
- إنشاء آليات تخزين الغذاء بشكل آمن لتوفير الإمدادات في أوقات الأزمات.
- تنويع مصادر الدخل لدى الأسر الزراعية لتقليل الاعتماد الاقتصادي على المحصول الواحد، مما يعزز قدرتهم على الصمود في مواجهة الصدمات (FAO, 2018).

التغيرات المناخية تزيد من تحديات الأمن الغذائي، لكن تكامل التقنيات الذكية في الزراعة وتطوير القدرات البشرية والمجتمعية يمكن أن يخفف من آثار هذه التحديات بشكل كبير. الاعتماد على الزراعة الدقيقة، محاصيل متكيفة مع الظروف

القاسية، وتمكين المجتمعات من مواجهة الأزمات بأدوات مستدامة، يشكلون معاً منظومة متكاملة لضمان استدامة الغذاء في ظل تغير المناخ والكوارث الطبيعية.

6. حلول تقنية للحد من فقد الغذاء والهدر

يمثل فقد الغذاء وهدره تحدياً بيئياً واقتصادياً كبيراً يساهم في تفاقم أزمات الأمن الغذائي، حيث تشير الدراسات إلى أن حوالي ثلث الإنتاج الغذائي العالمي يُفقد أو يُهدر قبل أن يصل إلى المستهلك النهائي (Gustavsson *et al*., 2011). وللتقليل من هذه الخسائر، توفّر التقنيات الحديثة حلولاً مبتكرة على طول سلسلة الإمداد الغذائي، تشمل الإنتاج، التخزين، النقل، وحتى الاستهلاك.

ضرورة التقليل من نفايات الطعام (المستقبل الأخضر، 2023).

نظم التتبع والرقابة الرقمية

تعتمد هذه النظم على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأجهزة الاستشعار التي ترصد ظروف التخزين والنقل في الوقت الحقيقي، مثل درجة الحرارة والرطوبة والاهتزاز، لضمان سلامة المنتجات وحمايتها من التلف. إضافة لذلك، تُستخدم

تقنيات البلوك تشين (Blockchain) لتسجيل وتتبع مسار المنتجات عبر سلسلة التوريد بشكل شفاف وغير قابل للتلاعب، الأمر الذي يعزز الثقة بين الموردين والمستهلكين، ويسمح بإدارة المخزون بكفاءة عالية وتقليل الفاقد (Kamilaris *et al*., 2019).

- **التعبئة الذكية والمواد النشطة**

تلعب التعبئة والتغليف الذكي دوراً جوهرياً في تمديد فترة صلاحية المنتجات الزراعية. باستخدام عبوات مزودة بمؤشرات حساسة للتغيرات في درجة الحرارة أو مستويات الغازات مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، يمكن التنبيه إلى بداية تدهور المنتج. كما تعتمد بعض المواد النشطة داخل التغليف على خواص مضادة للأكسدة أو مضادة للميكروبات للحفاظ على جودة الغذاء لفترات أطول، مما يقلل من التلف والهدر داخل خطوط التوزيع والتخزين (Kumar *et al*., 2021).

- **تطبيقات ومبادرات المستهلك الرقمي**

تلعب التطبيقات الرقمية دوراً متزايد الأهمية في تمكين المستهلكين من تبني سلوكيات مستدامة تقلل من فقد وهدر الغذاء على المستوى الفردي والأُسري. وفيما يلي أبرز أنواع التطبيقات والمبادرات التي تسهم في ذلك:

- **منصات تبادل المنتجات الزراعية الطازجة**

توفر هذه المنصات الرقمية مساحة تفاعلية تتيح للمستهلكين بيع أو تبادل الفائض من المنتجات الزراعية الطازجة لديهم سواء بين الأفراد أنفسهم أو بين المستهلكين والمتاجر المحلية. تساعد هذه المبادرات في تقليل الهدر عبر تصريف المنتجات قبل انتهاء فترة صلاحيتها، كما تدعم الاقتصاد الدائري وتحفز المشاركة المجتمعّية في تقليل الفاقد الغذائي.

أمثلة: تطبيقات مثل "Too Good To Go" و "OLIO" تتيح للمستخدمين عرض أو الحصول على فائض الطعام بأسعار مخفضة، مما يقلل من بقاء الطعام الفائض في المنازل أو المتاجر بلا استهلاك.

- **توصيات شديدة الذكاء لإدارة شراء الطعام**

تعتمد بعض التطبيقات على الذكاء الاصطناعي وتحليل بيانات نمط استهلاك المستهلك الفردي أو العائلة، لتقديم توصيات ذكية تساعدهم على شراء الكميات المناسبة من المواد الغذائية حسب حاجتهم الفعلية، مما يحد من شراء كميات زائدة قد تؤدي إلى الهدر.

هذه التوصيات تأخذ بعين الاعتبار مواعيد انتهاء الصلاحية، وتفضيلات الاستهلاك، ومخزونات المنازل، لتنظيم قوائم التسوق والإنذار قبل نفاد السلع.

- **إرشادات وحلول مبتكرة لحفظ وتخزين الطعام**

تمكّن التطبيقات عبر المحتوى التعليمي والفيديوهات التوعوية المستهلكين من تعلم طرق حفظ الطعام الصحيحة التي تطيل فترة صلاحيته، مثل استخدام طرق التبريد المناسبة، والتجميد، والتغليف بمواد تحافظ على الطزاجة.

تتضمن بعض التطبيقات إشعارات دورية تذكّر المستخدم بموعد انتهاء صلاحية المنتجات المخزنة، إضافة إلى نصائح عملية لتجهيز وصفات باستخدام المكونات المتاحة قبل تلفها.

أثر هذه التطبيقات الرقمية

تشجع هذه التطبيقات نمط حياة أكثر وعياً بيئياً واقتصادياً، وتخفض من الأعباء المادية والبيئية المترتبة على فقد وهدر الغذاء، كما تساعد في بناء ثقافة الاستهلاك المستدام وتعزيز الأمن الغذائي على المستوى المنزلي.

توفر الحلول التقنية المتكاملة من تتبع ذكي عبر إنترنت الأشياء وتقنيات البلوك تشين، إلى التعبئة الذكية والتطبيقات الموجهة للمستهلك، أدوات فعالة لتقليل فقد الغذاء وهدره عبر مختلف مراحل سلسلة الإمداد الغذائي. يتيح هذا التكامل الاستفادة المثلى من الموارد الزراعية وتحسين الأمن الغذائي العالمي عبر خفض الخسائر المادية والمالية والبيئية.

7. استراتيجيات وطنية وإقليمية مقترحة

لمواجهة التحديات المتزايدة التي تهدد الأمن الغذائي على الصعيدين الوطني والإقليمي، يصبح من الضروري تبني استراتيجيات شاملة ومتجانسة تدمج بين التكنولوجيا والسياسات الزراعية والاقتصادية والاجتماعية. وتستند هذه الاستراتيجيات إلى عدد من الركائز الأساسية:

- **دعم البحث العلمي وتطوير البنية التحتية الرقمية**

تشكّل الاستثمارات في تطوير منظومة زراعية ذكية متكاملة من خلال استغلال البيانات الضخمة (Big Data) والذكاء الاصطناعي (AI) عاملاً محورياً لتحسين إنتاجية المحاصيل وإدارة الموارد بطريقة فعالة ومستدامة (Rose *et al*., 2021) وذلك يشمل تحديث شبكات الاتصالات في المناطق الريفية، وتحسين قواعد البيانات الزراعية، وتوفير منصات رقمية متقدمة تخدم تخطيط وإدارة الزراعة.

- **تعزيز التعاون بين القطاعات المختلفة**

يستلزم الانتقال إلى نظام زراعي ذكي تعاوناً فعّالاً بين الجهات الحكومية، والقطاع الخاص، والمجتمع المدني، حيث يضمن ذلك تنسيق الجهود وتكامل الأدوار لتوفير الدعم المالي والتقني والتعليم المناسب للمزارعين، لاسيما صغار المنتجين في المناطق الهشة (World Bank, 2020).

- **دعم صغار المزارعين والتقنيات منخفضة التكلفة**

يتطلب الأمر تبني سياسات تمكّن صغار المزارعين من الوصول إلى التمويل والتدريب والتقنيات الرقمية منخفضة الكلفة، ما يسهم في تقليل الفجوات الرقمية والتقنية، وزيادة فرص التكيف مع تغير المناخ وتحسين سبل الإنتاج (Rose *et al*., 2021).

- **دور المنظمات الإقليمية والمنظومات التعاونية**

تلعب المنظمات الإقليمية دوراً حيوياً في تنسيق السياسات الزراعية وتبادل المعارف والتجارب الناجحة بين الدول، بالإضافة إلى إنشاء مخازن غذائية استراتيجية تعزز جاهزية المنطقة في أوقات الطوارئ، مما يضمن استمرارية سلاسل الإمداد الغذائي (FAO, 2020).

- **تعزيز الشراكات الدولية وبناء القدرات**

على المستوى الدولي، تتيح الشراكات مع المنظمات العالمية والجهات المانحة فرصاً لتمويل مشاريع الزراعة الذكية، وبناء القدرات الفنية والتكنولوجية، وتوفير الخبرات اللازمة، بما يدعم استدامة النظم الغذائية ويعزز القدرة على مواجهة الأزمات المستقبلية (FAO, 2020).

8. الخاتمة

إن التحديات المزمنة والمستجدة المتعلقة بالأمن الغذائي، والتي تتمثل في تغير المناخ والكوارث البيئية، تطلب اعتماد حلول ذكية ومرنة تدمج بين الابتكار التكنولوجي والمعرفة التقليدية ضمن خطة استراتيجية شاملة. تمثل الزراعة الذكية منصة متكاملة تضم البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي، والتقنيات الزراعية الحديثة، لتعزيز القدرة على التنبؤ بالمخاطر والاستعداد المبكر للأزمات، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، والتقليل من الفاقد الغذائي.

تتجلى أهمية هذه الاستراتيجيات في التنسيق المحكم بين السياسات الوطنية والإقليمية، ودعم شبكات الشراكات المجتمعية والمزارعين، لضمان بيئة ملائمة لإدخال التكنولوجيا وتبنيها، مما يساعد على بناء نظام غذائي عالمي أكثر مرونة واستدامة. ومن خلال الدمج الذكي للتقنيات الحديثة مع التخطيط الاستراتيجي والمعرفة المحلية، يمكن ضمان أمن غذائي شامل ومستدام في ظل بيئة عالمية متغيرة ومتقلبة.

9. المراجع

المستقبل الأخضر. 2023. 11حلاً فعالاً لتقليل نفايات الطعام ... دليلك التفصيلي للأكل الآمن صحياً. https://greenfue.com

عفانه، لانا. 2014. المزارع الرأسية ابتكار لا يعالج التكلفة - الخبراء يعكفون على تطوير إنتاجية القطاع مع تقليل التكلفة والجهد. البيان https://www.albayan.ae/five-senses/the-4-courners/2014-03-24-1.2087207

الهيتاوي، منعم. 2023. أزمة الغذاء العالمية: الجوع في مرايا الأدب. الفيصل. https://www.alfaisalmag.com/?p=28098

FAO. (2018). *The state of food security and nutrition in the world 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2020). *Building resilient food systems: pathways to resilience*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Garnett, T., *et al*. (2013). Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.

Kumar, R., *et al*. (2021). Smart packaging technologies for extending shelf life of perishable foods. *Food Packaging and Shelf Life*, 27, 100605.

Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065-3081.

Porter, J. R., *et al*. (2014). Food security and food production systems. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment*

Report of the IPCC (pp. 485-533). Cambridge University Press.

Rose, D. C., *et al*. (2021). Improving the contribution of research to decision-making in sustainability science. *Sustainability Science*, 16(1), 209-223.

Tester, M., & Langridge, P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818-822.

World Bank. (2020). *Agriculture and food: supporting smallholder farmers*. World Bank Group. https://www.worldbank.org/ en/topic/agriculture

الفصل 31 - السياسات الزراعية الذكية ودعم الأمن الغذائي

المحتويات

1. المقدمة
2. الإطار السياسي والتنظيمي للزراعة الذكية
3. أدوات السياسة لتعزيز الابتكار الزراعي
4. تمويل الزراعة الذكية
5. التشريعات الخاصة بحماية البيانات والأمن السيبراني
6. الشراكات والتعاون الإقليمي والدولي
7. التحديات والفرص في تطبيق السياسات الزراعية الذكية
8. دراسات حالة
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

يشهد القطاع الزراعي تحولات جذرية في ظل التقدم التكنولوجي المتسارع، حيث باتت السياسات الزراعية الذكية تشكل ركيزة أساسية لتحقيق الأمن الغذائي المستدام. إذ تعمل هذه السياسات على توجيه الجهود نحو دمج التقنيات الرقمية والابتكارات الحديثة في منظومة الإنتاج الزراعي، مما يساهم في زيادة الإنتاجية، تحسين إدارة الموارد، وتقليل الأضرار البيئية. ومع تزايد التحديات التي تواجه الزراعة على المستوى العالمي، من تغير المناخ إلى النمو السكاني، أصبح من الضروري تبني أطر سياسية وتنظيمية متقدمة تدعم الابتكار وتضمن استدامة القطاع الزراعي. يعرض هذا الفصل الإطار السياسي والتنظيمي للزراعة الذكية، الأدوات والسياسات الداعمة، التمويل، التشريعات، الشراكات، التحديات، وفرص التطبيق، مستنداً إلى دراسات حالة من دول متقدمة ودول نامية لتعزيز فهم استراتيجيات نجاح الزراعة الذكية في دعم الأمن الغذائي.

دعم الأمن الغذائي من خلال السياسات الزراعية الذكية (عبد السلام، 2022).

2. الإطار السياسي والتنظيمي للزراعة الذكية

يمثل الإطار السياسي والتنظيمي العمود الفقري الذي يدعم نجاح تطبيقات الزراعة الذكية، إذ يشكل مجموعة القوانين واللوائح والسياسات التي تحدد كيفية إدارة الموارد الزراعية، وتحفيز الابتكار، وضمان دمج التقنيات الحديثة في القطاع الزراعي بشكل مستدام. ويُعد التنسيق بين الجهات الحكومية والهيئات المختصة أمراً حاسماً لتوحيد الجهود وتجنب تداخل السياسات التي قد تؤدي إلى عرقلة التطور التقني.

في العديد من الدول، تم إعداد استراتيجيات وطنية شاملة للزراعة الذكية، مثل "الخطة الوطنية للزراعة الذكية" في كوريا الجنوبية التي تضم معايير تنظيمية لتبني إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي، مع تحديد أدوار واضحة للوزارات المختصة (Lee *et al.*, 2022). كذلك، شكل الاتحاد الأوروبي إطاراً تنظيمياً صارماً يدعم الزراعة الرقمية ضمن مبادرات "الزراعة الذكية الأوروبية (SmartAgriHubs)"، التي ترتكز على الحوكمة الرقمية ومشاركة البيانات المفتوحة مع مراعاة خصوصية المزارعين (European Commission, 2023).

تتضمن السياسات الفعالة وضع معايير واضحة للمنتجات الزراعية الذكية، تشجيع تبادل البيانات الزراعية، وضمان الشفافية في سلسلة التوريد. علاوة على ذلك، يجب أن تراعي هذه الأطر السياسية التحديات الخاصة بالمناطق الريفية والنائية التي تعاني من ضعف البنية التحتية الرقمية.

3. أدوات السياسة لتعزيز الابتكار الزراعي

تلعب الأدوات السياسية دوراً محورياً في دفع عجلة الابتكار داخل قطاع الزراعة الذكية، عبر خلق بيئة تشريعية وتمويلية محفزة تُمكّن المزارعين وشركات التكنولوجيا من تبني واستخدام التقنيات الحديثة بفاعلية. تتنوع هذه الأدوات بين الدعم المالي المباشر، والحوافز الضريبية، والتشريعات التنظيمية، وبرامج البحث والتطوير، وتعد جميعها من العوامل الحاسمة لتمكين الاقتصاد الزراعي الحديث.

- **الدعم المالي والحوافز الاقتصادية**

- **الحوافز المالية للقطاع الزراعي:** توفر الحكومات منحاً وقروضاً بفوائد منخفضة لتشجيع صغار ومزارعي القطاع الخاص على اعتماد تقنيات مثل أجهزة الاستشعار عن بعد، والطائرات بدون طيار، وأنظمة إدارة البيانات الضخمة.
- **حوافز ضريبية:** تقدم بعض الدول خصومات أو إعفاءات ضريبية على استيراد وشراء المعدات الذكية، مما يقلل العبء المالي على المستثمرين والمزارعين.

أمثلة:

- **ألمانيا:** أطلقت الحكومة برنامج "التحول الزراعي الذكي (Smart Farming Transformation)" الذي يوفر حوافز مالية لدعم شراء معدات الزراعة الدقيقة بهدف خفض الأثر البيئي وزيادة الإنتاجية (BMEL, 2023).

- **كندا:** تدير وزارة الزراعة صندوق "AgriInnovate" الذي يمنح قروضاً بفوائد مخفضة للشركات الناشئة والمبتكرة في مجال التكنولوجيا الزراعية المستدامة (Agriculture Canada, 2022).

- **التشريعات والتنظيمات**

- **حماية الخصوصية وأمن البيانات:** تضع الحكومات أنظمة وقوانين لضمان جمع واستخدام بيانات المزارعين بطريقة تحمي خصوصيتهم وتبني ثقة المستخدمين، مما يشجع المزيد على الانخراط في استعمال التكنولوجيا الرقمية.
- **معايير تقنية:** وضع معايير دولية ومحلية لضمان جودة واعتمادية الأجهزة والبرمجيات الزراعية الذكية، وتقليل مخاطر الفشل التكنولوجي أو التشويش في الأنظمة.

- **برامج البحث والتطوير والتعاون المؤسساتي**

- **بناء مراكز بحث وتطوير متقدمة:** تشجع الحكومات إنشاء مراكز متخصصة تجمع الباحثين الجامعيين مع القطاع الخاص للعمل على تطوير حلول متكاملة تلبي احتياجات الزراعة الذكية.
- **تشجيع التعاون بين الجامعات والشركات:** عبر تمويل مشاريع مشتركة ومنح دراسية ومبادرات تبادل المعرفة، لتعزيز الابتكار التكنولوجي وتسريع انتقاله إلى المزارع.

- **تشجيع روح المبادرة والابتكار**

- تنظيم مسابقات وجوائز للابتكار الزراعي الذكي، لدعم المبادرات الريادية والمشاريع الصغيرة والمتوسطة التي تقدم حلولاً ذكية محلية ومنخفضة الكلفة، خصوصا في المناطق الريفية.

4. تمويل الزراعة الذكية

يُعتبر التمويل من الركائز الأساسية لنجاح مشاريع الزراعة الذكية، لا سيما في المراحل الأولية التي تتطلب استثمارات كبيرة ومتعددة في التكنولوجيا الحديثة والبنية التحتية الرقمية. ويعتمد التمويل على مصادر متعددة متكاملة لضمان استدامة الدعم ونمو الابتكار.

الزراعية الذكية خطوة جديدة نحو تحقيق الأمن الغذائي المستدام (الوطن، 2024).

- **مصادر التمويل المتنوعة**

- **التمويل الحكومي:** تقدم الحكومات برامج دعم مالي، ومنحاً، وقروضاً ميسرة من خلال وزارات الزراعة أو التعاونيات الزراعية الوطنية، بهدف تشجيع المزارعين على اعتماد تقنيات الزراعة الذكية وتحسين البنية التحتية الرقمية.
- **التمويل الدولي:** تلعب المؤسسات الدولية دوراً حيوياً في دعم الزراعة الذكية، حيث توجه مؤسسات مثل البنك الدولي وبرنامج الأغذية العالمي استثمارات ومنحاً لدعم البنية التحتية الرقمية الزراعية في الدول النامية. فهذه الجهات تقدم

قروضاً ميسرة ومنحاً تساعد في تنفيذ مشاريع واسعة النطاق تهدف إلى تعزيز الأمن الغذائي من خلال تبني التقنيات الحديثة (World Bank, 2022).

- **الاستثمارات الخاصة:** تشهد الاستثمارات في الشركات الناشئة التي تبتكر حلولاً ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات الضخمة، وإنترنت الأشياء، نمواً ملحوظاً. تعكس هذه الاستثمارات ثقة كبيرة في إمكانيات القطاع الزراعي الرقمي وعودته الاقتصادية المستقبلية.
- **التمويل الأصغر الرقمي:** يُعدّ من المبادرات الفعالة التي تمكن صغار المزارعين في الأسواق الناشئة من الوصول إلى التمويل اللازم لشراء تقنيات الزراعة الذكية مثل أجهزة الاستشعار والحساسات، مما يسهل تبني التقنيات الحديثة حتى في المناطق ذات الموارد المالية المحدودة (CGAP, 2021).

- **آليات التمويل المختلط (الشراكات بين القطاعين العام والخاص)**

- تعتمد هذه الآلية على دمج دور القطاع العام في توفير البنية التحتية والسياسات الداعمة مع استثمار القطاع الخاص في تطوير التكنولوجيا والابتكار. تساعد آليات التمويل المختلط في تقاسم المخاطر المالية، وتوسيع نطاق التقنيات الذكية إلى مجتمعات زراعية أوسع.
- تسهم هذه الشراكات في خلق بيئة استثمارية أكثر استقراراً وجاذبية، كما تسرع من وتيرة تبني التقنيات الحديثة في القطاع الزراعي.

يمثل التمويل حجر الأساس في تحقيق النجاح والاستدامة لمشروعات الزراعة الذكية، ويتطلب ذلك نموذج تمويلي متكامل يجمع بين التمويل الحكومي، الدولي، والاستثمارات الخاصة، إلى جانب آليات تمويل مرنة مثل التمويل الأصغر الرقمي والشراكات بين القطاعين العام والخاص. يوفر هذا التنوع في مصادر التمويل البيئة اللازمة لتعزيز الابتكار وتحقيق الأمن الغذائي في ظل تحديات العصر.

5. التشريعات الخاصة بحماية البيانات والأمن السيبراني

مع تصاعد التحول الرقمي في القطاع الزراعي واعتماد تقنيات مثل إنترنت الأشياء، الذكاء الاصطناعي، والتحليل البياني الضخم، أصبحت التشريعات الخاصة بحماية البيانات والأمن السيبراني ضرورة لا غنى عنها لحماية المزارعين والمؤسسات الزراعية من المخاطر الإلكترونية وحفظ خصوصيتهم.

- **معايير وقواعد حماية البيانات**

تُعتبر حماية البيانات الشخصية والزراعية الحساسة من أهم التحديات في الزراعة الذكية. تشمل التشريعات الناجعة:

- وضع قواعد صارمة لجمع البيانات: تحديد نوعية البيانات التي يُسمح بجمعها من الحقول والمزارعين، وضمان الشفافية في الحصول على الموافقة.
- تنظيم استخدام البيانات: اقتصار التعامل مع المعلومات لأغراض محددة ومنع نقلها أو بيعها دون إذن.
- شروط تخزين ونقل البيانات: اشتراط تخزين البيانات بشكل آمن، مع تطبيق بروتوكولات مشفرة في عمليات النقل بين الأنظمة، لضمان عدم تسريب المعلومات لأي جهة غير مصرح لها.

- **التشريعات الدولية والنماذج الرائدة**

- **اللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR) في الاتحاد الأوروبي:**

تم اعتماد GDPR كمعيار دولي يُلزم كل المؤسسات، بما فيها تلك العاملة في التقنية الزراعية، باحترام معايير عالية للخصوصية والشفافية. على سبيل المثال، يجب أن تخضع كل عملية رقمية زراعية لجمع بيانات المزارعين لموافقة مُسبقة واضحة وأن تؤمن حق الفرد في الاطلاع والتعديل والحذف (Voigt & Von dem Bussche, 2017).

- **تشريعات الولايات المتحدة:**

تتجه الجهات المختصة مثل وزارة الزراعة الأمريكية نحو سن تشريعات متخصصة لحماية البيانات الرقمية الزراعية، مع التركيز على سيادة المزارع على بياناته، وتطوير سياسات أكثر صرامة في ظل تزايد مخاطر استغلال البيانات مع توسع الابتكار الرقمي (USDA, 2023).

- **الأمن السيبراني في الزراعة الذكية**

اعتماد الزراعة الذكية على الشبكات السحابية، إنترنت الأشياء، وتبادل البيانات، يُعرّض القطاع لمخاطر الهجمات الإلكترونية والاختراقات، ما يجعل الأمن السيبراني ركيزة أساسية لتشريعات القطاع. يوصى بالتالي:

- بناء بنية تحتية قوية للأمن السيبراني تشمل برمجيات حماية متقدمة، وأنظمة كشف التسلل، وسياسات نسخ احتياطي مستمرة.
- توفير التدريب المنتظم للمزارعين والكوادر الزراعية حول التهديدات الإلكترونية الشائعة وأساليب التصدي لها.
- مراقبة مستمرة للنظم والمنصات الزراعية، وتحديث أطر الحماية بشكل دوري لمواكبة تطور التهديدات الرقمية.
- تفعيل التعاون القانوني والتقني بين القطاعين العام والخاص لتعزيز مستوى الحماية الوطني للأنظمة الزراعية وتبادل الخبرات والمعلومات حول التهديدات والتصدي لها.

إن وجود تشريعات واضحة وفاعلة في حماية البيانات والأمن السيبراني يمثل الأساس لنشر الثقة في تقنيات الزراعة الذكية، ويساعد على تحقيق الاستفادة القصوى من التحول الرقمي مع الحد من المخاطر المرتبطة به، بما يضمن استدامة القطاع الزراعي وأمنه في العصر الرقمي الحديث.

6. الشراكات والتعاون الإقليمي والدولي

تتضمن الشراكات والتعاون الدولي والإقليمي في مجال الزراعة الذكية دوراً محورياً في تعزيز الابتكار وتحقيق الأمن الغذائي، من خلال الدمج بين التكنولوجيا وتطوير البنية التحتية الرقمية ودعم المجتمعات الزراعية، كما يلي:

- **التكامل الإقليمي في أفريقيا:**

  - مبادرة "تحالف الزراعة الرقمية في أفريقيا (Digital Agriculture Alliance Africa)" تعمل على جمع جهود دول أفريقية متعددة لتعزيز التكامل في استخدام التقنيات الذكية مثل إنترنت الأشياء، البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي.
  - توفر المنصات الرقمية المشتركة دعماً مباشراً للمزارعين عبر توفير المعلومات الزراعية، تقنيات الزراعة الدقيقة، وخدمات الإرشاد الفني، مما يعزز كفاءة الإنتاج ويحفز الاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية (FAO, 2023).

- **مشاريع التعاون التقنية في أمريكا اللاتينية:**

  - تعمل دول مثل البرازيل والمكسيك على تنفيذ مشاريع تقنية مشتركة تركز على الزراعة الدقيقة والذكاء الاصطناعي لمواجهة تحديات الأمن الغذائي، من خلال تحسين رصد المحاصيل، التنبؤ بالعوامل المناخية، وتحليل البيانات الزراعية لضبط ممارسات الإنتاج بشكل ذكي ومستدام (OECD, 2022).

- **دور الشراكات الدولية والتنموية:**

  - منظمة الأغذية والزراعة (FAO) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) يقودان شراكات دولية توفر التمويل والدعم الفني للبحوث والابتكار، مع التركيز على دمج التقنيات الزراعية الحديثة في السياسات الزراعية الوطنية.

- تشمل هذه الدعم التدريبي للمزارعين وصناع القرار لتعزيز القدرات التقنية وتنفيذ حلول ذكية متكاملة تعزز صمود النظم الزراعية (FAO, 2022).

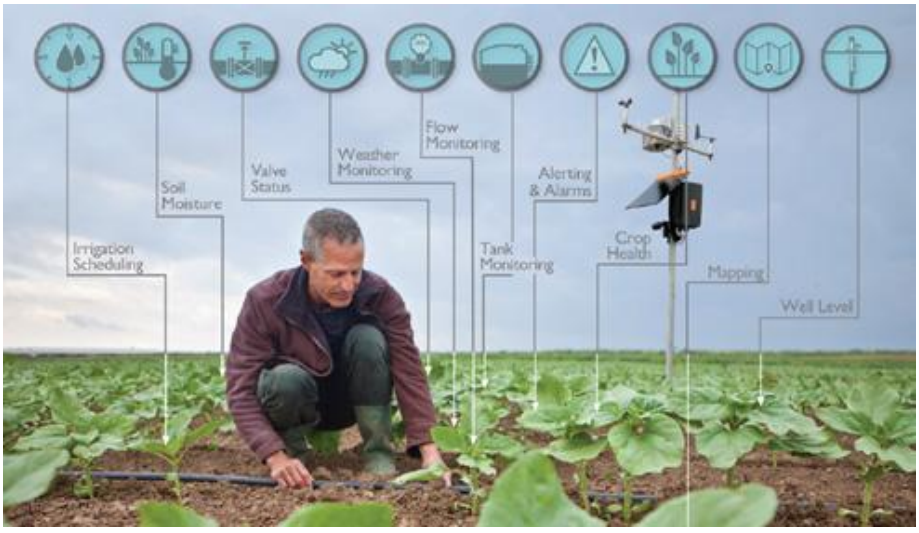
- **الشراكات بين القطاعين العام والخاص:(PPP)**

- تلعب شراكات القطاعين العام والخاص دوراً رئيسياً في تسريع تبني تقنيات الزراعة الذكية، حيث تسمح بمشاركة الموارد، وتقاسم المخاطر المالية، وتعزيز الابتكار.

- توفر هذه الشراكات بيئة داعمة لتطوير قدرات البنية التحتية، تحسين الوصول إلى الأسواق، وخلق منظومات إنتاجية أكثر إنتاجية واستدامة، ما يؤثر إيجاباً على مستوى الأمن الغذائي.

7. التحديات والفرص في تطبيق السياسات الزراعية الذكية

تواجه تطبيقات السياسات الزراعية الذكية جملة من التحديات والفرص التي يجب التعامل معها بفعالية من خلال استراتيجيات متكاملة:



تحديات القطاع الزراعي لتحقيق التنمية المستدامة بجمهورية العراق (شبكة بيئة أبوظبي، 2025).

).

التحديات الرئيسية:

- **ضعف البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية**

يُعتبر نقص تجهيزات الاتصالات، الإنترنت عالي السرعة، والكهرباء المستقرة من المعوقات الجوهرية التي تحد من إمكانية تطبيق التقنيات الرقمية الزراعية في المناطق الريفية النائية، الأمر الذي يؤخر توسيع نطاق الزراعة الذكية (World Bank, 2023).

- **ارتفاع تكلفة اعتماد التقنيات الحديثة**

تقدم التقنيات كالحساسات، الطائرات المسيرة، وأنظمة الذكاء الاصطناعي فوائد ملموسة، لكن تكاليف اقتنائها وبرمجتها وصيانتها تشكل عبئاً كبيراً على صغار المزارعين، خصوصاً في الدول النامية، مما يقلل من قدرة هذه الفئة على المشاركة في منظومة الزراعة الذكية.

- **محدودية الوعي والمهارات الرقمية**

محدودية المعرفة بأساسيات استخدام التكنولوجيا الرقمية والمهارات التقنية لدى المزارعين وصناع القرار يُعد من أبرز العقبات التي تعوق تنفيذ البرامج التعليمية وتبني الابتكارات الزراعية (World Bank, 2023).

- **تشتت الأطر التنظيمية وتضاربها**

ضعف التنسيق بين الجهات الحكومية المختلفة يؤدي إلى بطء إصدار التشريعات وتضاربها، مما يخلق بيئة غير مستقرة للتطوير واستثمار التكنولوجيا الزراعية الرقمية، ويثبط الاستثمار الخاص والابتكار.

- **حماية البيانات والخصوصية**

الخوف من سوء استخدام البيانات الشخصية والزراعية يحول دون ثقة المزارعين في أنظمة الزراعة الرقمية، خصوصاً في الدول التي لا تمتلك تشريعات صارمة وواضحة لحماية البيانات وحفظ الخصوصية (Voigt & Von dem Bussche, 2017).

الفرص الواعدة:

1. **التطورات التكنولوجية المستمرة:** تقدم الذكاء الاصطناعي، والتعلم الآلي، وتقنيات البلوك تشين أدوات قوية لتحسين كفاءة الأنظمة الزراعية من خلال تنبؤات دقيقة، وتحسين إدارة الموارد، وترقية شفافية سلسلة التوريد، مما يعزز جودة المنتجات الزراعية ويزيد ثقة المستهلكين (Smith *et al*., 2022).
2. **السياسات الداعمة والتمويل والحوافز:** توفر أطر السياسات الداعمة للابتكار الزراعي وحوافز التمويل فرصاً لتشجيع مزيد من صغار المزارعين على المشاركة الفاعلة في الاقتصاد الرقمي، بجانب دعم تطوير الشركات الناشئة في مجال التكنولوجيا الزراعية، مما يساهم في التنمية الاقتصادية والاجتماعية بالمناطق الريفية.
3. **الاستثمار في التدريب وبناء القدرات:** يُعد تطوير مهارات المزارعين وصناع القرار محوراً رئيسياً لنجاح السياسات الزراعية الذكية، حيث يعمل التدريب والتعليم المستمر على رفع الوعي، تحسين قدرة التعامل مع التقنيات الجديدة، وتعزيز تبني هذه التقنيات في الممارسات الفعلية (World Bank, 2023).

8. دراسات حالة

- **دراسة حالة هولندا**

تُعد هولندا من أبرز الدول التي نجحت في تطبيق سياسات الزراعة الذكية على نطاق وطني. تبنت الحكومة الهولندية استراتيجية شاملة لتعزيز الزراعة الدقيقة باستخدام أنظمة متطورة من الاستشعار والروبوتات، إلى جانب دمج تقنيات التحليل البياني وإدارة الموارد المائية. توجت هذه السياسات بزيادة ملحوظة في الإنتاجية الزراعية بنسبة 30%، إلى جانب تقليل استهلاك المياه والأسمدة بنحو 20% خلال فترة عشر سنوات، مما يُظهر الكفاءة الاقتصادية والبيئية لنموذج الزراعة الرقمية الهولندي (Van der Wal *et al*., 2021).

- **دراسة حالة الهند**

أطلقت الهند برنامجاً وطنياً للزراعة الرقمية يقدّم المزارعين بيانات الطقس، تحليلات التربة، وإرشادات زراعية عبر تطبيقات الهواتف الذكية. أسهم هذا البرنامج في تعزيز قدرة المزارعين على اتخاذ قرارات مدروسة بناءً على بيانات وقتية ودقيقة، مما أدى إلى زيادة دخلهم بمتوسط 15%، وتقليل خسائر المحاصيل الناجمة عن الظروف المناخية غير المتوقعة. يُعد هذا النموذج مثالاً ناجحاً على الاعتماد على الاستراتيجيات الرقمية لتحديث القطاع الزراعي وتعزيز الأمن الغذائي (Sharma & Singh, 2023).

- **دراسة حالة كينيا**

في إطار التعاون الإقليمي والشراكة مع القطاع الخاص، نفذت كينيا مشروعاً لإنشاء منصة رقمية موحدة تجمع البيانات الزراعية من مختلف المناطق. توفر هذه المنصة خدمات التمويل الأصغر وتربط صغار المزارعين بالأسواق المحلية والدولية. ساعد هذا المشروع على رفع مرونة النظام الزراعي في مواجهة الأزمات المناخية من خلال تحسين القدرة على التنبؤ والتخطيط، وتسهيل الوصول

إلى الموارد والتقنيات الحديثة، مما أثر إيجابياً في تحسين الأمن الغذائي وزيادة دخل الأسر الزراعية (FAO, 2023).

9. الخاتمة

تُعد السياسات الزراعية الذكية ركيزة حيوية لتحقيق الأمن الغذائي في عالم يواجه تحديات متزايدة، من تقلبات المناخ إلى تغيرات الطلب السكاني. وبينما تتيح هذه السياسات فرصاً كبيرة للابتكار وتحسين الإنتاجية، فإنها تواجه تحديات تنظيمية وتقنية يجب التعامل معها بفعالية من خلال تطوير أطر تنظيمية شاملة، وتمويل مستدام، وتعزيز الشراكات المتعددة الأطراف. إن تبني هذه السياسات بنهج متكامل يضمن تمكين المجتمعات الزراعية، خاصة في المناطق الريفية والهشة، ويمكن من تحقيق التنمية الزراعية المستدامة ويُعزز من قدرة الدول على مواجهة أزمات الغذاء المستقبلية. إن الدروس المستفادة من دراسات الحالة العالمية تؤكد على أهمية المزيج المتوازن بين التشريعات، الابتكار، والتعاون الإقليمي والدولي لضمان نجاح تطبيق الزراعة الذكية.

10. المراجع

عبد السلام، جيهان. 2022. الزراعة الذكية مناخياً في أفريقيا .. الواقع والتحديات (دراسة). https://pharostudies.com

الوطن. 2024. الزراعة الذكية».. خطوة جديدة نحو تحقيق الأمن الغذائي المستدام "دليل شامل". https://alwatannews.net/files/article/4007150

FAO. (2022). *Digital agriculture: Farmers in the driver's seat*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/publications

FAO. (2023). *Digital Agriculture Alliance Africa: Advancing Smart Farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/africa

OECD. (2022). *Innovations in smart agriculture: Latin America perspectives*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org

Sharma, R., & Singh, A. (2023). Impact of digital agriculture initiatives on smallholder farmers in India. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(4), 205-218.

Smith, J., Liu, Y., & Hernandez, M. (2022). Blockchain and AI integration for smart farming: Enhancing transparency and productivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106634.

Van der Wal, T., Janssen, L., & Brouwer, F. (2021). Precision agriculture in the Netherlands: Policy frameworks and impact assessment. *Agricultural Systems*, 187, 103025.

Voigt, P., & Von dem Bussche, A. (2017). *The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A Practical Guide*. Springer International Publishing.

World Bank. (2023). *Bridging the digital divide in agriculture: Challenges and opportunities*. World Bank Group. https://www.worldbank.org

المحور السادس: الذكاء الاصطناعي والتقنيات الدقيقة في الزراعة

الفصل 32 - الزراعة الدقيقة: المفهوم والتقنيات

المحتويات

1. المقدمة
2. تعريف الزراعة الدقيقة ومبادئها الأساسية
3. أدوات وتقنيات الزراعة الدقيقة
4. جمع البيانات وتحليلها في الزراعة الدقيقة
5. تطبيقات الزراعة الدقيقة في تحسين استخدام المياه والأسمدة
6. تأثير الزراعة الدقيقة على جودة المحاصيل والإنتاجية
7. تحديات تنفيذ الزراعة الدقيقة في البيئات المختلفة
8. استراتيجيات تجاوز تحديات الزراعة الدقيقة
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

تشكل الزراعة الدقيقة أحد أبرز التحولات التكنولوجية التي تشهدها الزراعة الحديثة، إذ تمثل نقلة نوعية في كيفية إدارة العمليات الزراعية بفعالية وكفاءة عالية. فمن خلال الاعتماد على تقنيات متطورة ومتعددة مثل الحساسات الدقيقة، ونظم تحديد المواقع العالمي GPS، والطائرات بدون طيار (الدرونز)، بات من الممكن جمع بيانات تفصيلية لحظية عن حالة المحاصيل، والتربة، والظروف البيئية المحيطة. يعزز هذا الجمع الدقيق للبيانات قدرة المزارعين وصناع القرار على اتخاذ قرارات مبنية على معلومات فعلية ومحددة لكل موقع داخل الحقل، بدلاً من الاعتماد على التقديرات العامة أو التجارب السابقة فقط (Gebbers & Adamchuk, 2010).

تكمن أهمية الزراعة الدقيقة في قدرتها على تحسين تخصيص الموارد الزراعية، مثل الماء والأسمدة والمبيدات، بشكل يقلل الهدر ويزيد من كفاءة الإنتاج. فالزراعة الدقيقة تتيح رصد اختلافات صغيرة ومكانية في الأرض، مما يمكن من تطبيق المعالجات الزراعية الدقيقة والمخصصة لكل قطعة أرض، بدلاً من تطبيق حلول عامة على الحقل

بأكمله. تصل فائدة هذا النهج إلى المحافظة على البيئة من التلوث الزائد الناتج عن الاستخدام غير المدروس للمواد الزراعية، وتقليل التكاليف الاقتصادية للمزارعين، وتحسين جودة المحاصيل النهائية.

علاوة على ذلك، تؤثر الزراعة الدقيقة بشكل إيجابي على الأمن الغذائي العالمي، من خلال زيادة الإنتاجية وتقليل الخسائر الناتجة عن سوء الإدارة الزراعية، لا سيما في ظل التغيرات المناخية المتسارعة والضغط المتنامي على الموارد الطبيعية المحدودة. وتشكل هذه الزراعة إطاراً للاستدامة الزراعية في الوقت الذي تسعى فيه الدول والمجتمعات إلى تحقيق إنتاج غذائي مستدام ومتوازن بيئياً.

في هذا الفصل، سيتم تناول مجموعة من المحاور المهمة التي توضح فكرة الزراعة الدقيقة بشكل شامل، بدءاً من تعريفها ومبادئها الأساسية، مروراً بالتقنيات الحديثة المستخدمة فيها، وكيفية جمع وتحليل البيانات، وصولاً إلى التطبيقات العملية والتحديات المعاصرة في تنفيذها بمناطق زراعية متنوعة.

2. تعريف الزراعة الدقيقة ومبادئها الأساسية

الزراعة الدقيقة هي نهج حديث في القطاع الزراعي يهدف إلى استخدام تقنيات متقدمة لجمع وتحليل البيانات الزمنية والمكانية المتعلقة بالحقول الزراعية، بغرض تحسين إدارة الموارد الزراعية وزيادة الإنتاجية بطريقة مستدامة. يَرتكز هذا المفهوم على الاعتراف بأن الحقول الزراعية ليست متجانسة بل تتفاوت في خصائص التربة، الرطوبة، التغذية النباتية، وانتشار الآفات، وهذا يتطلب تطبيق ممارسات مخصصة لكل منطقة داخل الحقل (Mulla, 2013).

المبادئ الأساسية للزراعة الدقيقة:

- **التجزئة المكانية (Spatial Variability):** تقسيم الحقل إلى وحدات صغيرة تعتمد على تباين خصائص التربة والنباتات، ما يمكّن من إدارة كل جزء بشكل

مستقل ومخصص. هذا يسمح بتحديد المناطق التي تحتاج إلى كميات مختلفة من الأسمدة، المياة، أو التدخلات الأخرى بدقة عالية (Zhang *et al*., 2002) .

- **المراقبة المستمرة (Continuous Monitoring):** استخدام أجهزة استشعار وأنظمة رقمية لجمع البيانات البيئية بشكل دوري أو مستمر عن عوامل مثل رطوبة التربة، درجة الحرارة، العناصر الغذائية، ونشاط الآفات، مما يوفر معلومات دقيقة في الوقت المناسب لاتخاذ القرارات المناسبة.
- **التحليل المستند إلى البيانات (Data-Driven Analysis):** توظيف تقنيات الحوسبة وتحليل البيانات الكبيرة لتحويل المعلومات المجمعة إلى توصيات دقيقة ومخصصة بشأن كيفية إدارة عمليات الري، التسميد، والمكافحة الزراعية.
- **التنفيذ الموجه (Targeted Implementation):** تطبيق الموارد الزراعية (مياه، أسمدة، مبيدات) بشكل محدد وموجه لكل جزء من الحقل تبعاً للتوصيات الناتجة عن التحليل، مما يقلل من الهدر ويزيد من كفاءة استخدام الموارد.

أهمية هذه المبادئ

تُسهم هذه المبادئ مجتمعاً في تحسين كفاءة الإنتاج الزراعي وتقليل الفاقد، مع تحقيق استدامة اقتصادية وبيئية من خلال الاستخدام الأمثل للموارد. كما تعزز القدرة على مواجهة تحديات تغير المناخ وتحسين جودة المحاصيل.

3. أدوات وتقنيات الزراعة الدقيقة

تعتمد الزراعة الدقيقة على مجموعة متطورة من الأدوات والتقنيات التي تتيح جمع البيانات البيئية والزراعية وتحليلها بدقة لتحسين إدارة الموارد وزيادة الإنتاجية. من بين هذه الأدوات نذكر:

- **الحساسات (Sensors)**

تلعب الحساسات دوراً محورياً في قياس المتغيرات البيئية والزراعية بدقة عالية، وتوفير بيانات مباشرة تساعد في اتخاذ قرارات زراعية مثلى. وتشمل أهم أنواع الحساسات المستخدمة:

- **حساسات رطوبة التربة:** تعمل على قياس محتوى الرطوبة في طبقات التربة المختلفة، مما يمكّن من جدولة الري بدقة متناهية، وبالتالي تقليل هدر المياه وتحسين كفاءة الري (Robert, 2002). تساعد هذه الحساسات على تجنب السقي الزائد أو الناقص، والحفاظ على صحة النباتات.
- **حساسات درجة الحرارة:** تستخدم لمراقبة درجات الحرارة المحيطة بالتربة والهواء، حيث تؤثر هذه العوامل بشكل مباشر على نمو وتطور النباتات. توفر هذه الحساسات بيانات مهمة لتحليل الظروف البيئية واتخاذ التدابير المناسبة مثل تعديل مواعيد الزراعة أو الحصاد.
- **حساسات المغذيات:** تقوم بقياس تراكيز العناصر الغذائية الأساسية في التربة، مثل النيتروجين، الفوسفور، والبوتاسيوم. تتيح هذه المعلومات فهم الحاجة الحقيقية للأسمدة، مما يسمح باستخدامها بشكل مدروس وفعّال لتقليل التكاليف وتقليل التلوث البيئي الناتج عن الإفراط في التسميد.

تطبيقات الحساسات

يمكن تثبيت الحساسات بشكل دائم في مواقع محددة داخل الحقول لمراقبة متواصلة، أو استخدامها بشكل متنقل على أجهزة مثل الروبوتات أو الطائرات بدون طيار، لتغطية مساحات أكبر والحصول على بيانات شاملة عن الحقل.

- **نظم تحديد المواقع GPS في الزراعة الدقيقة**

تُعتبر نظم تحديد المواقع العالمي (GPS) من الأدوات الحيوية والأساسية في تطبيقات الزراعة الدقيقة، حيث توفر قدرة عالية على تحديد الموقع الجغرافي بدقة متناهية داخل الحقول الزراعية، مما يُمكّن المزارعين من إدارة الموارد الزراعية بشكل موجه وفعال.

استخدامات GPS في الزراعة الدقيقة:

- **تتبع مواقع الحقول وأبعادها بدقة:** تساعد تقنية GPS في رسم حدود الحقول بدقة، مما يُمكّن من تقسيم الأرض إلى وحدات صغيرة أو مناطق متميزة يمكن إدارتها بشكل مستقل حسب اختلاف الخصائص الزراعية.
- **تنفيذ تطبيقات زراعية موجهة:** من خلال تتبع المواقع بدقة، يمكن تطبيق الري الموجه، التسميد الموجه، ورش المبيدات بشكل محدد على وحدات الأرض الصغيرة، مما يقلل من الهدر في استهلاك الموارد الزراعية ويعزز من الكفاءة الإنتاجية.
- **رسم خرائط الحقول:** يُستخدم GPS في إنشاء خرائط تفصيلية تظهر توزيع المتغيرات الزراعية داخل الحقل مثل نوع التربة، مستويات الرطوبة، وكثافة المحاصيل، مما يساعد على تحليل مكان وجود الفجوات أو المناطق المحتاجة إلى تدخل خاص.
- **ربط البيانات بالموضع الجغرافي:** يتيح GPS دمج البيانات المجمعة من الحساسات وأجهزة الاستشعار مع الموقع الجغرافي الدقيق لكل نقطة، مما يسهل عمليات التحليل واتخاذ القرارات الزراعية المبنية على الموقع الصحيح، ليكون التعامل مع كل جزء من الحقل حسب احتياجاته الفعلية (Pierce & Nowak, 1999).

فوائد استخدام GPS في الزراعة الدقيقة:

- تحسين دقة العمليات الزراعية وتقليل الفاقد.
- دعم التنقل الدقيق للآلات والمعدات الزراعية الأوتوماتيكية مثل الجرارات والطائرات بدون طيار.
- تسهيل توثيق ومتابعة الأنشطة الزراعية على مستوى متعدد الأبعاد الزمانية والمكانية.
- زيادة الإنتاجية الزراعية من خلال إدارة أفضل للموارد.

- **الطائرات بدون طيار (الدرونز)**

تُستخدم الطائرات بدون طيار (الدرونز) على نطاق واسع ومتزايد في تقنيات الزراعة الدقيقة، نظراً لقدرتها العالية على جمع بيانات وصور طيفية دقيقة وفعالة تغطي مساحات كبيرة بسرعة، مما يجعلها أداة فعالة وحديثة في متابعة الظروف الزراعية وتحسين إدارة الحقول.

المزايا والاستخدامات الأساسية للطائرات بدون طيار في الزراعة الدقيقة:

- **الرصد السريع والمستمر:** تستطيع الدرونز تغطية مساحات واسعة من الحقول الزراعية خلال وقت قصير، مع إمكانية القيام بمهمات متكررة بشكل دوري (يومي أو أسبوعي) لرصد التغيرات البيئية والنباتية، مما يوفر بيانات دورية تُمكّن المزارعين من متابعة حالة محاصيلهم باستمرار.
- **تحليل صحة النباتات:** باستخدام كاميرات متعددة الأطياف (Multispectral) أو كاميرات حرارية، تلتقط الدرونز صوراً تسمح بتحليل مؤشرات بيولوجية للنباتات، مثل معدل التمثيل الضوئي، ورطوبة الأوراق، وكثافة النباتات، مما يساعد على الكشف المبكر عن مناطق الإجهاد الناتج عن نقص المياه، الأمراض، أو انتشار الآفات.

- **تقدير حاجة المياه والأسمدة:** من خلال تحليل الصور الطيفية، يمكن للبرامج المرافقة تحديد المناطق التي تحتاج إلى مزيد من الري أو التسميد بدقة، مما يتيح تنفيذ عملية الري والتسميد الموجه والمقتصد، وبالتالي تحسين استخدام الموارد وتقليل الفاقد.
- **تكلفة معقولة وتحكم مستقل:** تعتبر الطائرات بدون طيار أكثر تكلفة فعالية وأقل تعقيداً مقارنة بأقمار الاستشعار الصناعية، ويمكن للمزارعين أو الفرق الفنية التحكم فيها بسهولة، وتنفيذ المهمات دون الحاجة لتسهيلات معقدة أو متابعة من أطراف خارجية.

مثال عملي:

عبر استخدام الدرونز مجهزة بأنظمة تصوير طيفي، يمكن للمزارع الحصول على خرائط دقيقة تظهر الفرق في حالة النباتات في أجزاء مختلفة من الحقل، مما يمكّن من التدخل المبكر ومعالجة المناطق المتدهورة دون الحاجة لفحص كل مساحة يدوياً.

4. جمع البيانات وتحليلها في الزراعة الدقيقة

تُعد عملية جمع البيانات وتحليلها الركيزة الأساسية لنظام الزراعة الدقيقة، حيث يعتمد نجاح هذا النظام وكفاءته بشكل كبير على جودة البيانات ومصداقية التحليلات المستخرجة منها. تجمع البيانات من مصادر متنوعة ومتعددة لضمان الحصول على صورة شاملة ودقيقة لحالة الحقول والمحاصيل، كما يلي:

مصادر جمع البيانات:

- **الحساسات الأرضية:** تقيس مختلف المتغيرات البيئية داخل الحقل مثل رطوبة التربة، درجة الحرارة، تركيز العناصر المغذية، ومستوى نشاط الآفات بشكل مستمر أو دوري.

- **الطائرات بدون طيار (الدرونز):** تجمع صوراً طيفية عالية الدقة تمكّن من رصد ردة فعل النباتات، حالة التربة، وانتشار الآفات أو الأمراض.
- **نظم تحديد المواقع:** توفر إحداثيات دقيقة لكل نقطة بيانات، مما يدعم تطبيقات الري والتسميد الموجه داخل الحقل.
- **أجهزة الاستشعار عن بعد (Remote Sensing):** تشمل صوراً للأقمار الصناعية وتقنيات المسح الليزري (LiDAR) التي توفر بيانات مكانية وزمانية موسعة.

نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في الزراعة الدقيقة:

تُستخدم نظم المعلومات الجغرافية كأداة مركزية لدمج وربط وتحليل البيانات المكانية والزمنية المجمعة من المصادر المختلفة، وذلك بهدف إنتاج خرائط دقيقة ومفصلة للحقول الزراعية تساعد المزارعين وصناع القرار في فهم الوضع البيئي والزراعي. من أبرز ما توفره هذه الخرائط:

- **توزيع المغذيات:** تحديد المناطق التي تعاني نقصاً أو فائضاً من العناصر الغذائية الأساسية في التربة.
- **خصائص التربة:** أنواع التربة، نسبة الحموضة (pH)، الكثافة، والخصائص الفيزيائية والكيميائية الأخرى.
- **مستوى الرطوبة:** تمكين جدولة الري بشكل دقيق لكل منطقة داخل الحقل.
- **صحة المحاصيل:** رصد صحة النباتات، كشف مناطق الإجهاد أو المرض، ومراقبة الانتشار المكاني للآفات.

أهمية تحليل البيانات:

من خلال الجمع والتكامل بين هذه البيانات، يتيح النظام:

- تحديد الفجوات، المشكلات، والاحتياجات الدقيقة داخل الحقول.
- توجيه التدخلات الزراعية بشكل مستهدف بدلاً من الاعتماد على حلول موحدة عامة.
- تحسين كفاءة استخدام الموارد مثل المياه والأسمدة والمبيدات.
- دعم التخطيط الزراعي الاستباقي عبر توقع المشكلات المحتملة والاستعداد الأمثل لها.

التحليل الإحصائي والذكاء الاصطناعي

تشكل تقنيات التحليل الإحصائي وأساليب الذكاء الاصطناعي - خاصة تعلم الآلة (Machine Learning) لبنة أساسية في الزراعة الدقيقة الحديثة، حيث يتم من خلالها التعامل مع كميات ضخمة من البيانات الزراعية وتحليلها بطرق متقدمة تتيح استنتاجات دقيقة وتنبؤات فاعلة.

استخدامات التحليل الإحصائي:

- **تنظيف وتجهيز البيانات:** تعمل الأساليب الإحصائية على معالجة البيانات الخام، كشف القيم المتطرفة، والتعامل مع البيانات المفقودة لتوفير قاعدة بيانات موثوقة.
- **تحليل المتغيرات:** تحليل العلاقات بين عدة عوامل مثل جودة التربة، مستويات الرطوبة، درجات الحرارة وتأثيرها على نمو وصحة المحاصيل.
- **التنبؤ:** بناء نماذج تنبؤية باستخدام الانحدار والتوزيعات الاحتمالية لتوقع نتائج الزراعة أو حركة الآفات.

دور الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة

- **نمذجة استجابة المحاصيل:** يمكن لخوارزميات تعلم الآلة مثل الشبكات العصبية العميقة (Deep Neural Networks)، أشجار القرار (Decision Trees)، أو آلات الدعم الناقل (SVM) أن تقوم بنمذجة كيفية استجابة المحاصيل لمستويات الري، أنواع الأسمدة، والظروف المناخية المختلفة.
- **تحسين مواعيد وكمية الري:** من خلال تحليل بيانات رطوبة التربة، الطقس، وإحصائيات نمو النباتات، تساعد النماذج الذكية في اقتراح مواعيد وأحجام ري محسنة تلبي احتياجات النباتات بدقة وتقلل من الهدر.
- **رصد الآفات والأمراض:** أنظمة التعرف على الصور المدعومة بالذكاء الاصطناعي تتيح تحديد الإصابة بالآفات أو الأمراض في مراحلها المبكرة بناءً على الصور الطيفية المجمعة.
- **التعلم المستمر:** تستطيع النماذج الذكية التعلم من البيانات المستجدة وتحسين دقتها وتكييف التوصيات حسب الظروف المحلية المتغيرة.

مثال عملي (وفق Mulla, 2013)

استخدمت خوارزميات تعلم الآلة لتحليل بيانات التجارب الحقلية حول مستويات الري المختلفة، إذ تمكن النموذج من توقع النمو الأمثل للمحاصيل عند كميات محددة من الماء، متيحاً للمزارعين اتخاذ قرارات مستنيرة تقود إلى تحسين المحصول وترشيد استهلاك المياه، وبالتالي تحقيق إنتاجية أعلى مع تقليل الهدر.

الفوائد الرئيسية

- زيادة دقة التنبؤات الزراعية.
- تقليل التكاليف وتحسين كفاءة استخدام الموارد.
- رفع جودة وإنتاجية المحاصيل الزراعية.

- تعزيز الاستدامة البيئية عبر تقليل الاستخدام المفرط للموارد.

تحديات تحليل البيانات في الزراعة الدقيقة

رغم التطور الكبير في تقنيات جمع وتحليل البيانات ضمن مجال الزراعة الدقيقة، إلا أن هناك عدة تحديات رئيسية تواجه تحقيق الاستفادة المثلى من هذه البيانات، ومن أبرزها:

- **تعقيد البيانات وتنوع مصادرها**

البيانات الزراعية تأتي من مصادر متعددة مثل الحساسات الأرضية، الطائرات بدون طيار، نظم المعلومات الجغرافية، وأجهزة الاستشعار عن بعد. هذه البيانات تختلف في النوع (عددية، نصية، صور طيفية)، التوقيت (مستمرة أو دورية)، والمساحة الجغرافية، مما يجعل دمجها وتحليلها أمراً معقداً يتطلب أنظمة متطورة وفعالة (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- **الحاجة إلى مهارات تحليلية متخصصة**

يتطلب تحليل كميات ضخمة ومتنوعة من البيانات الزراعية خبرات في مجالات مثل الإحصاء، علم البيانات، الذكاء الاصطناعي، ونظم المعلومات الجغرافية. نقص الكفاءات الفنية المتخصصة يشكل عقبة أمام تطبيق التكنولوجيا بشكل واسع وفعال، خاصة في المناطق الريفية أو في الدول النامية.

- **ضرورة تحديث البيانات بشكل مستمر**

الظروف الزراعية والبيئية تتغير بسرعة، لذا فإن استمرارية تحديث البيانات وتكرار جمعها بشكل دوري أو فوري أمر ضروري لتحليل دقيق وقرارات سريعة. قلة المرونة في تحديث البيانات أو تأخر وصولها قد يؤدي إلى نتائج تحليلية غير دقيقة أو متأخرة تعيق الأداء الزراعي.

- **البنية التحتية التكنولوجية المتقدمة**

تحتاج الزراعة الدقيقة إلى بنية تحتية رقمية متطورة، تشمل شبكات اتصال عالية السرعة، أنظمة تخزين وتحليل البيانات الكبيرة، وأجهزة استشعار متقدمة. ضعف هذه البنية في بعض المناطق، خاصة النائية والريفية، قد يحد من إمكانية جمع البيانات وتحليلها بشكل فعال (Gebbers & Adamchuk, 2010).

استراتيجيات التغلب على التحديات

- تطوير برامج تدريبية متخصصة لبناء مهارات تحليل البيانات في القطاع الزراعي.
- الاستثمار في تحسين البنية التحتية الرقمية وتوسيع شبكات الإنترنت والتغطية الميدانية للحساسات.
- اعتماد أنظمة متكاملة لتحليل البيانات تجمع بين التعلم الآلي والتحليل الإحصائي لتبسيط العمليات وتعزيز النتائج.
- تشجيع التعاون بين المؤسسات البحثية، القطاع الخاص، والجهات الحكومية لتبادل الخبرات والتقنيات.

5. تطبيقات الزراعة الدقيقة في تحسين استخدام المياه والأسمدة

تُعد الموارد المائية والأسمدة من أهم المدخلات الزراعية التي تؤثر بشكل مباشر على الإنتاجية الزراعية والتكلفة البيئية. تساهم تقنيات الزراعة الدقيقة بشكل فعال في تحسين استخدام هذه الموارد من خلال المراقبة والتحكم الموجه.

- **تحسين استخدام المياه**

يعتبر الري من أكبر مستهلكي المياه في الزراعة، مما يفرض ضغوطاً كبيرة على الموارد المائية خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. تتيح تقنيات الزراعة الدقيقة

مراقبة رطوبة التربة بشكل مستمر باستخدام الحساسات، ومن ثم جدولة عمليات الري بشكل موجه يتناسب مع حاجة النباتات الفعلية (Jones, 2004).

على سبيل المثال، تمكن أنظمة الري الذكية المدمجة مع البيانات المجمعة من الحقول من:

- تقليل معدلات الري الزائد، مما يقلل من هدر المياه.
- تقليل فرص تعفن الجذور والأمراض الناتجة عن الري المفرط.
- تحسين جودة المياه المستخدمة من خلال تقليل الجريان السطحي والتلوث الناتج عن استخدام المبيدات والأسمدة (Pereira *et al*., 2002).

- **تحسين استخدام الأسمدة**

تساهم تقنيات الزراعة الدقيقة في تحديد الكميات الدقيقة المطلوبة من الأسمدة لكل منطقة في الحقل بناءً على بيانات خصوبة التربة ومستوى العناصر الغذائية، مما يقلل من التسميد المفرط أو الناقص.

باستخدام الخرائط التفاعلية التي تعتمد على بيانات GIS ونظم الاستشعار عن بعد، يمكن للمزارعين تنفيذ التسميد الموجه (Variable Rate Fertilization)، حيث يُطبق السماد بكميات مختلفة في أجزاء مختلفة من الحقل حسب الحاجة (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004).

هذه التطبيقات تؤدي إلى:

- تحسين جودة المحاصيل من خلال تلبية احتياجات النباتات بدقة.
- تقليل التلوث البيئي الناتج عن الفائض من الأسمدة.
- تقليل التكاليف الاقتصادية المرتبطة بشراء واستخدام الأسمدة (Gebbers & Adamchuk, 2010).

6. تأثير الزراعة الدقيقة على جودة المحاصيل والإنتاجية

أثبتت الدراسات أن اعتماد تقنيات الزراعة الدقيقة يؤدي إلى تحسن ملحوظ في جودة المحاصيل وزيادة الإنتاجية الزراعية بفضل تحسين إدارة الموارد الزراعية.

- **جودة المحاصيل**

توفر الممارسات الدقيقة تحكماً أفضل في الظروف البيئية التي تؤثر على نمو المحاصيل مثل الماء، المغذيات، ودرجة الحرارة. ينتج عن ذلك:

- محاصيل أكثر تجانساً في الحجم والوزن.
- تحسين المحتوى الغذائي للمحاصيل (مثل زيادة محتوى البروتين أو الفيتامينات).
- تقليل التأثر بالآفات والأمراض، مما يقلل من الحاجة إلى استخدام المبيدات (Robert, 2002).

- **زيادة الإنتاجية**

عبر تحسين توزيع المدخلات الزراعية استناداً إلى بيانات دقيقة، تم تسجيل زيادات في إنتاجية المحاصيل قد تصل إلى 10-20% مقارنة بالزراعة التقليدية (Mulla, 2013). يعود ذلك إلى:

- تقليل الإجهاد المائي والغذائي للنباتات.
- تحسين ظروف النمو البيئية.
- تقليل الفاقد الناتج عن عوامل غير محسوبة مسبقاً.

كما تسهم الزراعة الدقيقة في تقليل الأضرار الناتجة عن العوامل المناخية المتغيرة بفضل المراقبة المستمرة والتدخلات الموجهة (Zhang *et al*., 2002).

7. تحديات تنفيذ الزراعة الدقيقة في البيئات المختلفة

رغم الفوائد الكبيرة للزراعة الدقيقة في تحسين الإنتاجية وكفاءة استخدام الموارد، إلا أن هناك العديد من التحديات التي تواجه تطبيقها، تختلف حدتها وطبيعتها حسب البيئة الزراعية، لاسيما في البلدان النامية والمناطق الريفية.

- **التحديات التقنية**

- **تكلفة المعدات والتقنيات:** تعتبر تكلفة أجهزة الحساسات، الطائرات بدون طيار، وأنظمة تحليل البيانات من العوامل الرئيسية التي تحد من قدرة المزارعين، خصوصاً صغار الحيازات والذين يستخدمون طرق الزراعة التقليدية، على تبني هذه التقنيات. فجودة المعدات العالية والأساليب المتقدمة تأتي غالباً بأسعار مرتفعة يصعب تغطيتها بدون دعم مالي أو سياسات تحفيزية (Gebbers & Adamchuk, 2010).
- **قلة البنية التحتية التقنية:** يعاني العديد من المناطق الريفية في الدول النامية من ضعف شبكات الاتصالات والإنترنت، ما يصعب من عمليات جمع البيانات الحية ومراقبة نظم الزراعة الدقيقة التي تعتمد على نقل البيانات في الزمن الحقيقي. كما يحد ضعف تغطية الكهرباء والإنترنت من استمرارية عمل الأجهزة الذكية (Gebbers & Adamchuk, 2010).
- **تعقيد العمليات الفنية:** توظيف التقنيات الرقمية الحديثة يتطلب مهارات تقنية متخصصة في تشغيل وصيانة الأجهزة، تحليل البيانات، واستخدام برمجيات الزراعة الدقيقة. يواجه كثير من المزارعين تحديات في اكتساب هذه المهارات، مما يشكل حاجزاً أمام تطبيق الأساليب الحديثة بفاعلية (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- **التحديات الاقتصادية والاجتماعية**

- **الوعي والتدريب**: نقص الوعي والمعرفة لدى المزارعين حول فوائد الزراعة الدقيقة وكيفية استخدامها يشكل عائقاً رئيسياً (Robert, 2002).
- **المخاطر المرتبطة بالاستثمار**: خشية المزارعين من المخاطر المالية المرتبطة بالاستثمار في تقنيات جديدة دون ضمان عوائد سريعة.
- **المشاكل التنظيمية والسياساتية**: غياب السياسات الداعمة والتمويل المناسب يحد من انتشار تطبيقات الزراعة الدقيقة.

- **التحديات البيئية**

- اختلاف ظروف التربة والمناخ يجعل من الصعب تعميم تقنيات الزراعة الدقيقة على جميع المناطق دون تكييفها حسب الخصائص المحلية.

إلى جانب التحديات التقنية التي تم استعراضها سابقاً، يواجه تطبيق الزراعة الدقيقة في البيئات المختلفة العديد من التحديات الاقتصادية والاجتماعية الجوهرية، منها:

- **نقص الوعي والتدريب:** يعد افتقار المزارعين للمعرفة الكافية حول فوائد الزراعة الدقيقة وكيفية استخدامها من أكبر العوائق أمام تطبيقها. كثير من المزارعين يفتقدون إلى التدريب المناسب على التقنيات الجديدة، وبالتالي يترددون في تبنيها بسبب عدم فهمهم لطريقة العمل أو فوائدها العملية وفرضيات نجاحها (Robert, 2002; SciDev.Net, 2025).
- **المخاطر المالية المرتبطة بالاستثمار:** يخشى المزارعون، خاصة صغار الحيازات، من المخاطر الاقتصادية للاستثمار في أجهزة وتقنيات الزراعة الدقيقة التي تتطلب نفقات أولية مرتفعة، دون ضمان عوائد سريعة أو ملموسة. هذا الخوف من خسارة رأس المال أو عدم تحقيق ربح يشكل حاجزاً نفسياً وواقعياً يضعف التبني الواسع للتقنيات.(SciDev.Net, 2025)

- **المشاكل التنظيمية والسياسات الداعمة:** غياب سياسات واضحة ومستقرة تدعم الزراعة الدقيقة وتمويل مناسب لتخفيف أعباء التكلفة، بالإضافة إلى نقص الإرشاد الفني، يحد من انتشار هذه التقنيات. تحتاج الدول إلى وضع أطر تشريعية وتنظيمية تشجع الابتكار الزراعي وتوفر حوافز مالية وبنية تحتية مناسبة (Najdagritech, 2025; SciDev.Net, 2025).

- **التحديات البيئية**

- **التنوع وعدم التوحيد في ظروف التربة والمناخ:** تتميز المناطق الزراعية باختلافات كبيرة في الخصائص البيئية مثل نوع التربة، المناخ، ومدى تعرضها للعوامل المناخية المتغيرة. هذا التنوع يصعب من تعميم حلول وتقنيات الزراعة الدقيقة على جميع المناطق دون تكييفها لتناسب الخصائص المحلية، إذ أن التكنولوجيا يجب أن تأخذ بعين الاعتبار هذا التباين لتكون فعالة وقابلة للتنفيذ محلياً (Gebbers & Adamchuk, 2010; SciDev.Net, 2025).

ملخص واستنتاج

تعكس هذه التحديات ضرورة وجود استراتيجيات شاملة تتضمن:

- برامج تدريب وتوعية مستمرة للمزارعين لتعزيز الوعي التقني والاقتصادي.
- آليات تمويل مبتكرة تدعم الاستثمار في تقنيات الزراعة الدقيقة مع تقليل المخاطر المالية.
- تطوير سياسات زراعية وتنظيمية فعالة تحفز اعتماد التكنولوجيا وتوفر بنى تحتية رقمية ملائمة.
- تخصيص وتعديل تطبيقات الزراعة الدقيقة بما يتلاءم مع الظروف البيئية المحلية لتحقيق نتائج مستدامة.

8. استراتيجيات تجاوز تحديات الزراعة الدقيقة

- **مواجهة تكلفة المعدات والتقنيات**

- **الدعم المالي والحوافز:** تقديم منح وقروض ميسرة لصغار المزارعين لاقتناء الأجهزة والتقنيات الحديثة. مثل برنامج الدعم الألماني للزراعة الذكية الذي يوفر حوافز مالية لشراء معدات الزراعة الدقيقة (BMEL, 2023).
- **استخدام تقنيات منخفضة التكلفة:** تبني نماذج أبسط وأدوات منخفضة التكلفة مثل الحساسات المحمولة أو الطائرات الدرونز ذات الأداء الجيد والأسعار المعقولة.
- **التعاون بين المزارعين:** تشكيل تعاونيات زراعية لتقاسم التكاليف واستخدام المعدات المشتركة.

- **تعزيز البنية التحتية التقنية**

- **تطوير شبكات الاتصال:** الاستثمار في شبكات الإنترنت عالية السرعة في المناطق الريفية، كما حدث في مشروع توسيع التغطية الرقمية في كينيا، مما ساعد في تمكين الوصول لمعلومات الزراعة الرقمية بشكل أوسع (FAO, 2023).
- **استخدام محطات تجميع بيانات محلية:** إقامة محطات بيانات ميدانية محلية تعمل دون الحاجة لاتصال دائم بالإنترنت، ويتم تحديثها متى توفرت خدمة الاتصالات.

- **تبسيط وتعزيز المهارات التقنية**

- **برامج تدريب وتأهيل مزارعين:** تنظيم ورش عمل ودورات تدريبية لتعلم كيفية استخدام تقنيات الزراعة الدقيقة، مثل المبادرة الهندية للزراعة الرقمية التي

وفرت تدريباً مكثفاً لمساعدة المزارعين على استخدام التطبيقات الذكية (Sharma & Singh, 2023).

- **دعم فرق الدعم الفني والمختصين المحليين:** تكوين فرق محلية قادرة على الصيانة الفنية وتحليل البيانات لخدمة المزارعين في الميدان.

أمثلة تطبيقية ناجحة

- **هولندا:** نجحت هولندا في استخدام الزراعة الدقيقة على نطاق واسع ضمن إطار من السياسات الداعمة وتعاون الجهات الحكومية والقطاع الخاص، ما أدى إلى رفع الإنتاجية وتقليل استهلاك الموارد (Van der Wal *et al.*, 2021).
- **الهند:** برنامج الزراعة الرقمية الهندي ركز على توفير البيانات والمعلومات الزراعية عبر تطبيقات الهواتف الذكية إلى مزارعين صغار، مع دعمهم بالتدريب مما ساعد على تقليل خسائر المحاصيل وزيادة الأرباح (Sharma & Singh, 2023).
- **كينيا:** من خلال إنشاء منصة رقمية موحدة وتطوير بنية تحتية رقمية في المناطق الريفية، تمكنت كينيا من تعزيز وصول المزارعين للتقنيات الرقمية وتحسين استجابتهم للأزمات المناخية (FAO, 2023).

9. الخاتمة

تُعد الزراعة الدقيقة من أهم الابتكارات التكنولوجية التي تُعزز كفاءة وفعالية القطاع الزراعي، من خلال الاعتماد على البيانات الدقيقة والمراقبة المستمرة للظروف الزراعية. فقد أتاحت تقنيات مثل الحساسات، نظم تحديد المواقع، والطائرات بدون طيار تحسين إدارة الموارد الحيوية مثل المياه والأسمدة، مما أسهم في رفع إنتاجية المحاصيل وجودتها، مع تقليل الأثر البيئي السلبي.

رغم هذه الفوائد الكبيرة، تواجه الزراعة الدقيقة تحديات متنوعة تقنية واقتصادية واجتماعية، تتطلب تضافر الجهود بين الحكومات والقطاع الخاص والباحثين والمزارعين لضمان نشرها وتطبيقها بشكل مستدام وفعّال.

إن النجاح في تعميم الزراعة الدقيقة يعتمد على:

- بناء بنية تحتية تقنية قوية تدعم جمع البيانات وتحليلها بشكل مستمر وفي الوقت المناسب.
- تعزيز مهارات وكفاءات المزارعين من خلال التدريب والتوعية لضمان الاستخدام الأمثل للتقنيات الحديثة.
- توفير الدعم المالي والتنظيمي المناسب، بما في ذلك الحوافز والسياسات المشجعة على الاستثمار في الابتكار الزراعي.
- تكييف التقنيات مع الظروف البيئية المحلية المتنوعة، خصوصاً في البلدان النامية والمناطق الريفية، لضمان فعالية وسلاسة التطبيق.

بناءً على ذلك، يمكن للزراعة الدقيقة أن تلعب دوراً محورياً في تحقيق الأمن الغذائي العالمي، والانتقال نحو أنظمة زراعية أكثر استدامة وذكاءً تلبي تحديات العصر وتدعم التنمية الزراعية المتوازنة.

10. المراجع

Agriculture Canada. (2022). *AgriInnovate: Supporting agricultural innovation through financial incentives*.

BMEL (Federal Ministry of Food and Agriculture, Germany). (2023). *Smart Farming Transformation Program*.

Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387.

European Commission. (2023). *SmartAgriHubs: Digital innovation in agriculture*. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smartagrifood

FAO. (2022). *Integrating technology and policy for climate-resilient agriculture*. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2023). *Digital Agriculture Alliance Africa: Enhancing digital farming across Africa*. FAO Regional Office for Africa.

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831.

Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436.

Lee, J., Kim, H., & Park, S. (2022). National smart agriculture plan of South Korea: Policy frameworks and digital innovations. *Journal of Smart Agriculture*, 10(1), 15–29.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.

Najdagritech. (2025). The future of sustainable agriculture: Innovative strategies to achieve self-sufficiency. [Report or online publication].

OECD. (2022). *Technology and innovation in Latin American agriculture: Precision farming and AI*. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2002). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 55(3), 153-169.

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy, 67*, 1–85.

Robert, P. C. (2002). Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247(1), 143-149.

SciDev.Net. (2025). Q&A on the future of precision agriculture in North Africa. [Article or online report].

Sharma, P., & Singh, R. (2023). Impact of digital agriculture initiatives on farmer income and crop losses in India. *International Journal of Agricultural Extension, 11*(1), 45–59.

Smith, J., Kumar, R., & Lee, S. (2022). Leveraging AI and blockchain for enhanced agricultural supply chain transparency. *Journal of AgriTech Innovation, 15*(4), 345–360.

USDA. (2023). *Agricultural Data and Cybersecurity: Policy Developments and Challenges*. U.S. Department of Agriculture.

Van der Wal, T., Janssen, S., & de Groot, H. (2021). Smart agriculture and precision farming in the Netherlands: Practices and impacts. *Journal of Agricultural Technology, 14*(2), 98–115.

Voigt, P., & Von dem Bussche, A. (2017). *The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A practical guide*. Springer.

World Bank. (2022). *Digital agriculture transformation: Infrastructure, governance, and policy insights*. World Bank Group.

World Bank. (2023). *Digital agriculture policy challenges and opportunities*. World Bank Group.

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture, 13*(6), 693–712.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3), 113-132.

الفصل 33 - الذكاء الاصطناعي في الزراعة: الفرص والتحديات

المحتويات

1. المقدمة
2. تطبيقات الذكاء الاصطناعي
3. تقنيات التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر في الزراعة
4. التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة
5. التحديات التقنية والأخلاقية والاجتماعية في تبني الذكاء الاصطناعي
6. المستقبل المحتمل للذكاء الاصطناعي في دعم الزراعة المستدامة
7. الخاتمة
8. المراجع

1. المقدمة

في السنوات الأخيرة، أصبحت التكنولوجيا جزءاً أساسياً من حلول المستقبل في مختلف القطاعات، ولا سيما في مجال الزراعة. فبينما يواجه العالم تحديات بيئية، اقتصادية واجتماعية متعددة، تبرز الزراعة كأحد الركائز الأساسية لضمان الأمن الغذائي وتحقيق الاستدامة. غير أن الأساليب التقليدية لا تكفي بعد الآن لمواجهة هذه التحديات المتزايدة. ويُعد الذكاء الاصطناعي (AI) أحد الحلول الأكثر وعداً، حيث يُمكنه تعزيز الإنتاج الزراعي وتحسين كفاءة العمليات الزراعية.

من خلال تقنيات مثل التعلم الآلي (ML) والرؤية الحاسوبية، يمكن للذكاء الاصطناعي تحليل البيانات الضخمة بشكل فوري ودقيق، مما يسمح باتخاذ قرارات أفضل في الوقت الفعلي. هذه الأنظمة الذكية قادرة على التنبؤ بالأحوال الجوية، تشخيص الأمراض، إدارة المياه، وحتى تحسين طرق الري. وبالتالي، يمكنها تقليل الفاقد وزيادة الإنتاجية بشكل كبير.

2. تطبيقات الذكاء الاصطناعي

يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً متزايد الأهمية في تحسين اتخاذ القرارات الزراعية، حيث يقدم حلولاً فعّالة للعديد من التحديات التي تواجه القطاع الزراعي. في هذا السياق، تنحصر أبرز التطبيقات في ثلاثة مجالات رئيسية:

- **التنبؤ بالطقس:**

يعد التنبؤ الدقيق بالأحوال الجوية من العوامل الأساسية التي تؤثر على نجاح العمليات الزراعية. تساعد نماذج الذكاء الاصطناعي المتطورة، مثل الشبكات العصبية العميقة وخوارزميات التعلم الآلي، في معالجة وتحليل كميات ضخمة من البيانات المناخية المتاحة. هذه النماذج لا تقتصر على التنبؤ بالأحوال الجوية القريبة فقط، بل تمتد لتوفير توقعات دقيقة للظروف المناخية على المدى الطويل، مثل تغيرات درجات الحرارة، الرطوبة، والأمطار (Moshou *et al.*, 2006). تُمكّن هذه التوقعات المزارعين من تحديد أفضل مواعيد للزراعة والحصاد والري، ما يقلل من تعرض المحاصيل للمخاطر البيئية مثل الجفاف أو الفيضانات. بالإضافة إلى ذلك، توفر هذه التنبؤات فرصاً لتخطيط الأنشطة الزراعية بشكل أفضل، مما يساهم في تحسين الإنتاجية وتقليل المخاطر الاقتصادية.

- **التشخيص الآلي للأمراض:**

يعد التشخيص المبكر والدقيق للأمراض النباتية أحد أبرز التحديات التي يواجهها المزارعون. إذ أن الأمراض النباتية يمكن أن تسبب خسائر ضخمة في الإنتاج وتؤثر على جودة المحاصيل. هنا، يأتي دور الذكاء الاصطناعي باستخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية لتحليل الصور الملتقطة بواسطة كاميرات متطورة أو طائرات بدون طيار. يتم تدريب الأنظمة الذكية على مجموعات ضخمة من بيانات الصور الخاصة بالأمراض النباتية، ما يمكّنها من التمييز بين الأعراض المختلفة للمشاكل الصحية للمحاصيل (Mohanty *et al.*, 2016). علاوة على ذلك، يمكن لهذه الأنظمة

التعرف على التغيرات الطفيفة في شكل النبات أو الأوراق، مما يسمح بالكشف المبكر عن الأمراض قبل أن تنتشر. هذا النوع من التشخيص الآلي لا يساهم فقط في الحد من الخسائر، بل أيضاً في تقليل الحاجة لاستخدام المبيدات الكيميائية، ما يؤدي إلى تعزيز ممارسات الزراعة المستدامة والمساهمة في حماية البيئة.

- **التوصيات الذكية:**

تكمن الفائدة الرئيسية لأنظمة الذكاء الاصطناعي في دمج البيانات المأخوذة من مصادر متعددة، مثل قياسات التربة، الأحوال الجوية، وأوضاع المحاصيل. من خلال تحليل هذه البيانات المعقدة باستخدام تقنيات تعلم الآلة، تقدم الأنظمة توصيات ذكية ودقيقة للمزارعين حول كيفية تحسين ممارسات الري والتسميد وكذلك إدارة الآفات (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). على سبيل المثال، يمكن للذكاء الاصطناعي تحديد الكميات المثلى من الماء أو الأسمدة التي يحتاجها كل نوع من المحاصيل بناءً على خصائص التربة والظروف الجوية الحالية. تُسهم هذه الأنظمة في تقليل الهدر وتعزيز الكفاءة في العمليات الزراعية. إضافةً إلى ذلك، تمكن هذه التوصيات المزارعين من اتخاذ قرارات مدعومة بالبيانات، مما يعزز من الاستدامة البيئية ويسهم في تحسين الجودة الإجمالية للمحاصيل.

هذه التطبيقات لا تقتصر فقط على تحسين الإنتاجية وتقليل الخسائر، بل تساهم أيضاً في تعزيز الاستدامة في القطاع الزراعي من خلال الاستخدام الأمثل للموارد وتقليل الآثار البيئية السلبية. الذكاء الاصطناعي يعيد تعريف كيفية التعامل مع تحديات الزراعة في العصر الحديث.

3. تقنيات التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر في الزراعة

تعد تقنيات التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر من الأسس الأساسية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة، حيث تُستخدم هذه الأدوات المتقدمة لتحسين كافة جوانب الإنتاج الزراعي، من تخطيط المحاصيل إلى متابعة صحتها وجودتها.

- **التعلم الآلي:**

يعتبر التعلم الآلي أحد الفروع الرائدة للذكاء الاصطناعي، ويتيح للأنظمة "التعلم" من البيانات المتاحة دون الحاجة إلى تدخل بشري في كل خطوة. هذا النوع من التعلم يعتمد على معالجة كميات هائلة من البيانات من مصادر متعددة مثل أجهزة الاستشعار في الأرض، الصور الملتقطة عبر الأقمار الصناعية، والطائرات بدون طيار. من خلال استخدام خوارزميات مثل الأشجار القرار، الغابات العشوائية، والشبكات العصبية العميقة، يمكن للأنظمة تحليل هذه البيانات لتوفير رؤى دقيقة حول الأنشطة الزراعية، مثل:

- **التنبؤ بالإنتاج:** يمكن تحليل بيانات الطقس والظروف البيئية والتربة لتوقع مستوى الإنتاج المستقبلي، مما يساعد المزارعين في اتخاذ قرارات متعلقة بمواعيد الزراعة والحصاد.
- **تقييم صحة المحاصيل:** عبر التعلم من البيانات المرتبطة بمراحل نمو المحاصيل، يمكن لأنظمة التعلم الآلي تحديد الحالات غير الطبيعية مثل نقص المغذيات أو الإصابة بالأمراض، مما يسمح باتخاذ تدابير وقائية مبكراً.
- **تحسين إدارة الموارد:** يساعد التعلم الآلي المزارعين في تخصيص الموارد بشكل أكثر دقة، مثل المياه والأسمدة، بناءً على تحليلات دقيقة لبيانات التربة والطقس (Kamilaris *et al*., 2017). هذا يقلل من الهدر ويزيد من فعالية استخدام الموارد.

- **رؤية الكمبيوتر:**

رؤية الكمبيوتر، وهي مجال فرعي من الذكاء الاصطناعي، تعتمد على تحليل الصور والفيديوهات لفهم ما تحتويه. في الزراعة، تُمكن تقنيات رؤية الكمبيوتر

من مراقبة الأنماط المختلفة للنمو الصحي للمحاصيل والكشف عن المشاكل في وقت مبكر. تشمل تطبيقات رؤية الكمبيوتر في الزراعة:

- **مراقبة نمو المحاصيل:** باستخدام تقنيات مثل كاميرات الأشعة تحت الحمراء والكاميرات عالية الدقة، يمكن مراقبة النباتات على مدار مراحل نموها. تساهم هذه البيانات في تحديد مدى نمو المحصول، والظروف البيئية التي تؤثر عليه.
- **الكشف المبكر عن الأمراض والآفات:** تعتمد تقنيات رؤية الكمبيوتر على تعلم الأنماط من الصور الملتقطة للأنسجة النباتية، مما يمكنها من التمييز بين الأوراق السليمة وتلك التي تأثرت بأمراض أو آفات. باستخدام هذه البيانات، يمكن اتخاذ إجراءات العلاج فور اكتشاف المشكلة، مما يقلل من الخسائر الناتجة عن الأمراض (Barbedo, 2019).
- **تقييم جودة المنتجات:** تُستخدم تقنيات رؤية الكمبيوتر أيضاً لتقييم جودة المحاصيل بعد حصادها، مثل تحديد مدى نضوج الثمار أو التحقق من وجود تشوهات في الخضروات والفواكه التي قد تؤثر على جودتها في السوق.

- **التكامل بين التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر:**

الدمج بين تقنيات التعلم الآلي ورؤية الكمبيوتر يوفر للمزارعين حلولاً متكاملة تدعمهم في اتخاذ قرارات استراتيجية دقيقة في كافة مراحل الإنتاج الزراعي. فعلى سبيل المثال، قد يتم استخدام التعلم الآلي لتحليل بيانات الطقس والتربة، بينما يتم تطبيق رؤية الكمبيوتر على الصور التي تلتقطها الطائرات بدون طيار لتحديد مدى تأثير الظروف البيئية على صحة المحاصيل. بفضل هذا التكامل، يمكن تحسين دقة وكفاءة الأنظمة الزراعية الذكية، مما يسهم في تقليل الخسائر وزيادة الإنتاجية.

بتكامل هذه التقنيات، أصبحت الزراعة الذكية أكثر فاعلية من أي وقت مضى، مما يعزز الاستدامة ويجعل العمليات الزراعية أكثر دقة وكفاءة.

4. التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة

يُعد التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة خطوة محورية نحو تعزيز الاستدامة وتحقيق فعالية أكبر في القطاع الزراعي. الزراعة الدقيقة تعتمد على جمع وتحليل البيانات الدقيقة المتعلقة بالظروف الزراعية المختلفة مثل التربة، الرطوبة، المحاصيل، والطقس، وتطبيق حلول مخصصة لكل قطعة أرض. مع إضافة تقنيات الذكاء الاصطناعي، يمكن تحسين دقة هذه التحليلات بشكل كبير، ما يؤدي إلى تقليل الفاقد وزيادة العوائد الزراعية (Zhang *et al*., 2019).

- **كيف يعمل التكامل؟**

تتمثل فكرة الزراعة الدقيقة في جمع بيانات حية ومباشرة من الحقول الزراعية باستخدام أجهزة الاستشعار المتطورة والطائرات بدون طيار (الدرونز) وغيرها من التقنيات الحديثة. هذه البيانات تتضمن معلومات مثل درجة حرارة التربة ومستوى الرطوبة ونمو المحاصيل. يتم تحليل هذه البيانات باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل التعلم الآلي لتحليل الأنماط والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في المحاصيل. بناءً على هذه التحليلات، يقدم الذكاء الاصطناعي توصيات مخصصة تُمكن المزارعين من اتخاذ قرارات دقيقة بشأن ممارسات الري والتسميد ومكافحة الآفات وغيرها من العمليات الزراعية.

مثال تطبيقي: نظام "PrecisionHawk"

تعتبر شركة *PrecisionHawk* إحدى الشركات الرائدة في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة. تقوم الشركة بتوفير طائرات بدون طيار مزودة بحساسات متقدمة تقوم بجمع بيانات شاملة حول حالة المحاصيل. تستخدم هذه البيانات في تحليل الصور والظروف الزراعية باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي، مما يسمح بتحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخل خاص. على سبيل المثال، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يحدد المناطق التي تعاني من نقص في المياه أو تلك التي تتعرض

لهجوم من الآفات (PrecisionHawk, 2020). تساعد هذه الأنظمة الذكية المزارعين على اتخاذ قرارات أكثر دقة بخصوص مواعيد الري والتسميد ومكافحة الآفات، مما يعزز من كفاءة العمليات الزراعية ويقلل من التكاليف.

دراسة حالة: استخدام الذكاء الاصطناعي في القطن بمصر

في مصر، تم تطبيق الذكاء الاصطناعي لتحسين إدارة محاصيل القطن. باستخدام حساسات التربة وأجهزة مراقبة الطقس المتصلة بنظام ذكي لتحليل البيانات، تم تقديم توصيات مخصصة حول مواعيد الري والتسميد بناءً على الظروف البيئية الفعلية (El-Fadel *et al*., 2021). أسفر هذا التكامل عن زيادة الإنتاجية بنسبة 15% وتقليل استهلاك المياه بنسبة 20%، مما يثبت جدوى تطبيق هذه التقنيات في المناطق الريفية ذات الموارد المحدودة. هذه الأمثلة تسلط الضوء على الإمكانات الكبيرة للتكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد الطبيعية مثل المياه.

- **فوائد التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة**

  - **تحسين تخصيص الموارد:** يساعد الذكاء الاصطناعي في تحديد الاحتياجات الدقيقة لكل منطقة زراعية، مما يقلل من استخدام المياه والأسمدة بشكل مفرط. ويؤدي ذلك إلى استدامة أكبر في استخدام الموارد الطبيعية.
  - **الكشف المبكر عن المشاكل:** الأنظمة الذكية يمكنها اكتشاف الأمراض والآفات في مراحلها المبكرة، مما يوفر فرصة للتدخل السريع والفعال. مثل هذا التدخل يمكن أن يؤدي إلى تقليل الاستخدام المفرط للمبيدات الكيميائية، مما يساهم في استدامة البيئة.
  - **زيادة الإنتاجية:** من خلال تقديم توصيات دقيقة، يمكن تحسين جودة المحاصيل وزيادة العوائد الزراعية. هذا يعزز من الكفاءة العامة للقطاع الزراعي ويساعد في تلبية احتياجات الأمن الغذائي العالمي.

- **التحديات في التكامل**

رغم الفوائد الكبيرة، يواجه التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة بعض التحديات:

- **البنية التحتية التقنية:** هناك حاجة إلى بنية تحتية متطورة لتخزين وتحليل البيانات الزراعية، خاصة في المناطق الريفية. وقد تحتاج هذه المناطق إلى تطوير شبكات الإنترنت وتوسيع نطاق التغطية.
- **التدريب والتوعية:** يُعد تدريب المزارعين على استخدام الأنظمة الذكية تحدياً كبيراً. يتطلب ذلك تطوير برامج تعليمية وتقنية تجعل المزارعين قادرين على استخدام هذه الأدوات بفعالية.
- **تكلفة الأجهزة والبرمجيات:** رغم أن التقنيات الذكية تساهم في تحسين الإنتاجية على المدى الطويل، إلا أن تكلفة الأجهزة مثل الطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار قد تكون مرتفعة بالنسبة للمزارعين في بعض المناطق. كما أن تحديث البرمجيات وصيانتها يتطلب استثمارات إضافية (Wolfert *et al*., 2017).
- **حماية البيانات:** مع زيادة الاعتماد على الإنترنت وأجهزة الاستشعار، تزداد المخاوف المتعلقة بأمن البيانات وحمايتها. لذا يجب أن يتم تصميم أنظمة موثوقة وآمنة لحماية المعلومات الحساسة.

التكامل بين الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة يُعد خطوة نحو الزراعة الذكية والمستدامة، والتي يمكن أن تحقق نقلة نوعية في طريقة إدارة الموارد الزراعية وزيادة الإنتاجية في مواجهة التحديات البيئية.

5. التحديات التقنية والأخلاقية والاجتماعية في تبني الذكاء الاصطناعي

رغم الفوائد الكبيرة التي يقدمها الذكاء الاصطناعي في مجال الزراعة، إلا أن تبنيه يتعرض لعدة تحديات تقنية وأخلاقية واجتماعية قد تعرقل انتشاره بشكل واسع. من الضروري معالجة هذه التحديات لضمان استفادة الزراعة من هذه التكنولوجيا الحديثة بشكل مستدام وفعّال.

- **التحديات التقنية**

تتطلب تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة بنية تحتية متطورة تعمل على دعم حجم البيانات الكبير ومتطلبات المعالجة المتقدمة. تشمل هذه البنية التحتية:

- **شبكات اتصال عالية السرعة:** من الضروري وجود شبكة إنترنت قوية وسريعة خاصة في المناطق الريفية لضمان نقل البيانات في الوقت الفعلي من أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار.
- **أجهزة استشعار دقيقة:** تستخدم الزراعة الذكية مجموعة متنوعة من أجهزة الاستشعار التي تقيس مستوى الرطوبة في التربة، درجات الحرارة، مستويات الأسمدة، ووجود الآفات. هذه الأجهزة تتطلب صيانة منتظمة وتحديثات مستمرة.
- **خوادم معالجة بيانات ضخمة:** تحليل البيانات الزراعية يحتاج إلى خوادم ذات قدرة عالية لتخزين ومعالجة البيانات الضخمة التي يتم جمعها من المزارع.

في العديد من المناطق الريفية، تفتقر البنية التحتية لهذه التقنيات المتقدمة، مما يحد من إمكانية تطبيق الذكاء الاصطناعي على نطاق واسع (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). كما أن تبني التكنولوجيا يتطلب استثمارات ضخمة في التدريب وتحديث الأنظمة، وهو ما قد يمثل تحدياً للمزارعين ذوي الدخل المحدود.

- **التحديات الأخلاقية**

من الناحية الأخلاقية، يثير تبني الذكاء الاصطناعي في الزراعة العديد من القضايا المهمة:

- **الخصوصية وحماية البيانات:** تستخدم أنظمة الذكاء الاصطناعي في الزراعة بيانات حساسة تتعلق بالأراضي والمحاصيل، مما يثير القلق بشأن كيفية تخزين هذه البيانات وحمايتها. قد يتعرض المزارعون للتهديدات في حال تسريب بياناتهم الخاصة حول الإنتاج والموارد، خاصة إذا تم استخدامها لأغراض تجارية أو سياسية.(Sharma *et al*., 2020)
- **فقدان الوظائف:** مع الأتمتة المتزايدة في العمليات الزراعية، مثل استخدام الطائرات بدون طيار، الروبوتات الزراعية، وأنظمة الري الذكية، قد يواجه المزارعون العمالة التقليدية تحديات. قد يؤثر ذلك سلباً على الوظائف في المجتمعات الريفية ويزيد من معدلات البطالة، مما يفاقم التفاوتات الاجتماعية في المناطق الأقل تطوراً.

- **التحديات الاجتماعية**

على الصعيد الاجتماعي، يواجه تبني الذكاء الاصطناعي عدة مقاومات من بعض المزارعين، وهي ناتجة عن عدة عوامل:

- **نقص الوعي أو المهارات الرقمية:** العديد من المزارعين، خاصة في المناطق الريفية، قد يواجهون صعوبة في فهم واستخدام التقنيات الرقمية المتقدمة. نقص التدريب على هذه التقنيات يمكن أن يُعطل عملية التبني ويزيد من الفجوة بين المزارعين الذين يمتلكون مهارات رقمية والمزارعين الذين لا يمتلكونها .(Rose *et al*., 2020)

- **الثقافة التقليدية:** قد يفضل بعض المزارعين الطرق التقليدية التي اعتادوا عليها في الزراعة، ويرون أن التكنولوجيا الحديثة غير ضرورية أو غير ملائمة لظروفهم الاقتصادية أو الثقافية. هذه المقاومة التقليدية قد تكون عقبة كبيرة أمام تطبيق الذكاء الاصطناعي على نطاق واسع.

- **دراسة حالة: تحديات تطبيق الذكاء الاصطناعي في الهند**

في الهند، كانت هناك مقاومة قوية من بعض المزارعين في البداية تجاه تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة. كان هناك شعور بأن التكنولوجيا معقدة ومرتفعة التكلفة بالنسبة لهم، مما جعلهم مترددين في تبني هذه الأنظمة. إضافة إلى ذلك، كانت الظروف الاقتصادية الصعبة في بعض المناطق الريفية تحد من قدرتهم على استثمار هذه التقنيات المتقدمة (Patel *et al*., 2019).

لمواجهة هذه التحديات، تبنت الحكومة الهندية برامج تدريبية مكثفة تهدف إلى زيادة الوعي بالذكاء الاصطناعي وأهميته في الزراعة. كما قامت بتقديم دعم مالي للمزارعين لتقليل تكلفة الأجهزة والتقنيات، مثل الطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار. هذه الخطوات ساعدت في زيادة التبني تدريجياً، ما يُظهر أهمية الدعم الحكومي في تسهيل الانتقال إلى الزراعة الذكية.

- **الاستراتيجيات الممكنة للتغلب على هذه التحديات**

- **تعزيز البنية التحتية:** يتطلب الأمر استثمارات كبيرة في تحسين شبكات الإنترنت في المناطق الريفية وتوفير دعم مستمر للأنظمة الرقمية لضمان وصول تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى كافة المزارعين.
- **تعليم وتدريب المزارعين:** يجب على الحكومات والمنظمات غير الحكومية توفير برامج تدريبية موجهة لتعليم المزارعين كيفية استخدام هذه التقنيات.

أيضاً، يمكن التعاون مع الجامعات والمعاهد المتخصصة لتوفير التدريب على المهارات الرقمية.

- **الشفافية وحماية البيانات:** من الضروري وضع سياسات واضحة ومبنية على معايير لحماية بيانات المزارعين، لضمان عدم تسريب أو استغلال هذه المعلومات لأغراض تجارية أو سياسية.
- **خلق بيئة تشاركية:** من المهم إشراك المزارعين في تصميم وتطوير الحلول التكنولوجية، وتوفير دعم فني مستمر للمساعدة في التكيف مع التحولات الرقمية.

من خلال معالجة هذه التحديات التقنية، الأخلاقية والاجتماعية، يمكن ضمان نجاح تبني الذكاء الاصطناعي في الزراعة وتحقيق فوائد مستدامة لجميع الأطراف المعنية.

6. المستقبل المحتمل للذكاء الاصطناعي في دعم الزراعة المستدامة

يتجه المستقبل الزراعي نحو دمج أعمق وأكثر تكاملاً لتقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظمة الزراعة الذكية، ما يسهم في تعزيز الاستدامة وضمان الأمن الغذائي العالمي. من المتوقع أن تتمكن الأنظمة الذكية في المستقبل من التكيف التلقائي مع التغيرات المناخية، مما يجعل الزراعة أكثر مرونة في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية؛ حيث ستسهم هذه التقنيات في تحسين إدارة الموارد الطبيعية مثل الري والتسميد، وبالتالي تقليل الأثر البيئي للزراعة وتحقيق إنتاجية أعلى مع تقليل الفاقد.

الذكاء الاصطناعي في المستقبل القريب سيكون جزءاً لا يتجزأ من الزراعة الذاتية (Autonomous Farming)، وهو نوع من الزراعة حيث يتم تنفيذ العمليات الزراعية بواسطة الروبوتات والطائرات بدون طيار بشكل مستقل تماماً. ستقوم هذه الأنظمة بتقديم خدمات متكاملة تشمل **الزراعة**، الرصد، الحصاد، ومكافحة الآفات بكفاءة ودقة أعلى من العمليات اليدوية التقليدية.

- **مثال تطبيقي: مشروع "روبوتات الزراعة الذاتية" في الولايات المتحدة**

في الولايات المتحدة، هناك مشروع بحثي يركز على تطوير روبوتات زراعية ذاتية يمكنها القيام بالعديد من المهام الزراعية بشكل مستقل. هذه الروبوتات قادرة على زراعة الحبوب، رصد صحة النباتات، ومكافحة الآفات دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر (Bechar & Vigneault, 2016). تتيح هذه التقنيات تحسين إنتاجية المحاصيل وتقليل الحاجة إلى استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية، مما يساهم في تحسين الاستدامة البيئية والاقتصادية. علاوة على ذلك، يمكن لهذه الأنظمة الذكية أن تُسرع عمليات الزراعة وتقلل التكاليف المرتبطة بالعمالة التقليدية، مما يساهم في زيادة الكفاءة الزراعية العامة.

- **التطورات المستقبلية والتحديات المحتملة:**

  - **التكيف مع التغيرات المناخية:** يتوقع أن تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير أنظمة تزرع وتدير المحاصيل وفقاً لتغيرات الطقس والتغيرات المناخية المستمرة. ستتمكن هذه الأنظمة من تعديل استراتيجيات الري أو التسميد تلقائياً استجابة للتغيرات الفجائية في الطقس.
  - **تحسين إدارة الموارد:** من خلال تحليل البيانات من مصادر متعددة، سيساعد الذكاء الاصطناعي في تحسين تخصيص الموارد مثل الماء والأسمدة، مع تقليل الفاقد وزيادة الكفاءة.
  - **التوسع في الزراعة الذاتية:** سيسهم الروبوتات والطائرات بدون طيار في تقليل تدخل الإنسان في العمليات الزراعية، مما يقلل التكاليف التشغيلية ويزيد من الكفاءة.

7. الخاتمة

يُعد الذكاء الاصطناعي أحد الركائز الأساسية لتحول الزراعة نحو مستقبل أكثر ذكاءً واستدامة. من خلال دمجه مع تقنيات الزراعة الدقيقة، سيمكننا تحسين دقة الإدارة

الزراعية، زيادة الإنتاجية، وتقليل الأثر البيئي. سيشكل الذكاء الاصطناعي عنصراً أساسياً في تحسين استدامة الزراعة والتكيف مع التغيرات المناخية، وسيؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام الموارد بشكل عام.

ومع ذلك، من الضروري مواجهة التحديات التقنية، الأخلاقية والاجتماعية التي تعرقل تبني هذه التقنيات في بعض المناطق. لضمان تبني ناجح ومستدام، يجب تعزيز التعاون بين الحكومات، القطاع الخاص، والمؤسسات البحثية لتطوير حلول مخصصة تناسب الظروف الزراعية الخاصة بكل منطقة. إلى جانب ذلك، فإن تدريب المزارعين وبناء قدراتهم على استخدام هذه التقنيات أمر حيوي، فضلاً عن تعزيز البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية.

في المستقبل، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يلعب دوراً حاسماً في تحقيق الأمن الغذائي العالمي من خلال توفير حلول مبتكرة للتحديات الزراعية المعقدة. بالتالي، سيسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة وزيادة قدرة العالم على مواجهة الضغوط السكانية والبيئية.

8. المراجع

Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.

Liakos, K. G., *et al*. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.

Patel, R., *et al.* (2019). Adoption challenges of AI in Indian agriculture: A case study. *Journal of Rural Studies*, 67, 123-131.

Rose, D. C., *et al*. (2020). Challenges and opportunities for AI in agriculture: A social science perspective. *Agricultural Systems*, 180, 102792.

Sharma, S., *et al.* (2020). Data privacy and security concerns in AI applications in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105576.

الفصل 34 - ثورة الحقول الذكية: تطبيقات التكنولوجيا المتقدمة في الزراعة

المحتويات

1. المقدمة
2. مفهوم الحقول الذكية وأهميتها
3. استخدام الروبوتات الزراعية في الزراعة الذكية
4. نظم الري الذكي وأتمتة المزارع
5. تقنيات المراقبة البيئية والتحكم الذاتي في الحقول
6. إنترنت الأشياء (IoT) وأثره على إدارة الحقول
7. دراسات حالة ناجحة لتطبيق الحقول الذكية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

شهدت الزراعة في العقود الأخيرة تطوراً ملحوظاً بفعل التقدم السريع في التقنيات الرقمية والذكية، مما أدى إلى ظهور مفهوم "الحقول الذكية" كنهج متكامل لتحقيق زراعة أكثر كفاءة واستدامة. تهدف الحقول الذكية إلى تحسين الإنتاج الزراعي من خلال استخدام أنظمة مراقبة وتحكم متطورة تجمع بين عدة تقنيات مثل الروبوتات، الحساسات، نظم الري الذكي، وإنترنت الأشياء، إضافة إلى تطبيقات الذكاء الاصطناعي (Wolfert *et al.*, 2017). هذه التكنولوجيا تتيح للمزارعين اتخاذ قرارات مدعومة بالبيانات وتحسين استغلال الموارد الطبيعية، مما يعزز الأمن الغذائي ويقلل من الأثر البيئي للزراعة التقليدية. وبناءً على ذلك، تعتبر الحقول الذكية حجر الزاوية في مستقبل الزراعة المستدامة وضرورية لمواجهة التحديات المتزايدة مثل تغير المناخ وندرة المياه وتزايد الطلب على الغذاء.

2. مفهوم الحقول الذكية وأهميتها

الحقول الذكية هي نظم زراعية تعتمد على تقنيات رقمية متقدمة لجمع وتحليل البيانات الحية من البيئة الزراعية بهدف تحسين العمليات الزراعية. تتضمن هذه النظم تقنيات مثل الروبوتات الزراعية، أجهزة الاستشعار، نظم الري الذكي، وإنترنت الأشياء. يتم جمع هذه البيانات من الحقول الزراعية لتمكين المزارعين من اتخاذ قرارات مدعومة بالبيانات والتي تساعد في تحسين الإنتاجية وزيادة الكفاءة.

- **أهمية الحقول الذكية تتجلى في عدة جوانب:**

- **تحسين الإنتاجية الزراعية:** تتيح الحقول الذكية تحسين إدارة المحاصيل باستخدام تقنيات متقدمة لقياس العوامل المؤثرة في نمو النباتات مثل الرطوبة ودرجة الحرارة ومستويات العناصر الغذائية في التربة. من خلال هذه البيانات، يتمكن المزارع من تحديد أفضل الأوقات للتسميد والري، مما يؤدي إلى تحسين النمو الزراعي وزيادة الإنتاجية.
- **تقليل التكاليف التشغيلية:** تعمل تقنيات الحقول الذكية على تقليل الهدر في استخدام المياه والأسمدة والمبيدات. باستخدام أنظمة الري الذكي المدعومة بالذكاء الاصطناعي، يمكن تقليل استهلاك المياه عن طريق تحديد احتياجات كل جزء من الأرض. كما تساعد أنظمة مكافحة الآفات الذكية في الحد من استخدام المبيدات الحشرية، مما يقلل من التكاليف البيئية والتشغيلية.
- **تقليل الأثر البيئي:** تعتبر الحقول الذكية أداة قوية للحد من التأثير البيئي للزراعة التقليدية. من خلال التحكم الدقيق في الري والتسميد ومكافحة الآفات، يمكن تقليل انبعاثات الكربون الناتجة عن الاستخدام المفرط للموارد الطبيعية. كما أن تقليل الحاجة إلى المبيدات الحشرية يحسن من صحة التربة والمياه الجوفية.
- **تعزيز القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية:** تتيح الحقول الذكية للمزارعين التكيف مع التغيرات المناخية بشكل فعال من خلال أنظمة مراقبة

مستمرة للظروف البيئية. يمكن للأنظمة الذكية التنبؤ بالتغيرات المناخية القادمة مثل الجفاف أو الفيضانات، ما يسمح للمزارعين بتعديل استراتيجياتهم الزراعية في الوقت المناسب للحفاظ على المحاصيل.

إجمالاً، يمكن القول أن الحقول الذكية تمثل تحولاً نوعياً في الأساليب التقليدية للزراعة. فهي لا تقتصر على زيادة الكفاءة، بل تساهم أيضاً في تحقيق الزراعة المستدامة التي تدعم البيئة والمجتمعات الزراعية بشكل عام.

3. استخدام الروبوتات الزراعية في الزراعة الذكية

تعد الروبوتات الزراعية إحدى الركائز الأساسية للزراعة الذكية، حيث تمثل تطبيقاً عملياً للتكنولوجيا المتقدمة في أتمتة العديد من المهام الزراعية. هذه الروبوتات قادرة على تنفيذ المهام الزراعية التي كانت في السابق تتطلب جهوداً بشرية كثيفة، مما يسهم في تحسين الكفاءة وتقليل التكاليف.

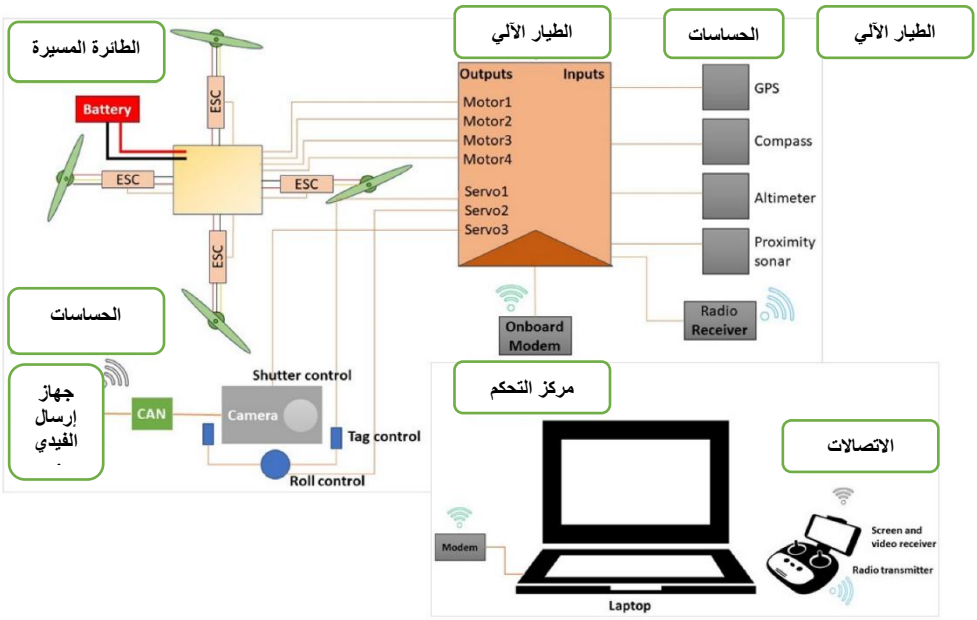
تنفيذ الروبوتات للuديد من المهام الزراعية (عن: Freepik)

تتمثل الروبوتات الزراعية في مجموعة واسعة من الأجهزة التي تُستخدم في العديد من المهام مثل الزراعة والرش والحصاد والمراقبة البيئية. بفضل قدرتها على العمل بشكل مستمر وبدقة عالية، تساهم الروبوتات في تقليل الأخطاء البشرية وتعزيز الأداء العام

في الحقول. كما تُتيح هذه الأنظمة تحسين الإنتاجية وتوفير الوقت، ما يعزز الكفاءة الزراعية على نطاق واسع.

- **كيف تعمل الروبوتات الزراعية؟**

تعمل الروبوتات الزراعية باستخدام مجموعة من التقنيات المتقدمة مثل الرؤية الحاسوبية وأجهزة الاستشعار والذكاء الاصطناعي. على سبيل المثال، تستخدم بعض الروبوتات كاميرات حرارية وأجهزة استشعار للكشف عن مشاكل صحة النباتات مثل الأمراض أو نقص العناصر الغذائية. تقوم هذه الروبوتات بمراقبة الحقول بشكل مستمر، مما يسمح بالكشف المبكر عن أي تغييرات أو تحديات قد تؤثر على المحاصيل.



مخطط كامل لنظام الطائرات بدون طيار (عن: Guebsi *et al.*, 2024).

كما تعتمد الروبوتات على خوارزميات التعلم الآلي لتحسين أدائها مع مرور الوقت. يعني ذلك أن الروبوتات تصبح أكثر كفاءة في تنفيذ المهام مع زيادة البيانات التي تُجمع

بمرور الوقت، مما يسهم في تحسين جودة العمل وزيادة الإنتاجية (Bakr *et al*., 2020).

- **التطبيقات الناجحة للروبوتات الزراعية:**

➢ **الروبوتات الخاصة بجمع الثمار:** في حقول الفواكه، تستخدم الروبوتات لجمع الثمار مثل التفاح، البرتقال، والطماطم. تتميز هذه الروبوتات بقدرتها على قطف الثمار بعناية ودقة، مما يقلل من الأضرار التي قد تحدث أثناء الحصاد اليدوي. إذ تُمكّن الروبوتات من جمع الفواكه بشكل أسرع وأكثر دقة، مع تقليل الفرص التي قد تؤدي إلى تلف الثمار نتيجة التعامل البشري الخاطئ .

الروبوتات الزراعية في اتمتة عمليات الجني (عن: Woodward, 2023).

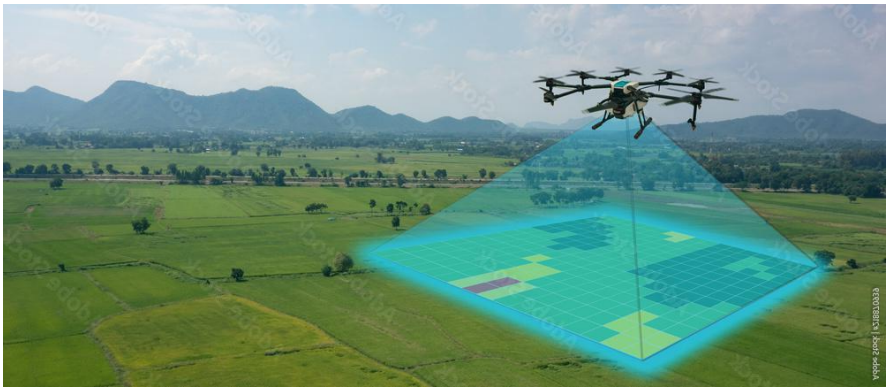
➢ **الروبوتات لعملية رش المبيدات:** تستخدم بعض الروبوتات أجهزة استشعار وتقنيات تصوير متقدمة لتحديد المناطق المصابة بالآفات أو الأمراض، ثم تقوم برش المبيدات بشكل دقيق فقط على المناطق المستهدفة. هذه التقنية تساهم في

تقليل استهلاك المواد الكيميائية بشكل كبير مقارنة بالرش التقليدي الذي قد يتسبب في انتشار المبيدات عبر الحقل بأكمله. يُؤدي هذا إلى تقليل التلوث البيئي ويُحسن من صحة التربة والمياه الجوفية.

رش المبيدات باستخدام الطائرات المسيرة على المحاصيل الحقلية والأشجار المثمرة (عن: Freepik)

- **الروبوتات المخصصة لرصد المحاصيل:** تقوم بعض الروبوتات الزراعية المتطورة بجمع بيانات شاملة عن حالة المحاصيل. تتضمن هذه البيانات معلومات حول الرطوبة، درجة الحرارة، نمو النباتات، وأية مشاكل صحية قد

تصيب المحاصيل. تساهم هذه الروبوتات في تشخيص المشاكل الزراعية مبكراً، ما يسمح للمزارعين باتخاذ قرارات فورية لتحسين العناية بالمحاصيل.



مراقبة الروبوتات للحقول الزراعية بشكل مستمر (عن: Freepik)

- **الروبوتات في الزراعة الدقيقة:** في الزراعة الدقيقة، تُستخدم الروبوتات لضبط كمية الأسمدة و المياه المستهلكة بناءً على بيانات حية تم جمعها من التربة والمحاصيل. تساهم هذه الأنظمة في تحسين استغلال الموارد وتقليل الهدر، مما يعزز استدامة الزراعة.

- **التحديات التي تواجه الروبوتات الزراعية:**

رغم إمكانيات الروبوتات الكبيرة، إلا أن هناك بعض التحديات التي قد تؤثر على تطبيقاتها على نطاق واسع، مثل:

- **التكلفة العالية:** يشكل ثمن الروبوتات الحديثة أحد العوائق التي قد تواجه المزارعين، خاصة في المناطق الريفية أو ذات الموارد المحدودة.
- **الاعتماد على البنية التحتية:** تحتاج الروبوتات إلى بنية تحتية رقمية قوية لدعم تشغيلها، مثل شبكات الإنترنت ذات السرعة العالية وأجهزة الاستشعار المتطورة.

- **التكيف مع بيئات متنوعة:** قد تواجه الروبوتات صعوبة في التكيف مع البيئات الزراعية المتنوعة، مثل التضاريس غير المستوية أو الظروف المناخية المتغيرة.

- **الفوائد البيئية والاقتصادية للروبوتات الزراعية:**

- **تقليل البصمة الكربونية:** من خلال تحسين كفاءة استهلاك الموارد مثل المياه والمبيدات، يمكن للروبوتات الزراعية تقليل الانبعاثات الكربونية الناجمة عن الزراعة التقليدية. هذا يُسهم في الزراعة المستدامة وتقليل التلوث البيئي.
- **تحسين استدامة الإنتاج:** باستخدام الروبوتات، يمكن تحقيق إنتاجية أعلى باستخدام موارد أقل. يتم استخدام الأسمدة والمبيدات بشكل أكثر دقة، مما يعزز صحة المحاصيل ويزيد من عوائد المزارع.
- **زيادة الكفاءة وتقليل التكاليف:** من خلال أتمتة المهام الزراعية التي كانت تعتمد على العمالة اليدوية، يمكن تقليل التكاليف التشغيلية المرتبطة بالعمالة. كما أن الروبوتات تعمل على مدار الساعة، مما يعزز الإنتاجية دون التأثير على الجودة.

في الختام، تعتبر الروبوتات الزراعية من العناصر المحورية التي تُحدث ثورة في الزراعة الذكية، حيث تساهم في تحسين الكفاءة و الاستدامة. ومع استمرار التطور في هذا المجال، من المتوقع أن تلعب هذه الروبوتات دوراً رئيسياً في تحقيق الأمن الغذائي العالمي وتقليل الأثر البيئي للقطاع الزراعي.

4. نظم الري الذكي وأتمتة المزارع

تلعب نظم الري الذكي دوراً محورياً في تحسين كفاءة استخدام المياه في الزراعة، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه أو تتعرض إلى تغيرات مناخية حادة. يعد الري

الذكي أداة أساسية لتحسين استدامة الزراعة من خلال تقليل الهدر وتحقيق إنتاجية أعلى باستخدام كمية أقل من المياه.

نظم الري الذكي (عن: Freepik).

تعتمد نظم الري الذكي على تقنيات متقدمة تشمل حساسات قياس رطوبة التربة وأجهزة استشعار بيئية ونماذج تحليل البيانات التي تساعد في تحديد الوقت المثالي للري وكمية المياه المطلوبة لكل منطقة في الحقل بشكل دقيق (Jones, 2018). تساعد هذه الأنظمة المزارعين على اتخاذ قرارات ري مدعومة بالبيانات في الوقت الفعلي.

- **كيف تعمل نظم الري الذكي؟**

  - **حساسات رطوبة التربة:** تعمل هذه الحساسات على قياس مستوى الرطوبة في التربة وتحديد مدى حاجة النباتات إلى المياه. تُرسل هذه الحساسات البيانات إلى أنظمة التحكم المركزية، التي تقوم بتشغيل أو إيقاف مضخات الري والصمامات وفقاً للبيانات المستخلصة.
  - **أنظمة تحكم مؤتمتة:** تقوم أنظمة التحكم المؤتمتة بالتحكم في تدفق المياه إلى الحقول بناءً على البيانات التي يتم جمعها من الحساسات. تتضمن هذه الأنظمة

أنظمة الرش والري بالتنقيط التي تعمل تلقائياً، مما يقلل من الهدر ويزيد من فعالية استهلاك المياه.

- **الطائرات بدون طيار والطائرات الصغيرة:** تُستخدم هذه الطائرات لجمع البيانات البيئية و الصور الجوية للمحاصيل والتربة. من خلال هذه البيانات، يمكن تحسين استراتيجيات الري بدقة أكبر، خاصة في المناطق التي يصعب مراقبتها من الأرض (Baptista *et al*., 2021).

- **فوائد الري الذكي:**

- **تقليل استهلاك المياه:** أحد أهم مزايا نظم الري الذكي هو القدرة على تقليل استهلاك المياه .تشير الدراسات إلى أن نظم الري الذكي يمكن أن تقلل استهلاك المياه بنسبة تتراوح بين 30-50% مقارنة بالري التقليدي (Smith & Smith, 2019). هذا التوفير مهم بشكل خاص في المناطق التي تواجه أزمة المياه.

- **تحسين نمو النباتات:** من خلال توفير كمية المياه المناسبة في الوقت المناسب، تساهم نظم الري الذكي في تحسين نمو النباتات بشكل أكثر فاعلية. هذا يساهم في الحصول على محاصيل عالية الجودة وزيادة الإنتاجية.

- **خفض التكاليف التشغيلية:** نظراً لتقليل استهلاك المياه وزيادة الكفاءة، تساعد نظم الري الذكي المزارعين في تقليل التكاليف التشغيلية المرتبطة بالري التقليدي. كما أن استخدام التقنيات المؤتمتة يقلل من الحاجة إلى العمالة البشرية، مما يساهم في تقليل التكاليف.

- **زيادة الاستدامة الزراعية:** تساهم نظم الري الذكي في تحقيق الاستدامة الزراعية من خلال الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية مثل المياه. كما تقلل من الأثر البيئي للزراعة التقليدية، مثل تلوث المياه الجوفية بالمبيدات أو الأسمدة.

- **التطبيقات العملية لنظم الري الذكي:**

مثال تطبيقي:

- **فلسطين المحتلة:** تُعد نظم الري بالتنقيط الذكي في إسرائيل مثالاً ناجحاً على استخدام الري الذكي. هناك العديد من المزارع التي تستخدم حساسات رطوبة التربة لقياس رطوبة التربة في الوقت الفعلي. هذه الأنظمة تمكن المزارعين من اتخاذ قرارات ري دقيقة. وفقاً لدراسة Tal *et al*. (2020)، أدى هذا النظام إلى تحسين إنتاجية المحاصيل وتقليل استهلاك المياه بنسبة 40%، مما ساهم في تحسين الاستدامة الزراعية في المناطق الجافة.
- **مزارع في كاليفورنيا:** استخدمت بعض المزارع في ولاية كاليفورنيا الأمريكية أنظمة الري الذكي المعتمدة على إنترنت الأشياء لتحسين استهلاك المياه. هذه الأنظمة تعتمد على جمع البيانات من الحساسات البيئية المنتشرة في الحقل، مثل درجة الحرارة والرطوبة، ثم تقوم بتعديل تدفق المياه بشكل ديناميكي. أسهم هذا النظام في تقليل الفاقد من المياه وزيادة الإنتاجية بنسبة 20-25% (Jones, 2018).

- **التحديات في تطبيق نظم الري الذكي:**

- **التكلفة الأولية:** قد تكون تكلفة تركيب نظم الري الذكي مرتفعة في البداية، مما يشكل عقبة لبعض المزارعين. ومع ذلك، يعد التوفير في الموارد وتحسين الإنتاجية مع مرور الوقت استثماراً طويل الأجل.
- **الحاجة إلى بنية تحتية تقنية:** تحتاج نظم الري الذكي إلى شبكة بيانات قوية وتقنيات استشعار متقدمة، ما يتطلب وجود بنية تحتية رقمية متطورة. في المناطق الريفية أو في الدول النامية، قد تكون هذه البنية التحتية غير متوفرة أو مكلفة.

- **التدريب والتوعية:** يواجه المزارعون تحدياً في التكيف مع هذه الأنظمة الجديدة. لذلك، يحتاجون إلى التدريب على كيفية استخدام هذه التكنولوجيا بشكل فعال.

تمثل نظم الري الذكي أداة محورية في تحقيق الاستدامة الزراعية، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه. من خلال تقليل استهلاك المياه وتحسين الإنتاجية، تساهم هذه الأنظمة في مواجهة التحديات البيئية والمناخية. ومع استمرار تطور التقنيات، من المتوقع أن تصبح نظم الري الذكي أكثر فعالية وقابلة للتطبيق على نطاق أوسع، ما يعزز من استدامة الزراعة ويحقق الأمن الغذائي في المستقبل.

5. تقنيات المراقبة البيئية والتحكم الذاتي في الحقول

تعد تقنيات المراقبة البيئية أحد العوامل الأساسية في تعزيز كفاءة الحقول الذكية من خلال جمع وتحليل البيانات البيئية الدقيقة. تعتمد هذه التقنيات على حساسات متقدمة لقياس مجموعة متنوعة من المؤشرات البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة وتركيز ثاني أكسيد الكربون ومستويات الإشعاع الشمسي. كما يتم مراقبة صحة النباتات باستخدام كاميرات عالية الدقة وأجهزة تصوير طيفي لقياس تأثير البيئة على نمو المحاصيل وجودتها (Zhang *et al*., 2020).

- **كيف تعمل تقنيات المراقبة البيئية؟**

- **الحساسات المتقدمة:** توفر الحساسات التي تُنصب في الحقول الزراعية بيانات دقيقة حول الظروف البيئية للمحاصيل. على سبيل المثال، يمكن لحساسات درجة الحرارة والرطوبة مراقبة التغيرات الدقيقة في البيئة، بينما تتيح حساسات CO_2 مراقبة صحة النباتات وكفاءة عملية التمثيل الضوئي.
- **كاميرات تصوير طيفي:** تستخدم هذه الكاميرات للتصوير في الطيف غير المرئي مثل الأشعة تحت الحمراء. تُمكن هذه الكاميرات من تحديد مستوى

إجهاد النباتات، مما يساعد في التشخيص المبكر لأي مشكلات مثل نقص العناصر الغذائية أو الإصابة بالأمراض.

- **إنترنت الأشياء:** تعتمد هذه التقنيات على شبكة من الأجهزة المتصلة التي تقوم بجمع البيانات بشكل مستمر وإرسالها إلى منصات تحليل ذكية. بفضل تقنيات IoT، يمكن للمزارعين مراقبة حقولهم عن بُعد والحصول على معلومات في الوقت الفعلي حول حالة المحاصيل وبيئة الزراعة.

- **فوائد التقنيات البيئية والتحكم الذاتي في الحقول**

- **تحسين الكفاءة الزراعية:** من خلال جمع البيانات البيئية وتحليلها في الوقت الفعلي، تمكن هذه الأنظمة المزارعين من اتخاذ قرارات دقيقة. على سبيل المثال، يمكن للمزارع التحكم في الري بناءً على رطوبة التربة أو تشغيل أنظمة التهوية في البيوت المحمية بناءً على درجة الحرارة.
- **التحكم الذاتي في البيئة:** تتمثل إحدى أبرز مزايا هذه الأنظمة في قدرتها على التحكم الذاتي في العديد من العمليات الزراعية. يمكن لهذه الأنظمة فتح أو إغلاق أنظمة التهوية تلقائياً في البيوت المحمية، وضبط أنظمة الري بناءً على مستويات الرطوبة، أو تعديل مستويات الإضاءة بشكل تلقائي وفقاً لاحتياجات النباتات.
- **تقليل التدخل البشري:** من خلال أتمتة العمليات الزراعية، يتم تقليل الحاجة إلى التدخل البشري المباشر، مما يعزز استقرار الإنتاجية وجودة المحاصيل . كما أن هذه الأتمتة تؤدي إلى تقليل الأخطاء البشرية التي قد تؤثر على جودة الإنتاج.
- **تحقيق استدامة البيئة الزراعية:** تساهم هذه الأنظمة في تقليل الهدر في الموارد مثل المياه والطاقة من خلال تحسين إدارة هذه الموارد بشكل فعال ودقيق.

دراسة حالة:

في هولندا: استخدمت إحدى الشركات الزراعية في هولندا نظام مراقبة بيئي متكامل في البيوت المحمية التي تزرع الزهور والخضروات. يعتمد النظام على جمع البيانات من الحساسات المنتشرة في البيوت المحمية حول درجة الحرارة، الرطوبة، الغازات البيئية، ومستويات الإضاءة. من خلال التحليل الفوري للبيانات، تمكن النظام من التحكم في الظروف المناخية بشكل دقيق.

النتائج:

- زيادة الإنتاج بنسبة 20 % بسبب تحسين البيئة التي تؤثر على نمو النباتات.
- تقليل استهلاك المياه بنسبة 30% بفضل التنبؤ الدقيق باحتياجات الري وتقليل الفاقد.

- **التحديات في تطبيق تقنيات المراقبة البيئية والتحكم الذاتي:**

- **التكلفة الأولية المرتفعة:** يعد تركيب الأنظمة البيئية المتقدمة مثل الحساسات والأنظمة المؤتمتة من الجوانب المكلفة، مما قد يشكل عائقاً للمزارعين ذوي الميزانيات المحدودة. كما أن تكاليف الصيانة والتحديثات التقنية يمكن أن تكون مرتفعة.
- **الحاجة إلى بنية تحتية رقمية قوية:** تعتمد هذه التقنيات على شبكات الإنترنت وتبادل البيانات في الوقت الفعلي، وهو ما يتطلب وجود بنية تحتية رقمية متطورة في المناطق الزراعية. في بعض المناطق النائية، قد تكون هذه البنية التحتية غير متاحة أو غير مستدامة.
- **التعقيد في الاستخدام:** قد يواجه بعض المزارعين صعوبة في التكيف مع التقنيات الحديثة مثل تحليل البيانات أو إدارة الأنظمة المؤتمتة. لذا يحتاج المزارعون إلى تدريب مستمر لفهم كيفية استخدام هذه الأنظمة بشكل فعال.

- **آفاق المستقبل:**

مع تطور التكنولوجيا وخفض التكاليف، من المتوقع أن تصبح أنظمة المراقبة البيئية والتحكم الذاتي أكثر سهولة في التطبيق على نطاق واسع. قد تلعب هذه الأنظمة دوراً حيوياً في تعزيز الاستدامة الزراعية، حيث تساعد في تحقيق إنتاجية أعلى باستخدام موارد أقل.

تعد تقنيات المراقبة البيئية والتحكم الذاتي من العناصر الأساسية في الحقول الذكية التي تسهم بشكل كبير في تحسين الكفاءة الزراعية و استدامة البيئة. مع تطور هذه التقنيات، سيتمكن المزارعون من تحقيق إنتاجية أعلى وجودة أفضل للمحاصيل مع تقليل الأثر البيئي، مما يساعد في تلبية الاحتياجات الغذائية العالمية مع الحفاظ على الموارد الطبيعية.

6. إنترنت الأشياء وأثره على إدارة الحقول

يُعد إنترنت الأشياء من الركائز الأساسية التي تُمكّن من تفعيل مفهوم الحقول الذكية، حيث يتيح التواصل بين الأجهزة الزراعية المختلفة عبر شبكة اتصالات ذكية، مما يتيح تبادل البيانات في الوقت الحقيقي (Kamilaris *et al*., 2017). يشمل ذلك حساسات التربة والطائرات بدون طيار وأنظمة الري والروبوتات والكاميرات التي تلتقط بيانات مهمة وتقوم بنقلها إلى منصات تحليل ذكية لتوفير رؤية شاملة حول حالة الحقل.

- **كيف يعمل إنترنت الأشياء في الزراعة؟**

  - **جمع البيانات عبر الحساسات:** يتم تركيب حساسات ذكية في التربة والمعدات الزراعية لقياس درجة الرطوبة ودرجة الحرارة ومستوى الأسمدة و تركيزات الغازات البيئية. هذه الحساسات توفر بيانات دقيقة وفورية حول حالة التربة والمحاصيل.

- **الطائرات بدون طيار:** تُستخدم الطائرات بدون طيار (Drones) لتقديم صور جوية شاملة للحقل. باستخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية، تقوم هذه الطائرات بتحليل نمو المحاصيل والصحة النباتية وتحديد المناطق المتضررة من الأمراض أو الآفات.
- **الأنظمة المؤتمتة:** أنظمة الري الذكي والروبوتات التي تعمل ضمن شبكات انترنت الأشياء يمكنها العمل بشكل مؤتمت للقيام بعمليات مثل الري والرش أو حتى الحصاد بناءً على البيانات المدخلة. تساهم هذه الأنظمة في تقليل الهدر وزيادة كفاءة استهلاك الموارد.

- **فوائد إنترنت الأشياء في الزراعة:**

- **مراقبة الحقول عن بُعد:** يمكن للمزارعين مراقبة حالة الحقول بشكل مستمر ودقيق عبر الإنترنت، مما يسمح لهم باتخاذ قرارات مستنيرة بشكل أسرع. هذه القدرة على المراقبة عن بُعد تعزز سرعة الاستجابة ل التغيرات البيئية أو المشاكل الزراعية مثل الآفات أو الأمراض.
- **إدارة دقيقة للموارد:** من خلال تحليل البيانات في الوقت الفعلي، تتيح أنظمة انترنت الأشياء جدولة العمليات الزراعية بشكل أكثر دقة. يمكن للمزارع ضبط مواعيد الري والتسميد بناءً على الاحتياجات الفعلية للنباتات، مما يؤدي إلى توفير المياه والموارد الطبيعية الأخرى.
- **تحسين الإنتاجية:** من خلال تطبيق التحليلات الدقيقة على البيانات المجمعة، يمكن للمزارعين تحسين نمو المحاصيل وجودتها، مما يساهم في زيادة الإنتاجية بنسبة كبيرة.
- **خفض التكاليف التشغيلية:** نظراً لأن الأنظمة المؤتمتة تعمل بدقة عالية، يُمكن تقليل تكاليف العمالة والعمالة اليدوية التي كانت تُستخدم لتنفيذ المهام التقليدية مثل الري والحصاد.

دراسة حالة:

في الولايات المتحدة: تبنت إحدى الشركات الزراعية نموذجاً متكاملاً مبنياً على تقنيات انترنت الأشياء لإدارة مزارع الذرة والقمح. تم تركيب حساسات لقياس الرطوبة ودرجة الحرارة، واستخدام طائرات بدون طيار لرصد نمو المحاصيل. يتم التحكم في أنظمة الري والرش عبر نظام تحكم مركزي، ما يتيح أتمتة العمليات الزراعية.

النتائج:

- تحسن الإنتاجية بنسبة 15 % بفضل الدقة في تحديد احتياجات الري والتسميد.
- تقليل التكاليف التشغيلية بنسبة 10% نتيجة الأتمتة وتقليل الهدر في المياه والموارد.

- **التحديات المرتبطة بتطبيق انترنت الأشياء في الزراعة:**

- **البنية التحتية التقنية:** إنترنت الأشياء يتطلب وجود بنية تحتية رقمية متطورة، مثل شبكات الاتصال عالية السرعة. في بعض المناطق الريفية أو النائية، قد تكون هذه البنية التحتية غير متاحة أو تحتاج إلى استثمارات ضخمة.
- **التكلفة الأولية:** على الرغم من أن تطبيق تقنيات انترنت الأشياء يوفر مزايا على المدى الطويل، إلا أن التكلفة الأولية لتركيب الأنظمة الذكية، بما في ذلك الحساسات و الطائرات بدون طيار، قد تكون مرتفعة. هذا يمكن أن يكون عائقاً لبعض المزارعين في المناطق ذات الميزانيات المحدودة.
- **حماية البيانات:** بما أن انترنت الأشياء يعتمد على نقل البيانات عبر الإنترنت، فإن هناك مخاوف متعلقة بـ حماية البيانات وأمن المعلومات. قد تكون بعض الأنظمة عرضة للهجمات الإلكترونية أو تسرب البيانات الزراعية الحساسة.

- **التدريب والتوعية:** يواجه العديد من المزارعين صعوبة في التكيف مع التكنولوجيا الحديثة. يتطلب تطبيق تقنيات انترنت الأشياء تدريباً متقدماً للمزارعين على كيفية استخدام وتحليل البيانات بشكل فعّال.

- **آفاق المستقبل:**

مع استمرار تطور تقنيات إنترنت الأشياء وانخفاض تكاليفها، فإن تطبيقات إنترنت الأشياء في الزراعة ستصبح أكثر انتشاراً. من المتوقع أن تلعب هذه التقنيات دوراً محورياً في تحقيق الزراعة المستدامة وزيادة الأمن الغذائي العالمي عبر تحسين الكفاءة وتقليل الفاقد.

يُعد إنترنت الأشياء أحد العوامل الأساسية التي تعزز من فعالية الحقول الذكية. من خلال جمع البيانات الحية وتحليلها في الوقت الفعلي، يتمكن المزارعون من تحقيق قرارات دقيقة بشأن الري والتسميد والأنشطة الزراعية الأخرى. على الرغم من التحديات المتعلقة بالتكلفة والبنية التحتية، فإن انترنت الأشياء يعد أداة قوية في تحقيق الاستدامة الزراعية وزيادة الإنتاجية بشكل مستدام.

7. دراسات حالة ناجحة لتطبيق الحقول الذكية

تُعد دراسة تجارب الحقول الذكية الناجحة وسيلة فعّالة لفهم كيفية تطبيق التقنيات المتقدمة في الزراعة في سياقات مختلفة. تتضمن الأمثلة التالية أبرز دراسات الحالة التي توضح كيف أسهمت التقنيات الذكية في تحسين الإنتاجية الزراعية والحد من التحديات البيئية:

- **مشروع "الحقول الذكية" في إسبانيا (منطقة الأندلس)**

تم تطبيق نظام متكامل للحقول الذكية في مزارع الزيتون في منطقة الأندلس باستخدام الروبوتات الزراعية ونظم الري الذكي وإنترنت الأشياء. سعى المشروع إلى تحقيق استدامة أكبر في الزراعة عبر تحسين إدارة الموارد.

النتائج:

- تقليل استهلاك المياه بنسبة 40.%
- زيادة الإنتاجية بنسبة 25% خلال ثلاث سنوات.
- تحسين جودة الزيت بشكل ملحوظ، مما أدى إلى تحسين العوائد المالية.

التقنيات المستخدمة:

- الروبوتات الزراعية: لآليات الحصاد والدقة في التوزيع.
- نظام الري الذكي: مراقبة رطوبة التربة والتحكم في التدفق تلقائياً.
- إنترنت الأشياء: تحليل البيانات البيئية بشكل مستمر.

- **مزارع الأرز الذكية في فيتنام**

اعتمدت بعض مزارع الأرز في فيتنام على نظم مراقبة بيئية دقيقة وتحليل البيانات المتقدم للتنبؤ بأوقات الري والتسميد، ما أدى إلى تقليل الفاقد من الموارد وتحسين عوائد المحاصيل.

النتائج:

- تقليل الهدر في المياه والأسمدة.
- تحسين العوائد الزراعية بشكل ملحوظ نتيجة التنبؤ الدقيق.

التقنيات المستخدمة:

- أنظمة المراقبة البيئية: لقياس متغيرات البيئة مثل الرطوبة والحرارة.
- تحليل البيانات المتقدم: لتحسين توقيت الري والتسميد.

- **الحقول الذكية في الإمارات العربية المتحدة**

في الإمارات، تميزت مشاريع الزراعة الذكية في المناطق الصحراوية باستخدام تقنيات الري بالتنقيط وحساسات التربة وأنظمة مراقبة بيئية متقدمة لمواجهة تحديات البيئة الجافة.

النتائج:

- زيادة الإنتاجية مع تقليل استهلاك المياه في بيئة قاحلة جداً.
- تحقيق استدامة في الزراعة في ظل الظروف الصحراوية القاسية.

التقنيات المستخدمة:

- الري بالتنقيط: لضمان استخدام دقيق للمياه.
- حساسات التربة: لمراقبة الرطوبة و احتياجات المحاصيل.

- **دراسة حالة: مشروع الحقول الذكية في هولندا**

تعتبر الزراعة الذكية محوراً أساسياً في القطاع الزراعي الهولندي، حيث تم تطبيق مشروع الحقول الذكية في مزارع البيوت المحمية. اعتمد المشروع على شبكة من الحساسات الذكية المتصلة بمنصة تحكم ذكية لتحليل البيانات البيئية بشكل فوري.

النتائج:

- تحسين جودة المحاصيل بنسبة 15%.
- تقليل استهلاك المياه بنسبة 30%.

التقنيات المستخدمة:

- شبكة من الحساسات: لرصد وتعديل الظروف المناخية داخل البيوت المحمية.
- منصة تحكم ذكية: لتحليل البيانات وتعديل البيئة تلقائياً.

- **دراسة حالة: الزراعة الذكية في كينيا**

في كينيا، المؤسسات الدولية تمول مشروعات الحقول الذكية في مناطق منخفضة الموارد لمساعدة المزارعين المحليين في تطبيق تقنيات الري الذكي والطائرات بدون طيار لمراقبة الأراضي الزراعية.

النتائج:

- زيادة الإنتاجية وتحقيق معدل أعلى من الكفاءة.
- تقليل الفاقد الزراعي في ظل الظروف المناخية الصعبة.

التقنيات المستخدمة:

- الري الذكي: لضمان كفاءة استخدام المياه.
- الطائرات بدون طيار: لمراقبة الحقول وجمع البيانات البيئية.

- **التحديات التي تم تجاوزها في هذه الدراسات:**

- **التحديات البيئية:** في المناطق مثل الإمارات و فيتنام، كان إدارة المياه والحفاظ على الموارد الطبيعية من أكبر التحديات التي تواجه المزارعين. وقد نجحت هذه المشاريع في إيجاد حلول فعّالة من خلال الري الذكي و تحليل البيانات.
- **التحديات الاقتصادية:** تكاليف التكنولوجيا المتقدمة كانت تشكل تحدياً في بعض المشاريع مثل كينيا، إلا أن الدعم الدولي والتعاون بين القطاعين العام والخاص ساعد في تحقيق النجاح.
- **التحديات التقنية:** كانت البنية التحتية الرقمية وتوفر التدريب التقني من أهم عوامل النجاح في مشاريع مثل هولندا و إسبانيا، حيث تم تعزيز القدرات التقنية للمزارعين.

من خلال دراسات الحالة الناجحة، يظهر بوضوح كيف يمكن تطبيق التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي و إنترنت الأشياء والروبوتات الزراعية لتحسين إدارة الموارد و زيادة الإنتاجية في الزراعة. على الرغم من التحديات التي قد تواجه بعض المناطق، تُظهر هذه الأمثلة كيف يمكن لهذه التقنيات أن تُحدث فارقاً كبيراً في تحسين الزراعة المستدامة وضمان الأمن الغذائي في المستقبل.

8. الخاتمة

الزراعة الدقيقة تُعد واحدة من أبرز التحولات التكنولوجية التي تشهدها الزراعة المعاصرة. من خلال دمج تقنيات متقدمة مثل الحساسات الذكية ونظم تحديد المواقع العالمية والطائرات بدون طيار وتحليل البيانات، يمكن تحسين إدارة الموارد الزراعية مثل المياه والأسمدة، مما يعزز إنتاجية المحاصيل وجودتها مع تقليل الأثر البيئي الناتج عن الأنشطة الزراعية التقليدية.

- **الفوائد الرئيسية للزراعة الدقيقة:**

1. **تحسين كفاءة استخدام الموارد:** بفضل التكنولوجيا المتقدمة، يمكن تقليل استهلاك المياه والأسمدة بشكل كبير، وهو أمر بالغ الأهمية في المناطق ذات الموارد المحدودة مثل المناطق الصحراوية أو القاحلة.
2. **زيادة الإنتاجية وجودة المحاصيل:** عبر تحليل البيانات و التنبؤ بالظروف المناخية بشكل دقيق، يمكن للمزارعين اتخاذ قرارات مستنيرة تتعلق بالري والتسميد والمكافحة البيولوجية، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المحاصيل.
3. **تقليل الأثر البيئي:** تساهم الزراعة الدقيقة في تقليل الانبعاثات الكربونية، التلوث، و استهلاك المياه بفضل التحكم الأمثل في الموارد.

- **التحديات في تبني الزراعة الدقيقة:**

1. **تكاليف التكنولوجيا:** على الرغم من الفوائد الكبيرة، قد تكون تكاليف تطبيق التقنيات الذكية مرتفعة بالنسبة للمزارعين في الدول النامية أو المزارع الصغيرة، مما يتطلب دعماً حكومياً أو منظمات غير ربحية لدعم التحول التكنولوجي.
2. **التدريب والمهارات:** تواجه العديد من المناطق تحديات في تدريب المزارعين على استخدام التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. لذلك، تحتاج الزراعة الدقيقة إلى برامج تدريبية مستمرة تضمن استفادة جميع المزارعين من هذه التقنيات.
3. **التنوع البيئي والجغرافي:** تختلف الظروف البيئية والجغرافية من منطقة إلى أخرى، وبالتالي فإن الزراعة الدقيقة تحتاج إلى حلول مخصصة تناسب كل منطقة حسب احتياجاتها وظروفها.

- **التوجهات المستقبلية:**

إن الزراعة الدقيقة تشكل مساراً استراتيجياً لتحقيق الأمن الغذائي، حيث يُتوقع أن تصبح جزءاً أساسياً من استراتيجيات الزراعة المستدامة على مستوى العالم. لتوسيع نطاق هذه التكنولوجيا، يجب العمل على:

- تطوير سياسات داعمة تركز على حوافز الاستثمار في التقنيات الذكية.
- تعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص لتوفير الدعم الفني والمالي للمزارعين.
- تشجيع البحث العلمي وتطوير تقنيات مبتكرة لتحسين استدامة الزراعة في جميع الظروف المناخية.
-

8. الخاتمة

إن الاستثمار في الزراعة الدقيقة يعد أساساً لتحسين استدامة القطاع الزراعي في المستقبل. فبفضل هذه التقنيات، يمكن زيادة الإنتاجية بشكل مستدام، تقليل الأثر البيئي، وتعزيز الأمن الغذائي في مواجهة التحديات المتزايدة مثل تغير المناخ و نقص الموارد الطبيعية .ومن خلال التوسع في التطبيقات و تعزيز التعاون الدولي، يمكن تحويل الزراعة الدقيقة إلى عنصر حاسم في تحسين القطاع الزراعي عالمياً.

الزراعة الدقيقة تُمثل الجيل الجديد من الحلول الزراعية القادرة على تحقيق التوازن بين الإنتاجية و الاستدامة البيئية .رغم التحديات المرتبطة بتبني هذه التكنولوجيا، فإنها تفتح آفاقاً واسعة أمام مستقبل الزراعة المستدامة، مما يعزز الأمن الغذائي ويضمن استدامة الموارد في ظل التغيرات العالمية المتسارعة.

9. المراجع

Al-Gaadi, K. A., Al-Saif, A., & Khan, S. (2019). Smart irrigation systems in arid regions: Case study from the United Arab Emirates. *Agricultural Water Management*, 218, 175-184.

Baptista, F. G., De Souza, J. A., & Machado, P. L. O. (2021). Precision irrigation systems using IoT and UAV technologies: A review. *Sensors*, 21(4), 1255.

Jones, H. G. (2018). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 69(14), 3477–3486.

Guebsi, R. et al. (2024) Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. *Drones* 2024, *8*(11), 686.https://doi.org/10. 3390 /drones8110686.

Mwangi, M., Wainaina, J., & Oduor, P. (2021). Impact of smart agriculture technology adoption on smallholder farmers in Kenya. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 19(2), 124-138.

Smith, R., & Smith, J. (2019). Efficiency improvements in smart irrigation: A review. *Irrigation Science*, 37(1), 3-17.

Tal, A., Klein, I., & Barak, R. (2020). Smart irrigation solutions for arid climates: Insights from Israel. *Agricultural Systems*, 178, 102730.

Van der Linden, S., Muller, J., & de Vries, M. (2019). Smart greenhouses in the Netherlands: Enhancing production and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158, 122-130.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.

Woodward, R. (2023) Agricultural Robots – Bringing Smart Automation to Farming. Automation Internet of Things (IoT). https://knowhow.distrelec.com/

Zhang, C., Kovacs, J. M., & Asner, G. P. (2020). Remote sensing and precision agriculture: Opportunities and challenges. *International Journal of Remote Sensing*, 41(8), 3123-3144.

الفصل 35 - استخدام الطائرات دون طيار والرؤية الحاسوبية في الزراعة

المحتويات

1. المقدمة
2. أنواع الطائرات بدون طيار المستخدمة في الزراعة
3. مهام الطائرات بدون طيار: المراقبة، الرش، التحليل الطيفي
4. تقنيات الرؤية الحاسوبية واستخدامها في تحليل صحة المحاصيل
5. دمج بيانات الطائرات بدون طيار مع نظم المعلومات الجغرافية(GIS)
6. التحديات التنظيمية والتقنية لاستخدام الطائرات بدون طيار
7. أمثلة وتطبيقات عملية في مزارع حقيقية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

في عصر التحول الرقمي، لم تعد الزراعة مجرد عملية تعتمد على الأساليب التقليدية التي يعتمد فيها الفلاحون على خبراتهم الشخصية وحساباتهم البسيطة في التعامل مع الأرض والمحاصيل. فقد أضحى التطور التكنولوجي أداة أساسية في زيادة الكفاءة وتقليل التكاليف، وذلك من خلال تقديم حلول مبتكرة تساهم في تفعيل العمل الزراعي على أرفع مستوى من الدقة. وفي هذا السياق، تبرز تقنيات الطائرات دون طيار (الدرونز) والرؤية الحاسوبية كأدوات فعالة تسهم بشكل ملحوظ في تحسين إدارة المحاصيل الزراعية.

تعتبر الطائرات بدون طيار من أبرز التقنيات التي شهدت تطوراً سريعاً في الآونة الأخيرة، حيث ساعدت في تقديم حلول سريعة وفعّالة لمراقبة الأرض الزراعية، وإجراء فحوصات دقيقة للمحاصيل. ولعل أحد أبرز الفوائد التي تقدمها هذه التقنيات هو تحسين القدرة على جمع البيانات الدقيقة حول المحاصيل، مما يتيح للمزارعين اتخاذ قرارات

قائمة على معلومات موضوعية تساعدهم في إدارة الزراعة بشكل أكثر كفاءة (Zhang & Kovacs, 2012). تكمن قوة هذه التقنيات في استخدامها لتحليل صور جوية عالية الدقة، واستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل هذه الصور وتقديم رؤى مفصلة حول صحة المحاصيل وتوزيع المياه والتأكد من مستويات المواد الغذائية في التربة.

إضافةً إلى ذلك، تساهم الرؤية الحاسوبية في تعزيز القدرة على التعرف على حالات مختلفة من الأمراض والآفات التي قد تصيب المحاصيل، مما يساعد على التدخل السريع قبل أن تتفاقم المشكلة. كما تُتيح هذه التقنيات معرفة الحاجة إلى الرش أو التسميد بناءً على الظروف الفعلية للمحصول أو الأرض، بدلاً من استخدام الأساليب التقليدية التي قد تؤدي إلى هدر الموارد.

رؤية الحاسوبية في الزراعة (الجندي، 2024).

لكن مع جميع هذه الفوائد التي توفرها تقنيات الطائرات دون طيار، لا تزال هناك تحديات عديدة تتعلق باستخدامها في الزراعة. من بين هذه التحديات، تأتي العقبات التنظيمية المتعلقة بتنظيم حركة الطائرات في الأجواء، بالإضافة إلى متطلبات التقنية العالية التي يتطلبها تشغيل مثل هذه الأنظمة بفعالية. علاوة على ذلك، يعتبر دمج البيانات التي تُجمع

من الطائرات مع نظم المعلومات الجغرافية خطوة حاسمة لتحويل هذه البيانات إلى معرفة قابلة للاستخدام من قبل المزارعين في إدارة مزروعاتهم بشكل أفضل.

من خلال هذا الفصل، سنستعرض الأنواع المختلفة للطائرات دون طيار المستخدمة في الزراعة، المهام التي تقوم بها، وكيفية الاستفادة من تقنيات الرؤية الحاسوبية في تحديد صحة المحاصيل، بالإضافة إلى استكشاف التحديات التي قد يواجهها المزارعون عند تطبيق هذه التقنيات. كما سنقدم أمثلة تطبيقية توضح كيفية استخدام هذه التقنيات في المزارع الواقعية، ونتناول التوجهات المستقبلية التي قد تُغيّر ملامح الزراعة بشكل جذري.

2. أنواع الطائرات بدون طيار المستخدمة في الزراعة

تتعدد أنواع الطائرات بدون طيار (الدرونز) المستخدمة في الزراعة، ولكل نوع خصائصه التي تجعله مناسباً لمهام معينة. يتفاوت الاختيار بين هذه الأنواع بناءً على عوامل مثل المساحة الزراعية، نوع المحصول، والغرض المطلوب، فضلاً عن الميزانية المتاحة. فيما يلي استعراض لأبرز الأنواع التي يتم استخدامها في القطاع الزراعي:

- **الطائرات متعددة المراوح (Multirotor Drones)**

تتميز هذه الطائرات بتصميمها الذي يتضمن عدة مراوح، وعادة ما يكون عددها أربع أو ست أو ثماني مراوح، مما يمنحها القدرة على الإقلاع والهبوط عمودياً. هذا النوع من الطائرات يوفر استقراراً عالياً أثناء أداء المهام الدقيقة مثل الرش، المراقبة المستهدفة، أو تصوير المحاصيل. تعد الطائرات متعددة المراوح مثالية للمساحات الصغيرة والمتوسطة لأنها تستطيع المناورة بمرونة كبيرة وتفادي العوائق بسهولة (Tang *et al.*, 2020). ومع ذلك، تواجه هذه الطائرات تحديات تتعلق بوقت الطيران المحدود بسبب استهلاك البطارية السريع، مما قد يستدعي شحن البطاريات بشكل متكرر أثناء تنفيذ المهام.

- **الطائرات ذات الجناح الثابت (Fixed-Wing Drones)**

هذه الطائرات تشبه الطائرات التقليدية ذات الأجنحة الثابتة، وتتميز بقدرتها على الطيران لمسافات أطول وسرعات أعلى مقارنة بالطائرات متعددة المراوح. تعتبر الطائرات ذات الجناح الثابت الخيار المثالي للمساحات الواسعة، حيث يمكنها إجراء عمليات المسح الجوي والتصوير الطيفي بكفاءة عالية. تتميز هذه الطائرات بكفاءة عالية في استهلاك الطاقة، مما يجعلها مثالية للرحلات الطويلة التي تتطلب تغطية مساحة كبيرة من الأراضي الزراعية (Hunt *et al*., 2017). ومع ذلك، تتطلب الطائرات ذات الجناح الثابت مساحات أكبر للإقلاع والهبوط، وهو ما قد يشكل تحدياً في بعض المناطق الزراعية المحدودة الفضاء.

- **الطائرات الهجينة (Hybrid Drones)**

تجمع الطائرات الهجينة بين ميزات الطائرات متعددة المراوح والطائرات ذات الجناح الثابت. فهي قادرة على الإقلاع والهبوط عمودياً مثل الطائرات متعددة المراوح، وفي الوقت نفسه يمكنها الطيران لمسافات طويلة مثل الطائرات ذات الجناح الثابت. هذا المزيج من الخصائص يجعل الطائرات الهجينة مناسبة للاستخدام في البيئات الزراعية المتنوعة التي تتطلب أداءً متعدد الأغراض، مثل المزارع الكبيرة أو الأراضي التي يصعب الوصول إليها (Barrientos *et al*., 2011). بفضل هذا التصميم المتطور، يمكن للطائرات الهجينة تحقيق توازن مثالي بين المرونة في الإقلاع والهبوط من جهة، والكفاءة في الطيران لمسافات طويلة من جهة أخرى.

اختيار النوع المناسب

إن اختيار نوع الطائرة المناسبة يعتمد بشكل أساسي على مجموعة من العوامل التي تشمل حجم المزرعة، نوع المحصول المزروع، الهدف من استخدام الطائرة (سواء كان لرصد الصحة الزراعية، الرش، أو المسح الجوي)، بالإضافة إلى التحديات

البيئية والميزانية المتاحة. وفي النهاية، يجب أن يكون القرار مدعوماً بالتقييم الدقيق لأداء الطائرة في مختلف المهام التي يتطلبها الإنتاج الزراعي.

3. مهام الطائرات بدون طيار: المراقبة، الرش، التحليل الطيفي

تعتبر الطائرات بدون طيار واحدة من الأدوات الثورية التي تساهم في تحسين العديد من جوانب الزراعة الحديثة، مما يتيح للمزارعين الحصول على بيانات دقيقة ومحدثة بشكل مستمر. مهام الطائرات بدون طيار في الزراعة متنوعة وتعتمد على تقنيات متقدمة تسمح بتنفيذ هذه المهام بكفاءة ودقة فائقة. وفيما يلي أهم المهام التي يمكن للطائرات أداءها في الزراعة:

- **المراقبة والتصوير**

تتمتع الطائرات بدون طيار بقدرة هائلة على التقاط صور جوية عالية الدقة باستخدام كاميرات متطورة، التي يمكن أن تكون إما صوراً عادية أو طيفية. تعد هذه الصور أداة قوية للمزارعين، حيث تساهم في تقييم نمو المحاصيل، واكتشاف مناطق الإجهاد النباتي، ومراقبة الآفات والأمراض. على سبيل المثال، يمكن للطائرات استخدام كاميرات متعددة الأطياف لقياس مؤشر فرق الخضرة(NDVI) ، الذي يعد مقياساً شائعاً لصحة النباتات، مما يساعد في رصد تفاوت جودة المحاصيل داخل الحقل الواحد (Zhang & Kovacs, 2012). من خلال هذه البيانات، يمكن تحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخل فوري، مما يسهم في الحفاظ على الإنتاجية وتقليل الفاقد.

- **الرش الذكي**

تعتبر الطائرات بدون طيار المزودة بأنظمة رش مبيدات وأسمدة موجهة واحدة من أبرز الابتكارات في مجال الزراعة الدقيقة. تستخدم هذه الطائرات تقنيات متطورة للتطبيق الدقيق للمبيدات والمغذيات، ما يسهم في تقليل استهلاك المواد الكيميائية، وبالتالي تقليل التأثيرات السلبية على البيئة وصحة الإنسان. من خلال تحديد المناطق

التي تحتاج إلى رش فقط، تساعد الطائرات في تقليل الهدر وضمان استخدام الموارد بكفاءة عالية (Sørensen *et al*., 2020). يمكن لهذه الأنظمة أيضاً أن تراقب كثافة المحصول والنباتات، مما يسمح بتعديل الكميات المطلوبة من المواد الكيميائية أو المغذيات وفقاً للاحتياجات الفعلية للنباتات.

- **التحليل الطيفي**

يعتبر التحليل الطيفي أحد المهام الحيوية للطائرات بدون طيار في الزراعة. تعتمد الطائرات على أجهزة استشعار طيفية متعددة لالتقاط بيانات شاملة حول خواص المحاصيل والتربة. تساعد هذه البيانات في تحليل الأوضاع الصحية للنباتات بشكل مبكر، مما يتيح للمزارعين تحديد مشاكل الرطوبة أو نقص العناصر الغذائية في وقت مبكر، وبالتالي اتخاذ إجراءات علاجية بسرعة قبل أن تتفاقم المشكلات (Aasen *et al*., 2018). هذا النوع من التحليل يمكن أن يوفر أيضاً معلومات دقيقة حول مستويات الإنتاج المتوقعة، مما يساعد المزارعين على التنبؤ بحصادهم بشكل أدق.

في الختام، تساهم الطائرات بدون طيار بشكل كبير في تعزيز الإنتاجية الزراعية، مما يسمح للمزارعين باتخاذ قرارات مدروسة بناءً على بيانات دقيقة. كما تفتح هذه التقنيات أفقاً جديداً نحو الزراعة المستدامة التي تعتمد على تقليل استخدام الموارد بشكل فعال وتحقيق أقصى استفادة من الأرض الزراعية.

4. تقنيات الرؤية الحاسوبية واستخدامها في تحليل صحة المحاصيل

تعد تقنيات الرؤية الحاسوبية واحدة من أبرز الأدوات التي تمكّن الطائرات بدون طيار من تحليل البيانات الزراعية بشكل متقدم ودقيق. من خلال دمج الرؤية الحاسوبية مع خوارزميات معالجة الصور وتقنيات تعلم الآلة، تصبح النظم الحاسوبية قادرة على "فهم" الصور والفيديوهات التي تلتقطها الطائرات، مما يمكنها من استخراج معلومات مفصلة حول حالة المحاصيل والصحة العامة للأراضي الزراعية. هذه التقنيات تُعد

أساسية لتحقيق الزراعة الدقيقة، التي تعتمد على بيانات حية ومباشرة تُسهم في اتخاذ قرارات استراتيجية ومبكرة.

- **تصنيف المحاصيل والتعرف على مراحل نموها**

يتيح استخدام الرؤية الحاسوبية تصنيف النباتات بشكل دقيق، حيث يمكن للنظام التعرف على أنواع النباتات المختلفة داخل الحقل وتصنيفها وفقاً لخصائصها المميزة. لا يقتصر الأمر على تصنيف المحاصيل فحسب، بل يشمل أيضاً القدرة على تحديد مراحل النمو المختلفة للمحصول. يمكن للنظام، على سبيل المثال، أن يميز بين مراحل النمو الأولية للنباتات مثل الإنبات والنمو الخضري، وصولاً إلى مرحلة الإزهار أو النضج. من خلال تحليل هذه المعلومات، يمكن للمزارعين ضبط جدول الرعاية والري حسب احتياجات المحصول في كل مرحلة (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

- **الكشف المبكر عن الأمراض والآفات**

إحدى أهم فوائد الرؤية الحاسوبية في الزراعة هي القدرة على الكشف المبكر عن الأمراض والآفات التي قد تصيب المحاصيل. تستخدم تقنيات معالجة الصور المتقدمة لملاحظة التغيرات الدقيقة في لون أو شكل الأوراق أو الأنسجة النباتية، وهو ما يمكن أن يشير إلى وجود أمراض فطرية أو إصابات آفات. على سبيل المثال، قد يؤدي تغير لون الأوراق إلى وجود نقص في العناصر الغذائية أو تأثير مرضي، مما يستدعي تدخلاً فورياً. هذه القدرة على التدخل المبكر تساعد في الحد من الأضرار المحتملة وتجنب انتشار المرض أو الآفة إلى مناطق أكبر من الحقل (Singh *et al*., 2020).

- **تقدير مؤشرات صحة النبات**

تساهم تقنيات الرؤية الحاسوبية بشكل كبير في تقييم صحة النباتات عبر تحليل الصور الطيفية والمرئية. من خلال قياس مؤشرات حيوية مثل مستوى الكلوروفيل، ومعدل الرطوبة، والكثافة النباتية، يتمكن النظام من تحديد صحة النباتات بدقة عالية.

على سبيل المثال، يُعتبر مستوى الكلوروفيل مؤشراً رئيسياً لفعالية عملية التمثيل الضوئي، وهو ما يرتبط ارتباطاً وثيقاً بصحة النباتات وقوة نموها. كذلك، يمكن تحديد مناطق نقص المياه أو العناصر الغذائية التي قد تؤثر على نمو النبات. مثل هذه التحليلات تتيح للمزارعين تحديد مناطق الحقل التي تحتاج إلى اهتمام خاص، مما يساعد في تحسين استراتيجيات الري، التسميد، والمكافحة (Patel *et al.*, 2021).

- **استخدام التحليلات في تصميم خرائط صحة النباتات**

بفضل تقنيات الرؤية الحاسوبية، يمكن إنشاء خرائط دقيقة لصحة النباتات داخل الحقل. تُجمع هذه البيانات من الطائرات بدون طيار وتُحلل باستخدام خوارزميات متقدمة، بحيث يتم تجميع معلومات متعلقة بكل منطقة من الحقل. تساعد هذه الخرائط المزارعين في توجيه الموارد بشكل دقيق إلى المناطق التي تحتاج إلى رعاية إضافية، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك المياه والأسمدة وتقليل التكاليف. في الوقت نفسه، تساهم هذه الخرائط في تحسين الإنتاجية العامة عن طريق ضمان أن كل جزء من الحقل يحصل على الكمية المناسبة من الموارد بحسب احتياجاته الفعلية.

في المجمل، تعتبر الرؤية الحاسوبية أداة فعالة لرفع مستوى دقة التحليل الزراعي، مما يتيح للمزارعين اتخاذ قرارات مستنيرة لتحسين إنتاجهم الزراعي وتقليل التكاليف البيئية والاقتصادية.

5. دمج بيانات الطائرات بدون طيار مع نظم المعلومات الجغرافية(GIS)

يعد دمج بيانات الطائرات بدون طيار (الدرونز) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) خطوة محورية نحو تحسين إدارة الموارد الزراعية بشكل فعال. فبفضل هذه التقنية، يمكن تحليل البيانات المكانية المرتبطة بالصور الجوية التي تجمعها الطائرات بدون طيار، مما يوفر للمزارعين رؤى دقيقة وشاملة حول حالة المحاصيل، توزيع المياه،

والمخاطر المحتملة التي قد تواجه الحقل الزراعي. هذا التكامل بين التقنيات المختلفة يعزز من دقة القرارات الزراعية ويُسهم في تحسين الإنتاجية والفعالية.

- **تجميع وتحليل البيانات المكانية**

تتمثل إحدى أبرز ميزات نظم GIS في قدرتها على تجميع وتنسيق البيانات المكانية المختلفة المتوافقة مع الصور التي تلتقطها الطائرات بدون طيار. على سبيل المثال، يمكن ربط خرائط التربة وتوزيع المحاصيل والموارد المائية مع الصور الجوية التي توفرها الطائرات، مما يسمح بإنشاء صورة شاملة للواقع الزراعي. هذه البيانات المكانية تتيح للمزارعين تتبع الحالات المختلفة للأراضي والمحاصيل، مثل توزيع الرطوبة في التربة أو تباين نمو المحاصيل عبر الحقل، ما يساعد على إجراء تحليل شامل لدورة الحياة الزراعية واتخاذ القرارات المناسبة (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- **إنشاء خرائط دقيقة ومتعددة الطبقات**

من خلال دمج صور الطائرات بدون طيار مع نظم GIS، يمكن تحويل هذه الصور إلى خرائط دقيقة ومتعددة الطبقات. هذه الخرائط يمكن أن تعرض معلومات تفصيلية حول صحة المحاصيل وتوزيع الآفات ومستويات الرطوبة في التربة، بل ويمكن أن تظهر أيضاً المؤشرات الحيوية للنباتات مثل الكلوروفيل وكثافة النبات. تُعد هذه الخرائط أداة حيوية تساهم في تحسين عمليات الري والتسميد والمكافحة، حيث يمكن للمزارع استهداف المناطق التي تحتاج إلى رعاية خاصة بناءً على بيانات حية وموثوقة. كما تتيح هذه الخرائط تفاعلاً مباشراً مع البيانات المكانية التي توفرها الطائرات بدون طيار (Mulla, 2013).

- **التخطيط الذكي وإدارة المخاطر**

يمكن من خلال دمج البيانات الطيفية والصور الجوية مع نظم GIS أن تتنبأ بتغيرات مناخية أو حدوث آفات قد تهدد المحاصيل. على سبيل المثال، يمكن للأنظمة الذكية التنبؤ بالمناطق التي ستتعرض للفيضانات أو الجفاف بناءً على التحليل المسبق

للبيانات، وبالتالي تساعد في وضع استراتيجيات لمواجهة هذه التحديات. إضافة إلى ذلك، يمكن مراقبة تطور الآفات بشكل مستمر في الحقول الزراعية، مما يتيح للمزارعين إجراء تدخلات سريعة للحد من الخسائر الناتجة عن هذه الآفات. يشكل هذا النوع من التخطيط الذكي حجر الزاوية لتطوير استراتيجيات استدامة فعالة للمزارع، مما يضمن عدم تدهور الإنتاجية مع مرور الوقت (Basso *et al.*, 2018).

- **تعزيز الاستجابة السريعة والتكيف مع التغيرات**

إن دمج بيانات الطائرات بدون طيار مع نظم GIS يعزز من قدرة المزارعين على الاستجابة السريعة لتغيرات الحقل. سواء كان ذلك بسبب تغيرات المناخ أو ظهور الأمراض والآفات، فإن القدرة على مراقبة الحقل باستمرار باستخدام البيانات الدقيقة من الطائرات ونظم GIS يتيح للمزارعين التكيف بسرعة مع الظروف المتغيرة. هذه الاستجابة السريعة تساهم بشكل كبير في تحسين جودة المحاصيل وزيادة الإنتاجية، بالإضافة إلى تحسين الاستدامة البيئية من خلال الاستخدام الأمثل للموارد الزراعية.

في المجمل، فإن تكامل الطائرات بدون طيار مع نظم GIS يمثل نقلة نوعية في الزراعة الذكية، ويعزز من قدرة المزارعين على إدارة مواردهم بشكل أكثر فعالية، مع توفير حلول ذكية للمخاطر والتحديات التي قد يواجهونها في الحقول.

6. التحديات التنظيمية والتقنية لاستخدام الطائرات بدون طيار

على الرغم من الفوائد الكبيرة التي تقدمها الطائرات بدون طيار في الزراعة، إلا أن استخدامها في هذا المجال لا يخلو من التحديات. يمكن تقسيم هذه التحديات إلى فئتين رئيسيتين: التحديات التنظيمية والتحديات التقنية، ولكل منها تأثير كبير على قدرة المزارعين والشركات الزراعية على تبني هذه التقنية بشكل فعّال.

- **التحديات التنظيمية**

إحدى أبرز العوائق التي تواجه استخدام الطائرات بدون طيار في الزراعة هي القوانين والتشريعات المتعلقة بالطيران في المجال الجوي. تختلف هذه اللوائح من بلد لآخر، حيث تضع العديد من الدول قيوداً على الطيران فوق المناطق السكنية أو على ارتفاعات معينة. بالإضافة إلى ذلك، تفرض بعض الدول حدوداً زمنية للطيران، مثل تحديد أوقات معينة يمكن خلالها تشغيل الطائرات، أو فرض متطلبات خاصة على تراخيص الطيارين الذين يديرون الطائرات. هذه القيود قد تقيّد مرونة استخدام الطائرات في الحقول الزراعية وتحد من إمكانية تنفيذ بعض المهام على نطاق واسع (Colomina & Molina, 2014).

من جهة أخرى، تتطلب بعض المناطق التي يشملها نشاط الطائرات بدون طيار موافقة أو تنسيق مع السلطات المحلية أو الهيئات التنظيمية، ما يؤدي إلى تعقيد الإجراءات وزيادة التكاليف. غياب قوانين موحدة وواضحة حول هذه المسائل في العديد من الدول قد يعوق تبني هذه التقنية في الزراعة بشكل أوسع، مما يحد من الفوائد المحتملة في هذا المجال.

- **التحديات التقنية**

من الناحية التقنية، يعد قصر فترة تشغيل البطاريات أحد التحديات الرئيسية التي تواجه الطائرات بدون طيار في الزراعة. على الرغم من التحسن المستمر في تقنيات البطاريات، إلا أن الوقت المحدود للطيران لا يزال يشكل قيداً كبيراً، خاصة في المزارع الكبيرة التي تحتاج إلى تغطية واسعة. هذا يحد من قدرة الطائرات على تنفيذ مهام طويلة المدة مثل المسح الجوي أو المراقبة المستمرة للمحاصيل (Torres-Sánchez *et al*., 2017).

أما التحدي الآخر فيتعلق بمحدودية الحمولة التي يمكن للطائرات حملها، مما يؤثر على نوعية الأجهزة التي يمكن تركيبها عليها. بينما يمكن للطائرات تجهيز كاميرات تصوير أو أجهزة استشعار لتحليل صحة المحاصيل، إلا أن سعة الحمولة المحدودة

قد تمنع تركيب أجهزة متطورة أو متعددة، وبالتالي تقليص قدرة الطائرة على جمع بيانات شاملة.

علاوة على ذلك، تتطلب معالجة البيانات المجمعة من الطائرات بدون طيار موارد حاسوبية متقدمة وكفاءة في الخوارزميات لتحليل الصور والبيانات الطيفية. هذا يتطلب تقنيات عالية التكلفة، مما يمثل تحدياً إضافياً للمزارعين أو المؤسسات الصغيرة التي قد لا تملك الإمكانيات المالية لتوفير هذه الأدوات.

- **الحماية من التداخل والاختراق**

مع تزايد الاعتماد على الاتصالات اللاسلكية لعمل الطائرات بدون طيار، تظهر مشكلة التداخل مع إشارات التحكم، بالإضافة إلى خطر الهجمات السيبرانية. قد تؤدي هذه الهجمات إلى تدمير البيانات التي تجمعها الطائرات أو حتى فقدان السيطرة على الطائرة نفسها. تعد الحماية السيبرانية أحد التحديات الكبرى في هذا المجال، خاصة مع زيادة عدد الطائرات في السماء وتوسع نطاق استخدامها في الزراعة. يجب أن يتم اتخاذ تدابير أمنية متقدمة لضمان سلامة البيانات وحمايتها من التلاعب أو التسريب (Rauf *et al*., 2020).

- **الحاجة إلى حلول متكاملة**

من أجل التغلب على هذه التحديات، يتطلب الأمر جهوداً من الحكومات، المنظمات الدولية، والمجتمع التقني لتطوير أطر قانونية واضحة تحكم استخدام الطائرات بدون طيار. علاوة على ذلك، يتطلب تحسين القدرات التقنية وتطوير تقنيات البطاريات والأجهزة الذكية، بالإضافة إلى ضمان توفير أطر أمنية قوية لحماية البيانات والمعدات من التهديدات السيبرانية.

إذا تم تجاوز هذه التحديات، فإن الطائرات بدون طيار ستستمر في تقديم فوائد كبيرة في الزراعة الذكية، بما في ذلك تحسين الكفاءة الإنتاجية، تقليل التكاليف، وتعزيز الاستدامة البيئية في القطاع الزراعي.

7. أمثلة وتطبيقات عملية في مزارع حقيقية

شهدت السنوات الأخيرة تطبيقات متعددة للطائرات بدون طيار والرؤية الحاسوبية في العديد من المزارع حول العالم، حيث أثبتت هذه التقنيات قدرتها على تحسين الإنتاجية الزراعية وتقليل التكاليف. وفيما يلي بعض الأمثلة العملية التي توضح كيفية استفادة المزارعين من هذه التقنيات لتحقيق نتائج مبهرة:

- **مزرعة في الولايات المتحدة ـ إدارة المياه بدقة**

في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، اعتمدت إحدى المزارع على طائرات بدون طيار مجهزة بحساسات تصوير طيفي لرصد توزيع الرطوبة في الأراضي الزراعية. تمكّنت الطائرات من تحديد المناطق التي تحتاج إلى المزيد من الري وتلك التي تحتوي على مستويات كافية من الرطوبة، مما ساعد في تحسين تخطيط الري بشكل دقيق. هذا الاستخدام الذكي لتكنولوجيا الطائرات دون طيار أدى إلى تقليل استهلاك المياه بنسبة 20%، في وقت تحققت فيه زيادة ملحوظة في إنتاجية المحاصيل. تُظهر هذه التجربة كيف يمكن لتقنيات الرصد الطيفي أن تساهم في الإدارة الفعّالة للموارد الطبيعية مثل المياه، مما يعزز من استدامة الزراعة (Zhang *et al*., 2019).

- **مزارع الأرز في الصين ـ الكشف المبكر عن الأمراض**

في مقاطعة جيانغسو الصينية، اعتمدت مزارع الأرز على الطائرات بدون طيار لتحليل صحة النباتات والكشف المبكر عن الأمراض. باستخدام حساسات طيفية متقدمة، تمكنت الطائرات من رصد التغيرات الدقيقة في الأوراق والتي قد تشير إلى وجود مرض البياض الدقيقي. كانت هذه الطائرات قادرة على اكتشاف المرض في مراحله الأولى، مما مكّن المزارعين من التدخل المبكر باستخدام المبيدات اللازمة قبل أن يتفاقم الضرر. هذا التدخل السريع أسهم في تقليل الخسائر الناجمة عن المرض وتحسين صحة المحصول بشكل عام (Li *et al*., 2021).

- **مزارع القمح في أستراليا - الرش الذكي**

في مزارع القمح في أستراليا، تم توظيف طائرات بدون طيار مزودة بأنظمة رش مبيدات موجهة بدقة. بدلاً من رش المبيدات بشكل عشوائي على كامل المساحات، تمكنت هذه الطائرات من تطبيق المبيدات بدقة عالية على المناطق التي تحتاج إليها فقط. أسهم هذا في تقليل استهلاك المبيدات بنسبة 30%، مما يقلل التكاليف ويقلل من التأثير البيئي السلبي. علاوة على ذلك، تم تحسين جودة الحبوب بشكل ملحوظ نتيجة لهذا الاستخدام الفعّال للمبيدات. هذه التقنية تعد مثالاً حياً على كيفية تحسين جودة المحصول وتقليل الأضرار البيئية من خلال الزراعة الدقيقة (Sørensen *et al*., 2020).

توضح هذه الأمثلة كيف يمكن لتقنيات الطائرات بدون طيار والرؤية الحاسوبية أن تساهم بشكل كبير في تحسين الإنتاجية الزراعية وتقليل الهدر وتحقيق استدامة أفضل في إدارة الموارد. من خلال الاستفادة من هذه التقنيات المتقدمة، يمكن للمزارعين اتخاذ قرارات أكثر دقة تستند إلى بيانات حية وواقعية، ما يعزز من قدرتهم على التكيف مع التحديات البيئية وتحقيق أعلى مستويات الكفاءة في عملياتهم الزراعية.

8. الخاتمة

في ظل التحديات المتزايدة التي يواجهها القطاع الزراعي، مثل تغير المناخ ونقص الموارد المائية والضغط المتزايد على الأمن الغذائي العالمي، أصبحت تقنيات الطائرات بدون طيار والرؤية الحاسوبية أدوات أساسية تسهم بشكل فعال في تعزيز كفاءة وفعالية العمليات الزراعية. إن دمج هذه التقنيات مع نظم المعلومات الجغرافية يوفر للمزارعين القدرة على رصد ومراقبة الأراضي والمحاصيل بدقة وموثوقية عالية. هذا التحسين في الرصد يمكن أن يعزز اتخاذ القرارات المستندة إلى بيانات دقيقة ويقلل من الهدر في الموارد الطبيعية، مما يساهم في رفع إنتاجية المحاصيل وتحقيق استدامة بيئية واقتصادية.

ومع ذلك، تظل هناك بعض التحديات التي يجب التغلب عليها لضمان الاستخدام الأمثل لهذه التقنيات في الزراعة. تشمل هذه التحديات القيود التنظيمية المتعلقة بالقوانين واللوائح المحلية والدولية، التحديات التقنية المرتبطة بالأجهزة والأنظمة المستخدمة، فضلاً عن القضايا الأمنية التي تتعلق بحماية البيانات ومنع التداخل أو الهجمات السيبرانية. لذا، فإن هناك حاجة ملحة لتطوير أطر قانونية واضحة ومتكاملة، وتحسين قدرات الأنظمة التقنية، وتعزيز الأمن السيبراني لضمان الاستخدام الآمن والمستدام للطائرات بدون طيار والرؤية الحاسوبية في الزراعة.

على الرغم من هذه التحديات، فإن التجارب العملية التي تم تنفيذها في مزارع مختلفة حول العالم قد أثبتت جدوى هذه التقنيات في تحسين جودة المحاصيل، زيادة الإنتاجية، وتقليل التكاليف. هذه الأمثلة العالمية توفر نموذجاً عملياً يمكن أن يُحتذى به في مختلف الدول والمناطق الزراعية.

في الختام، يتطلب الاستفادة المثلى من الطائرات بدون طيار والرؤية الحاسوبية في الزراعة تكامل الجهود بين المزارعين والباحثين وصناع القرار والمطورين التقنيين. من خلال التعاون المشترك، يمكن ضمان تحول زراعي ذكي ومستدام قادر على مواجهة التحديات المستقبلية وتحقيق الأمن الغذائي في عالم يشهد تغيرات متسارعة.

9. المراجع

الجندي، عبد الرحمن. 2024. رؤية الحاسوبية في الزراعة: تحويل الكشف عن الفاكهة والزراعة الدقيقة. https://www.ultralytics.com

Basso, B., Cammarano, D., & Carfagna, E. (2018). Spatial analysis and management of crop productivity using UAV-based data integrated with GIS. *Precision Agriculture*, 19(2), 287-306. https://doi.org/10.1007/s11119-017-9527-x

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. https://doi.org/10.1126/science.1183899

Li, W., Zhang, Q., & Wang, J. (2021). Early detection of rice diseases using UAV multispectral imagery and deep learning. *Remote Sensing*, 13(5), 899. https://doi.org/10.3390/rs13050899

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009

Rauf, A., Mian, S., & Al-Turjman, F. (2020). Cybersecurity challenges in UAV-enabled precision agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105707. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105707

Sørensen, C. G., Fountas, S., & Pedersen, S. M. (2020). Precision spraying in cereal crops with UAVs: Opportunities and challenges. *Agricultural Systems*, 183, 102885. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102885

Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., & De Castro, A. I. (2017). Evaluation of UAV-based vegetation indices for crop monitoring under different conditions. *Remote Sensing*, 9(10), 1032. https://doi.org/10.3390/rs9101032

Zhang, C., Kovacs, J. M., & He, Y. (2019). UAV remote sensing for precision agriculture: A comparison of mapping and irrigation management approaches. *Remote Sensing*, 11(4), 433. https://doi.org/10.3390/rs11040433

المحور السابع: الاقتصاد الريفي والاستثمار الزراعي الذكي

الفصل 36 - الزراعة الذكية: خيار استراتيجي للتنمية الريفية

المحتويات

1. المقدمة
2. دور الزراعة الذكية في التنمية الريفية
3. الزراعة الذكية وفرص تحسين دخل الأسر الريفية
4. الزراعة الذكية وتحسين فرص العمل في المناطق الريفية
5. الدعم الحكومي والمؤسساتي للتنمية الريفية الذكية
6. دراسات حالة لمشاريع تنمية ريفية قائمة على الزراعة الذكية
7. التحديات في دمج الزراعة الذكية مع المجتمعات الريفية التقليدية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

تُعد التنمية الريفية أحد العوامل الأساسية لتحقيق النمو الاقتصادي المستدام والشامل في العديد من الدول، خاصة تلك التي تعتمد بشكل كبير على الزراعة كمصدر رئيسي للدخل وفرص العمل. تسهم المناطق الريفية في تعزيز الأمن الغذائي، وتوفير المواد الخام للقطاع الصناعي، وتدعيم المجتمعات المحلية عبر توفير فرص عمل للعائلات الريفية. ولكن في الوقت نفسه، تواجه هذه المناطق العديد من التحديات الكبرى التي تهدد استدامتها. من أبرز هذه التحديات ضعف البنية التحتية، نقص الموارد المائية، قلة الوصول إلى التقنيات الحديثة، بالإضافة إلى ارتفاع معدلات الفقر والهجرة المكثفة من الريف إلى المدن بحثاً عن فرص عمل أفضل. هذه التحديات جعلت التنمية الريفية تتطلب حلولاً مبتكرة وجديدة يمكنها تحسين الظروف المعيشية وتحقيق استدامة اقتصادية.

في هذا السياق، برزت الزراعة الذكية كنهج ثوري يمكن أن يسهم بشكل كبير في تغيير واقع التنمية الريفية. الزراعة الذكية لا تقتصر فقط على تحسين الإنتاجية الزراعية، بل

تشمل أيضاً دمج التقنيات الحديثة مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والطائرات بدون طيار، مع الممارسات الزراعية التقليدية. هذه التقنيات توفر للمزارعين في المناطق الريفية الأدوات اللازمة لمراقبة المحاصيل وإدارة الموارد بشكل أكثر كفاءة وتحليل البيانات الزراعية بشكل سريع ودقيق (FAO, 2020). وبفضل هذا الدمج بين الابتكار والتقاليد، يمكن تحقيق إنتاج زراعي مستدام وتقليل الفاقد من المحاصيل وتحسين استهلاك الموارد مثل المياه والأسمدة، مما يسهم في تعزيز قدرة المجتمعات الريفية على التكيف مع التغيرات البيئية والاقتصادية.

الزراعة الذكية.. الطريق لحماية العالم من الجوع وتغير المناخ (العين الأخبارية، 2024).

إن الزراعة الذكية تفتح آفاقاً جديدة لتحسين صمود المجتمعات الريفية أمام التحديات المعاصرة، حيث تسهم في رفع مستوى المعيشة، وتحسين ظروف العمل الزراعي، وخلق فرص عمل جديدة، مما يؤدي إلى تقليل الهجرة الريفية وتثبيت السكان في أراضيهم. من خلال تحسين الإنتاجية وتحقيق استدامة أكبر في استخدام الموارد، تتيح

الزراعة الذكية للمزارعين القدرة على مواجهة الضغوطات البيئية والاقتصادية بشكل أفضل، وبالتالي تساهم في تحسين جودة الحياة في المناطق الريفية بشكل عام.

من خلال هذا الفصل، سنستعرض دور الزراعة الذكية في تعزيز التنمية الريفية، وكيف يمكن أن تساهم في تحسين دخل الأسر الريفية، وتوفير فرص العمل، بالإضافة إلى دعم الحكومات والمؤسسات في هذا المجال. كما سنتناول بعض دراسات الحالة لمشاريع تنمية ريفية قائمة على الزراعة الذكية، مع التركيز على التحديات التي قد تواجه عملية دمج هذه التقنيات في المجتمعات الريفية التقليدية.

2. دور الزراعة الذكية في التنمية الريفية

تتمثل أهمية الزراعة الذكية في قدرتها على مواجهة العديد من التحديات التي تعيق تقدم التنمية الريفية التقليدية. فالمناطق الريفية غالباً ما تعاني من ضعف البنية التحتية، نقص الموارد، وتحديات بيئية تؤثر سلباً على الإنتاج الزراعي. هنا تبرز الزراعة الذكية كأداة مبتكرة لتحسين فعالية العمليات الزراعية وتعزيز استدامتها في تلك المناطق. من خلال استخدام تقنيات متقدمة لجمع وتحليل البيانات، توفر الزراعة الذكية للمزارعين الأدوات اللازمة لتحسين كفاءة العمل الزراعي واتخاذ قرارات مستنيرة مبنية على معلومات حقيقية وواقعية.

- **جمع وتحليل البيانات الزراعية**

تعد القدرة على جمع البيانات وتحليلها بشكل دقيق من أبرز مميزات الزراعة الذكية. على سبيل المثال، تستخدم أنظمة الاستشعار عن بُعد والتكنولوجيا المتقدمة لمراقبة حالة التربة، رطوبتها، وتركيب البيئة المحيطة بالمزرعة بشكل مستمر. توفر هذه المعلومات الدقيقة للمزارعين القدرة على تحسين تخطيط عمليات الري والتسميد، مما يساهم في الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة ويقلل من إهدار المياه والأسمدة. من خلال هذه الأنظمة، يمكن تحقيق أقصى استفادة من الأرض الزراعية، مع تقليل تكاليف المدخلات الزراعية المكلفة (Wolfert *et al*., 2017).

- **تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل التكاليف**

تعتمد الزراعة التقليدية على مدخلات زراعية مكلفة مثل الأسمدة والمبيدات والوقود، الأمر الذي قد يؤدي إلى زيادة التكاليف التشغيلية للمزارعين في المناطق الريفية. الزراعة الذكية تقدم حلولاً مبتكرة لتقليل هذا الاعتماد من خلال تحسين كفاءة استخدام هذه الموارد. على سبيل المثال، تُستخدم تقنيات مثل الري الذكي المدعوم بأجهزة استشعار للرطوبة، مما يقلل من استهلاك المياه ويحسن توزيع الأسمدة وفقاً للاحتياجات الفعلية للنباتات. هذا يؤدي إلى تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة فرص الاستثمار في تطوير القطاع الزراعي الريفي.

- **التكيف مع تغيرات المناخ**

تواجه المجتمعات الريفية تحديات كبيرة نتيجة لتغير المناخ، مثل الجفاف المتكرر و الفيضانات وتغير أنماط الأمطار. وفي هذا السياق، تلعب الزراعة الذكية دوراً محورياً في التكيف مع هذه التغيرات من خلال تقنيات التنبؤ المناخي الدقيقة. تُمكن هذه التقنيات المزارعين من التنبؤ بالأحداث المناخية المتطرفة واتخاذ التدابير الوقائية مثل تعديل توقيت الري أو تطبيق الممارسات الزراعية المناسبة قبل حدوث الأزمات. من خلال هذه التقنيات، يمكن تحسين مرونة المجتمعات الريفية في مواجهة التغيرات المناخية والتقليل من تأثيراتها السلبية على المحاصيل والمزارع (Rose *et al*., 2021).

- **تعزيز الأمن الغذائي وبناء مرونة المجتمعات الريفية**

علاوة على ذلك، تساهم الزراعة الذكية بشكل مباشر في تحسين الأمن الغذائي في المناطق الريفية. من خلال تحسين إنتاج المحاصيل وجودتها، تسهم هذه التقنيات في تقليل الفاقد الزراعي وزيادة توفر الغذاء المحلي. كما أن تعزيز قدرة المزارعين على التكيف مع التقلبات المناخية يساهم في استدامة الإنتاج الزراعي على المدى الطويل. ونتيجة لذلك، تكون المجتمعات الريفية أكثر قدرة على تحقيق الاكتفاء الذاتي من الغذاء، مما يعزز مرونتها أمام التحديات الاقتصادية والبيئية.

- **إدارة سلاسل القيمة الزراعية**

من خلال تطبيق التكنولوجيا في إدارة سلاسل القيمة الزراعية، تتيح الزراعة الذكية للمزارعين الوصول إلى أسواق محلية ودولية بشكل أسرع وأكثر كفاءة. باستخدام أنظمة تتبع الإنتاج وتخزين البيانات، يمكن للمزارعين ضمان توصيل المنتجات الزراعية في الوقت المناسب وبأفضل جودة. هذه العمليات المدعومة بالتكنولوجيا تساهم في تعزيز الربحية للمزارعين وتوسيع نطاق وصول المنتجات، مما ينعكس إيجاباً على الاقتصاد المحلي في المناطق الريفية ويعزز من القدرة التنافسية للمنتجات الزراعية.

- إجمالاً، تسهم الزراعة الذكية في تعزيز التنمية الريفية من خلال توفير حلول تقنية مبتكرة تساعد في تحسين الإنتاجية الزراعية، تقليل التكاليف، وتحقيق استدامة أكبر في استخدام الموارد. هذه التقنيات لا تقتصر فقط على تحسين الوضع الزراعي، بل تعمل أيضاً على تعزيز مرونة المجتمعات الريفية وتحقيق أمن غذائي مستدام. ومع تزايد التحديات التي تواجه المناطق الريفية، تظل الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً يمكن أن يسهم في تحقيق التنمية الريفية المستدامة والشاملة.

3. الزراعة الذكية وفرص تحسين دخل الأسر الريفية

يُعد تحسين دخل الأسر الريفية من الأهداف الرئيسية التي يسعى إليها قطاع التنمية الزراعية في جميع أنحاء العالم، خاصة في المجتمعات التي تعتمد بشكل أساسي على الزراعة كمصدر دخل رئيسي. وبالنظر إلى التحديات المتعددة التي تواجهها هذه الأسر، من ضعف البنية التحتية إلى تقلبات السوق، تعتبر الزراعة الذكية من الأدوات القوية التي يمكن أن تسهم بشكل كبير في تحسين مستوى دخلها. من خلال زيادة الإنتاجية وجودة المحاصيل، توفر الزراعة الذكية فرصاً جديدة وفعّالة لتسويق المنتجات الزراعية والحصول على عوائد أعلى.

- **زيادة الإنتاجية وجودة المحاصيل**

الزراعة الذكية تعتمد على تقنيات مبتكرة مثل الاستشعار عن بُعد، تحليل البيانات الكبيرة، وتطبيقات الذكاء الاصطناعي، مما يساعد المزارعين على تحسين جودة المحاصيل وزيادة الإنتاجية بشكل ملحوظ. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين استخدام تقنيات التحليل البياني لتحديد أفضل أوقات الحصاد، مما يساهم في ضمان أن المنتجات تكون في ذروتها من حيث الجودة، وهو ما يعزز قدرتهم على الحصول على أسعار أعلى في الأسواق(Kumar *et al*., 2020). باستخدام تقنيات الزراعة الدقيقة، يمكن مراقبة حالة المحاصيل بشكل مستمر، مما يتيح لهم التدخل المبكر عند حدوث مشكلات مثل نقص المغذيات أو الإصابة بالآفات.

- **تحسين التسويق والربحية**

من خلال استخدام منصات رقمية متطورة، يمكن للمزارعين في المناطق الريفية الوصول إلى معلومات السوق بشكل أسرع وأكثر دقة. توفر هذه المنصات بيانات حيوية مثل التنبؤات المناخية، أسعار السوق الحالية، ومعلومات حول طلب المستهلكين. يمكن لهذه البيانات أن تساعد المزارعين في اتخاذ قرارات تسويقية ذكية، مثل اختيار الوقت المثالي لبيع المحاصيل أو تحديد الأسواق التي تقدم أفضل الأسعار. بفضل هذه الأدوات، يمكن للمزارعين التفاوض بشكل أكثر فعالية مع المشترين وزيادة فرصهم في الحصول على عوائد أعلى (Liakos *et al*., 2018). وبالإضافة إلى ذلك، يمكنهم تقليل الخسائر الناتجة عن تلف المنتجات أثناء التخزين أو النقل، وبالتالي تعزيز ربحيتهم.

- **توسيع الأنشطة الاقتصادية المكملة**

الزراعة الذكية لا تقتصر فقط على تحسين الإنتاج الزراعي، بل تفتح أيضاً آفاقاً لتطوير أنشطة اقتصادية مكملة. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين أن يستفيدوا من تحسين الإنتاجية لتطوير صناعات غذائية محلية مثل تصنيع المعلبات أو العصائر، بالإضافة إلى تقديم خدمات ما بعد الحصاد مثل التغليف والتوزيع. هذا

التنوع في الأنشطة يعزز قدرة الأسر الريفية على تنويع مصادر دخلها، مما يقلل من اعتمادها على الزراعة التقليدية فقط ويزيد من الاستقرار الاقتصادي.

كما أن تبني تقنيات الزراعة الذكية يمكن أن يحسن من الوصول إلى الأسواق الإقليمية والدولية، ويعزز من قدرة المنتجات الريفية على المنافسة في الأسواق العالمية. هذا يمكن أن يؤدي إلى زيادة الطلب على المنتجات الزراعية من المناطق الريفية، ما يعزز دخل الأسر الريفية ويحفز التنمية الاقتصادية المحلية.

- **تحسين الوصول إلى التمويل والدعم**

تتيح الزراعة الذكية أيضاً للمزارعين في المناطق الريفية الوصول إلى مصادر تمويل ودعم فني بسهولة أكبر. عبر المنصات الرقمية، يمكن للمزارعين الوصول إلى برامج الدعم الحكومية أو التمويل الميسر لتطوير مشاريعهم الزراعية، مما يخفف من التحديات المالية التي قد يواجهونها. كما توفر هذه المنصات خدمات استشارية عن بعد، مما يسهل على الفلاحين الوصول إلى نصائح وتوجيهات من خبراء في المجال الزراعي، وبالتالي تعزيز قدرتهم على تحسين إنتاجهم وتحقيق دخل أعلى.

من خلال تقنيات الزراعة الذكية، يمكن للأسر الريفية أن تحقق تحسناً ملحوظاً في دخلها من خلال زيادة الإنتاجية وجودة المحاصيل، وتحسين كفاءة التسويق، وتوسيع الأنشطة الاقتصادية المكملة. كما أن استخدام هذه التقنيات يعزز من قدرتهم على التكيف مع المتغيرات المناخية والتقلبات السوقية، ما يسهم في استدامة دخلهم على المدى الطويل. الزراعة الذكية، إذا ما تم تبنيها بشكل واسع، تشكل حلاً قوياً لمشاكل الفقر الريفي وتساهم في تحسين الاستقرار الاقتصادي والاجتماعي في المناطق الريفية.

4. الزراعة الذكية وتحسين فرص العمل في المناطق الريفية

في ظل الثورة الرقمية التي تشهدها الزراعة، أصبحت الزراعة الذكية أكثر من مجرد وسيلة لتحسين الإنتاجية، بل أصبحت أيضاً عاملاً محورياً في توفير فرص عمل جديدة ومتنوعة في المناطق الريفية. على الرغم من أن بعض التقنيات المتقدمة قد تؤدي إلى تقليص الحاجة إلى العمل اليدوي التقليدي، إلا أن هذه التقنيات تخلق في المقابل وظائف جديدة في مجالات تخصصية، مما يساهم في تحفيز الاقتصاد الريفي وتحسين مستوى الدخل للسكان المحليين.

- **ظهور وظائف جديدة ومتخصصة**

مع تزايد استخدام تقنيات مثل الاستشعار عن بُعد، الذكاء الاصطناعي، والطائرات بدون طيار في الزراعة، ظهرت العديد من الوظائف المتخصصة التي لم تكن موجودة في الزراعة التقليدية. على سبيل المثال، يحتاج القطاع الزراعي إلى متخصصين في إدارة البيانات الزراعية، بحيث يتم جمع وتحليل البيانات الناتجة عن تقنيات الزراعة الذكية لتحسين اتخاذ القرارات الزراعية. كذلك، تزداد الحاجة إلى مبرمجي أجهزة الاستشعار المتخصصين في تطوير وتشغيل أنظمة الاستشعار التي تساعد في قياس حالة التربة، الرطوبة، والصحة العامة للمحاصيل (Liakos *et al.*, 2018).

في الوقت نفسه، هناك حاجة كبيرة لموظفين متخصصين في صيانة المعدات الذكية مثل الطائرات بدون طيار، الروبوتات الزراعية، والمعدات المتطورة الأخرى التي تستخدم في الزراعة الذكية. كما تتطلب تحليل المعلومات البيئية التي تجمعها هذه الأنظمة مهارات تقنية متقدمة، ما يزيد من فرص العمل في مجالات تحليل البيانات البيئية والذكاء الاصطناعي.

- **تأثير الزراعة الذكية على فرص العمل في المجتمعات الريفية**

على الرغم من أن بعض التقنيات قد تستبدل الوظائف اليدوية التقليدية، فإن الزراعة الذكية تفتح أيضاً مجالات جديدة لفرص العمل في العديد من المجالات الأخرى.

البرمجيات الزراعية، مثل التطبيقات التي تدير عمليات الزراعة عن بُعد أو التي تقدم حلولاً قائمة على الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات، أصبحت مطلوبة بشكل متزايد في المجتمعات الريفية. وهذا يشمل تطوير وتدريب فرق دعم فني للتعامل مع الأجهزة والبرامج المتطورة التي يستخدمها المزارعون.

- **توفير فرص تدريبية مهنية**

من أجل تمكين الشباب والنساء في المناطق الريفية من الاستفادة من هذه الفرص، أصبحت الحاجة ملحة لتطوير برامج تدريبية مهنية مستهدفة. يمكن لهذه البرامج أن تركز على تعليم المهارات التقنية والعلمية التي يحتاجها سوق العمل الرقمي الزراعي، مثل التدريب على استخدام الأدوات الرقمية والبرامج الخاصة بالزراعة الذكية. كما أن هذه البرامج يمكن أن تلعب دوراً كبيراً في تقليص الفجوة بين الجنسين في مجال العمل الريفي، حيث تعزز من مشاركة النساء في سوق العمل الزراعي الرقمي، مما يسهم في تحسين وضعهن الاقتصادي والاجتماعي (World Bank, 2021).

- **تعزيز الطلب على الخدمات المحلية**

إضافة إلى الوظائف التقنية المتخصصة، تساهم الزراعة الذكية في زيادة الطلب على الخدمات المرتبطة بالزراعة في المناطق الريفية. من هذه الخدمات: النقل، التجارة، والصيانة. تحتاج المعدات الذكية والطائرات بدون طيار إلى صيانة دورية، مما يخلق فرص عمل للأفراد المتخصصين في إصلاح وصيانة هذه الأجهزة. كذلك، مع تحسين الإنتاجية وزيادة المحاصيل، يتزايد الطلب على التجارة والخدمات اللوجستية لنقل المنتجات الزراعية إلى الأسواق المحلية والدولية. يساهم ذلك في تحفيز الأنشطة الاقتصادية في الريف بشكل عام، مما يدعم التنمية المجتمعية ويخلق فرص عمل إضافية.

الزراعة الذكية ليست فقط مجرد أداة لزيادة الإنتاجية الزراعية، بل أيضاً محفز رئيسي لتحسين فرص العمل في المناطق الريفية. من خلال توفير وظائف جديدة في مجالات

متخصصة، وتعزيز الحاجة إلى التدريب المهني، وزيادة الطلب على الخدمات المحلية، تساهم الزراعة الذكية في تحسين الوضع الاقتصادي والاجتماعي للأسر الريفية. يمكن لهذه التقنيات أن تساهم في التحول الرقمي للقطاع الزراعي، مما يعزز من القدرة التنافسية للمنتجات الريفية ويساعد المجتمعات على التكيف مع التحديات المستقبلية في هذا المجال.

5. الدعم الحكومي والمؤسساتي للتنمية الريفية الذكية

يُعتبر الدعم الحكومي والمؤسساتي أحد العوامل الحاسمة في تعزيز تطبيق الزراعة الذكية في المناطق الريفية، حيث يحتاج هذا التحول إلى استثمارات ضخمة في مجالات متعددة مثل البنية التحتية الرقمية، التدريب، والبحوث التطبيقية. إن هذه الاستثمارات قد تكون خارج متناول العديد من الفلاحين، خاصة في المناطق الريفية النائية التي تعاني من نقص في الموارد. لذلك، يصبح دور السياسات الحكومية في دعم الزراعة الذكية أمراً محورياً، من خلال تنفيذ برامج تمويلية، تقديم الحوافز الضريبية، وتطوير المبادرات الوطنية للتطوير الزراعي الرقمي، مما يساعد في جعل هذه التقنيات في متناول المزارعين.

- **برامج التمويل والحوافز الحكومية**

أصبحت بعض الدول تدرك أهمية دمج التكنولوجيا في الزراعة لتحقيق تنمية مستدامة، ولذلك أطلقت حكومات عديدة برامج تهدف إلى دعم الزراعة الذكية عبر تقديم التمويل اللازم والحوافز. على سبيل المثال، أطلقت الهند برنامجاً مبتكراً يسمى "Digital Agriculture Mission"، والذي يهدف إلى نشر التقنيات الرقمية في المناطق الريفية عن طريق توفير الحساسات الذكية، نظم المعلومات الجغرافية، وخدمات الإرشاد الزراعي الرقمي للمزارعين. هذا البرنامج يعكس مدى الاهتمام الحكومي بتسريع التحول الرقمي في الزراعة، وذلك من خلال توفير الدعم المالي

واللوجستي للفلاحين كي يتمكنوا من استخدام تقنيات الزراعة الذكية في إدارة مزارعهم بشكل أكثر كفاءة (Government of India, 2022).

- **التعاون مع المؤسسات البحثية**

تسهم المؤسسات البحثية، بما في ذلك المعاهد الزراعية الوطنية والدولية، بشكل كبير في تعزيز قدرة المجتمعات الريفية على استخدام الزراعة الذكية. هذه المؤسسات لا تقتصر على تطوير تقنيات جديدة فحسب، بل تقدم أيضاً دعماً فنياً من خلال منصات تعليمية رقمية وبرامج تدريبية تهدف إلى رفع مستوى مهارات الفلاحين في استخدام التقنيات الحديثة. تساهم هذه البرامج في تمكين المزارعين من الاستفادة القصوى من الأدوات الرقمية مثل نظم الاستشعار عن بُعد، الذكاء الاصطناعي، والبرمجيات الزراعية التي تساعد في إدارة المحاصيل، التنبؤ بالطقس، وتحليل البيانات.

- **دور المنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص**

لا تقتصر الجهود الحكومية فقط على دعم الزراعة الذكية، بل تتعاون المنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص مع الحكومات لتحسين البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية. تقدم هذه المنظمات برامج شراكة تهدف إلى توفير التكنولوجيا بأسعار معقولة للمزارعين، خاصة في المناطق التي تعاني من قلة الموارد. من خلال هذه الشراكات، يتم تطوير حلول مبتكرة تجعل تقنيات الزراعة الذكية أكثر وصولاً للمزارعين، مما يعزز من فرص دمج هذه التقنيات في المشاريع التنموية الريفية ويزيد من قدرتهم على تحسين إنتاجيتهم ودخلهم.

- **تعزيز الابتكار والتطوير المحلي**

علاوة على الدعم المالي والفني، تساهم الحكومات في تعزيز الابتكار من خلال تمويل المبادرات البحثية التي تهدف إلى تطوير تقنيات ملائمة للسياق المحلي. من خلال هذه المبادرات، يتم تطوير تقنيات زراعية ذكية تتناسب مع الظروف المناخية والاقتصادية للمناطق الريفية، مما يسهل اعتمادها من قبل المزارعين المحليين. كما

أن الابتكار المحلي في الزراعة الذكية يُمَكّن من إنتاج حلول فعّالة وغير مكلفة تلائم حاجات المجتمعات الريفية.

الانتقال إلى الزراعة الذكية يتطلب دعماً حكومياً ومؤسساتياً قوياً لضمان نجاحه في المناطق الريفية. من خلال برامج التمويل والحوافز الضريبية والمبادرات الوطنية، يمكن للحكومات تحفيز الاستخدام الواسع لتقنيات الزراعة الذكية، مما يسهم في تحسين الإنتاجية الزراعية وتقليل التكاليف وتعزيز الاستدامة الاقتصادية للمجتمعات الريفية. في الوقت نفسه، تساهم المؤسسات البحثية والمنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص في دعم هذا التحول من خلال تقديم الدعم الفني والتدريب والشراكات التنموية التي تعزز من قدرة المزارعين على استخدام هذه التقنيات بشكل فعال.

6. دراسات حالة لمشاريع تنمية ريفية قائمة على الزراعة الذكية

تُعد الزراعة الذكية أحد الخيارات الاستراتيجية الفعّالة لتنمية المناطق الريفية، وقد أثبتت العديد من المشاريع نجاح هذه التقنيات في تعزيز الإنتاجية الزراعية وتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المجتمعات الريفية. من خلال دمج التكنولوجيا الحديثة مع المعرفة المحلية، تمكنت العديد من المشاريع من تحسين ممارسات الزراعة التقليدية، وتوفير فرص عمل جديدة، وتحقيق زيادة في دخل الأسر الريفية. فيما يلي بعض الدراسات التي تبرز كيفية تطبيق الزراعة الذكية في التنمية الريفية:

- **مشروع "Hello Tractor" في كينيا**

أطلقت **منظمة "Hello Tractor"** في كينيا مشروعاً مبتكراً يهدف إلى تحسين الإنتاجية الزراعية من خلال توفير خدمات الجرارات الذكية للمزارعين الصغار باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والطائرات بدون طيار. هذا المشروع يعمل على تأجير الجرارات بطريقة رقمية للمزارعين الذين يفتقرون إلى القدرة على شراء الجرارات الخاصة بهم. يعتمد المشروع على تطبيقات الهواتف الذكية لتوفير خدمة

الجرار على الطلب، مما يساعد المزارعين على زيادة الإنتاجية وتقليل تكاليف الزراعة، خاصة في المهام مثل الحرث والري.

إضافة إلى تحسين الإنتاج، ساهم المشروع في خلق وظائف جديدة في مجالات صيانة وتشغيل التكنولوجيا الحديثة، مما يعزز من النمو الاقتصادي المحلي. يُظهر هذا المشروع كيف يمكن لتكنولوجيا الزراعة الذكية أن تساهم في زيادة القدرة الإنتاجية للمزارعين الصغار، وتوفير حلول مبتكرة للتحديات التي يواجهونها، خاصة في ما يتعلق بنقص المعدات الزراعية (Kamau & Njenga, 2020).

- **مشروع "Smart Rice Farming" في فيتنام**

في **فيتنام**، اعتمد مشروع "Smart Rice Farming" على دمج أنظمة الاستشعار عن بُعد مع البيانات المناخية لتحسين ممارسات الري والتسميد في زراعة الأرز. من خلال استخدام تقنيات الاستشعار والطائرات بدون طيار، يتم جمع بيانات دقيقة حول حالة التربة والمناخ، مما يسمح بتحديد أفضل أوقات الري وتوزيع الأسمدة بدقة عالية.

أدى هذا المشروع إلى زيادة إنتاجية الأرز بنسبة تجاوزت 15%، مع خفض استهلاك المياه بنسبة 20%. لقد حقق المشروع نتائج مبهرة في تحسين دخل المزارعين، حيث أتاح لهم الحصول على محاصيل ذات جودة أعلى، وبالتالي بيعها بأسعار أفضل في السوق. كما خلق المشروع فرص عمل إضافية في مجالات مثل الإدارة الرقمية للمزارع، وتدريب العمال على استخدام الأنظمة الذكية في الزراعة (Nguyen *et al*., 2019).

- **تأثير الزراعة الذكية على التنمية الاقتصادية والاجتماعية**

تؤكد هذه الدراسات أن دمج التكنولوجيا الحديثة في الزراعة لا يساهم فقط في تحسين الإنتاجية الزراعية، بل يعزز أيضاً من التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المناطق الريفية. فالمشاريع التي تعتمد على الزراعة الذكية توفر فرص عمل جديدة في مجالات التقنية والصيانة والتدريب، مما يسهم في تقليل الفجوات التنموية بين الحضر

والريف. علاوة على ذلك، توفر هذه المشاريع حلولاً مبتكرة للتحديات البيئية مثل ندرة المياه، من خلال تحسين استخدام الموارد وتقليل الهدر.

كما أن هذه المشاريع تسهم في تحقيق الاستدامة الاقتصادية من خلال تحسين كفاءة الإنتاج، مما يسمح للمزارعين بزيادة دخلهم وتوسيع قدرتهم التنافسية في الأسواق المحلية والدولية. وفي نفس الوقت، تساعد الزراعة الذكية في تقليل الفقر في المناطق الريفية عن طريق توفير أدوات وموارد تكنولوجية تجعل الزراعة أكثر كفاءة وربحية.

تُعد دراسات حالة مثل "Hello Tractor" في كينيا و "Smart Rice Farming" في فيتنام نماذج ناجحة على قدرة الزراعة الذكية في تعزيز التنمية الريفية. هذه المشاريع تثبت أن دمج التكنولوجيا الحديثة مع المعرفة المحلية يمكن أن يعزز من الإنتاجية الزراعية، ويوفر فرص عمل جديدة، ويُحسن من الدخل في المناطق الريفية. كما تساهم هذه التقنيات في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية، مما يجعلها خياراً استراتيجياً قوياً لتطوير المناطق الريفية وتحقيق التنمية الشاملة.

7. التحديات في دمج الزراعة الذكية مع المجتمعات الريفية التقليدية

على الرغم من الفوائد الكبيرة التي تقدمها الزراعة الذكية، فإن عملية دمجها في المجتمعات الريفية التقليدية تواجه العديد من التحديات التي قد تعيق تبني هذه التقنيات بشكل واسع. تشمل هذه التحديات مشكلات البنية التحتية الرقمية والعوائق الثقافية والاجتماعية والموارد المالية المحدودة، وهو ما يتطلب جهوداً منسقة من قبل الحكومات، المؤسسات التعليمية، والقطاع الخاص لتحقيق نجاح مستدام.

- **نقص البنية التحتية الرقمية**

من أبرز التحديات التي تواجه تطبيق الزراعة الذكية في المجتمعات الريفية هو نقص البنية التحتية الرقمية .في العديد من المناطق الريفية، تظل شبكات الإنترنت ضعيفة أو غير متوفرة بشكل كامل، مما يحد من قدرة المزارعين على استخدام

الأدوات الرقمية الحديثة مثل الاستشعار عن بُعد، نظم المعلومات الجغرافية، وبرامج تحليل البيانات الزراعية. كما أن انعدام مصادر الطاقة المستقرة في بعض المناطق الريفية يمثل عائقاً إضافياً أمام تشغيل الأجهزة الحديثة مثل الطائرات بدون طيار أو الأنظمة الذكية التي تعتمد على الطاقة الكهربائية. هذه العوائق تجعل من الصعب تنفيذ تقنيات الزراعة الذكية في العديد من المجتمعات الريفية التي تحتاجها بشدة (Wolfert *et al*., 2017).

- **العوائق الثقافية والاجتماعية**

إلى جانب التحديات التقنية، تواجه الزراعة الذكية عقبات ثقافية واجتماعية في المجتمعات الريفية التقليدية. كثيراً ما يعاني الفلاحون من التردد في تبني التكنولوجيا الحديثة بسبب عدم الثقة في التقنيات الجديدة، أو الافتقار إلى المعرفة التقنية. في العديد من الحالات، قد تكون الزراعة التقليدية متجذرة في ثقافة المزارعين، ويشعرون بارتباط قوي بها، مما يجعل من الصعب عليهم قبول التحولات التكنولوجية الجديدة. علاوة على ذلك، قد يشعر البعض أن هذه التقنيات الحديثة غير متوافقة مع أساليبهم التقليدية التي أثبتت نجاحها على مر السنين.

كما أن المزارعين قد يواجهون الخوف من فقدان السيطرة على عملياتهم الزراعية عند استخدام الأنظمة الذكية التي تعتمد على التحليل الآلي واتخاذ القرارات من قبل الأجهزة دون تدخل بشري مباشر. يتطلب تغيير هذا التصور الوقت والتوعية لتبديد القلق وبناء الثقة في فوائد التكنولوجيا (Rose *et al*., 2021).

- **الموارد المالية المحدودة**

واحدة من أكبر العوائق أمام دمج الزراعة الذكية هي الموارد المالية المحدودة لدى المزارعين في المناطق الريفية. التكنولوجيا الحديثة مثل الطائرات بدون طيار، الأجهزة الذكية، أو أنظمة الاستشعار المتقدمة تتطلب استثمارات مالية ضخمة قد تكون غير قابلة للتحقيق بالنسبة للمزارعين الصغار. بالإضافة إلى ذلك، قد تكون

التكاليف التشغيلية المرتبطة بصيانة هذه المعدات والتحديثات التكنولوجية المستمرة عالية جداً.

هذا العائق المالي يجعل العديد من المزارعين يترددون في الاستثمار في هذه الأدوات الحديثة، حتى وإن كانت تمثل فرصة لتحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف على المدى الطويل. وتزداد هذه المشكلة في الدول النامية حيث غالباً ما يفتقر المزارعون إلى الوصول إلى التمويل الميسر أو القروض المدعومة التي تساعدهم في تغطية تكاليف التكنولوجيا الزراعية (Rose *et al*., 2021).

- **الحاجة إلى جهود منسقة بين القطاع العام والخاص**

لحل هذه التحديات، يجب أن تكون هناك جهود منسقة بين الحكومات، المؤسسات التعليمية، والقطاع الخاص. من الجوانب الأساسية التي يمكن أن تساعد في التغلب على هذه التحديات ما يلي:

- **توفير برامج تدريبية موسعة**: تحتاج المجتمعات الريفية إلى برامج تدريبية مستمرة لتعليم الفلاحين كيفية استخدام التقنيات الحديثة، من أجل بناء الثقة والمهارات التقنية اللازمة. كما يجب أن تكون هذه البرامج مبنية على احتياجات المجتمع المحلي بحيث تقدم حلولاً تتناسب مع الظروف المناخية والاقتصادية لتلك المجتمعات.
- **تيسير الوصول إلى التمويل**: يجب أن تسعى الحكومات والمنظمات الدولية إلى تطوير حلول تمويلية ميسرة للمزارعين الصغار والمجتمعات الريفية، مثل القروض الميسرة أو المنح الحكومية لدعم الاستثمارات في الزراعة الذكية. كذلك، يجب على القطاع الخاص تقديم المنتجات التكنولوجية بأسعار معقولة بحيث تكون في متناول المزارعين.
- **تطوير البنية التحتية الرقمية**: يجب أن يكون هناك استثمار في تحسين البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية. يشمل ذلك تعزيز شبكات الإنترنت، توفير مصادر طاقة مستقرة، وتحسين الوصول إلى الأجهزة الرقمية.

- **إشراك المجتمعات الريفية في تصميم الحلول**: من أجل ضمان نجاح الزراعة الذكية في المناطق الريفية، يجب إشراك المجتمعات المحلية في تصميم وتنفيذ الحلول التكنولوجية. من خلال ذلك، يمكن ضمان أن تكون هذه الحلول مناسبة ثقافياً واقتصادياً، مما يزيد من فرص تبنيها والاستفادة منها.

تواجه عملية دمج الزراعة الذكية في المجتمعات الريفية التقليدية تحديات متعددة تشمل البنية التحتية الرقمية، المواقف الثقافية والاجتماعية، والموارد المالية المحدودة. ومع ذلك، يمكن التغلب على هذه التحديات من خلال التعاون بين الحكومات والمؤسسات التعليمية والقطاع الخاص لتوفير برامج تدريبية وحلول تمويلية ميسرة وتحسين البنية التحتية الرقمية. من خلال إشراك المجتمعات الريفية في تصميم الحلول التكنولوجية، يمكن ضمان استدامة وتبني الزراعة الذكية في المناطق الريفية، مما يساهم في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة.

8. الخاتمة

تُعد الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً حيوياً في إطار التنمية الريفية المستدامة، إذ تقدم إمكانات كبيرة لتحسين الإنتاجية وزيادة الدخل وخلق فرص عمل جديدة في المجتمعات الريفية. هذه التقنيات ليست مجرد حلول مبتكرة لتحسين الإنتاج الزراعي فحسب، بل هي أيضاً وسيلة لتحفيز التحول الاقتصادي والاجتماعي في المناطق الريفية التي غالباً ما تواجه تحديات اقتصادية وبيئية. من خلال دمج التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي، الطائرات بدون طيار، وأنظمة الاستشعار عن بُعد، يمكن تحقيق تحسينات ملحوظة في إدارة الموارد وتوفير حلول فعالة للمشاكل الزراعية التقليدية.

يعد الدعم الحكومي والمؤسساتي عاملاً رئيسياً في تسريع تبني الزراعة الذكية. إذ أن السياسات المحفزة، التمويل الميسر، وبرامج التدريب تعد أدوات أساسية لضمان وصول المزارعين إلى هذه التقنيات الحديثة. كذلك، تلعب الشراكات الفاعلة بين القطاعين العام والخاص والمجتمع المدني دوراً مهماً في تمويل وتوفير البنية التحتية اللازمة لدعم

المشاريع الزراعية الذكية. هذه الشراكات تساهم في تعزيز التعاون وتبادل الخبرات لضمان استدامة هذه التقنيات على المدى الطويل.

تجسد النجاحات العالمية لبعض المشاريع الزراعية الذكية، مثل مشروع Hello Tractor" في كينيا ومشروع "Smart Rice Farming" في فيتنام، إمكانات الزراعة الذكية في تحقيق التنمية الريفية المستدامة. هذه المشاريع لم تساهم فقط في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف، بل كان لها أيضاً دور مهم في خلق فرص عمل جديدة وتعزيز القدرة التنافسية للمزارعين.

لكن، لا يمكن إغفال التحديات التي تعترض دمج الزراعة الذكية في المجتمعات الريفية التقليدية، مثل نقص البنية التحتية الرقمية، التردد الثقافي والاجتماعي تجاه التكنولوجيا الحديثة، والموارد المالية المحدودة للمزارعين. يتطلب تجاوز هذه التحديات جهوداً منسقة بين الحكومات والمؤسسات التعليمية والقطاع الخاص والمجتمع المحلي لضمان تكامل التقنيات الرقمية مع السياقات الريفية الفريدة.

لذلك، يتوقف مستقبل التنمية الريفية الذكية بشكل كبير على قدرة صانعي السياسات والجهات المعنية بالزراعة على خلق بيئة شاملة داعمة تتيح للمزارعين في المناطق الريفية الاستفادة من الثورة الرقمية الزراعية. يجب أن تركز هذه البيئة على تحسين البنية التحتية الرقمية، تقديم برامج تدريبية ملائمة، و تكامل الحلول التكنولوجية بما يتناسب مع الخصائص المحلية لضمان استدامة هذه المبادرات وتحقيق مستقبل مزدهر للمجتمعات الريفية.

الزراعة الذكية ليست مجرد أداة لتحسين الإنتاج الزراعي، بل هي مفتاح أساسي لتحويل المجتمعات الريفية إلى مراكز تنمية اقتصادية مستدامة. من خلال الدعم المستمر والتعاون بين مختلف الأطراف المعنية، يمكن أن تصبح هذه التكنولوجيا محركاً رئيسياً لتحقيق التنمية الريفية الشاملة.

9. المراجع

العين الإخبارية. 2024. الزراعة الذكية.. الطريق لحماية العالم من الجوع وتغير المناخ. https://al-ain.com/article/smart-agriculture-sustainable-development

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Government of India. (2022). *Digital Agriculture Mission*. Ministry of Agriculture & Farmers Welfare. https://agricoop.gov.in

Kamau, S., & Njenga, M. (2020). Leveraging AI and drone technology for smallholder farming in Kenya: The Hello Tractor model. *Journal of Agricultural Innovation*, 15(2), 89-102.

Nguyen, T. H., Le, Q. T., & Pham, V. T. (2019). Smart rice farming: Enhancing productivity through digital technologies in Vietnam. *Agricultural Systems*, 172, 45-53.

Rose, D. C., Sutherland, W. J., & Carter, C. E. (2021). Barriers to adopting digital agriculture in rural areas: Socioeconomic and cultural factors. *Agriculture and Human Values*, 38, 625-639.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

World Bank. (2021). *Digital agriculture: Opportunities and challenges for smallholder farmers*. World Bank Publications.

الفصل 37 - الزراعة الذكية كأداة للنمو الاقتصادي وتوليد الفرص

المحتويات

1. المقدمة
2. الزراعة الذكية كمحرك للنمو الاقتصادي الوطني
3. خلق فرص عمل جديدة من خلال التكنولوجيا الزراعية
4. دعم ريادة الأعمال والابتكار في القطاع الزراعي
5. الشراكات بين القطاعين العام والخاص للاستثمار الزراعي الذكي
6. دور التمويل والاستثمار في تسريع تبني الزراعة الذكية
7. تحديات وحلول لتعزيز الاستثمار في الزراعة الذكية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

شهد القطاع الزراعي في العقود الأخيرة تحولات جذرية نتيجة للتقدم التكنولوجي الذي غير أساليب الإنتاج وأسواق الغذاء حول العالم. كانت هذه التحولات ضرورية لمواكبة التحديات المتزايدة التي يواجهها العالم، بما في ذلك تغير المناخ، نمو السكان، و نقص الموارد الطبيعية. كان التقدم التكنولوجي عاملاً محورياً في تعزيز إنتاجية المحاصيل، تحسين كفاءة استخدام الموارد، و تقليل الفاقد، وهي كلها أهداف أساسية لتحقيق استدامة اقتصادية وبيئية في القطاع الزراعي.

من بين أبرز التطورات التي شهدها القطاع الزراعي في الآونة الأخيرة هي الزراعة الذكية، والتي تجمع بين مجموعة من التقنيات الرقمية المتقدمة مثل الاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة والروبوتات الزراعية، بهدف تحسين الإنتاجية الزراعية، وزيادة كفاءة استخدام الموارد الطبيعية مثل المياه والأسمدة (Wolfert *et al*., 2017). تمتاز الزراعة الذكية بقدرتها على توفير حلول مبتكرة

للتحديات التي يواجهها القطاع الزراعي التقليدي، حيث تتيح هذه التقنيات للمزارعين اتخاذ قرارات مدروسة بناءً على بيانات دقيقة وآنية عن حالة المحاصيل والتربة والظروف البيئية المحيطة.

كيف تعزز تكنولوجيا الزراعة الدقيقة فرص العمل للخريجين (فارمونوت، 2025).

يعتبر التحول إلى الزراعة الذكية من الخطوات الأساسية لتحقيق نمو اقتصادي مستدام، حيث أن الزراعة لم تعد مجرد أداة لإنتاج الغذاء فقط، بل أصبحت جزءاً لا يتجزأ من الاقتصادات الوطنية التي تؤثر بشكل مباشر على مستوى المعيشة و فرص العمل في العديد من الدول. الزراعة الذكية تقدم فرصاً جديدة للمجتمعات الريفية والنامية لتحقيق الاستقلال الاقتصادي، والتصدي للعديد من التحديات المرتبطة بالفقر والبطالة، كما تساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة على مستوى عالمي.

هذا الفصل سيتناول دور الزراعة الذكية كأداة استراتيجية لتوليد الفرص و دعم النمو الاقتصادي، ويستعرض كيف يمكن لهذه التقنيات أن تُسهم في تحقيق نمو اقتصادي مستدام، من خلال تحسين الإنتاجية، خلق فرص العمل، وتعزيز ريادة الأعمال في القطاع الزراعي. كما سنناقش الشراكات بين القطاعين العام والخاص لدعم الاستثمار في الزراعة الذكية، بالإضافة إلى استعراض التحديات الرئيسية التي قد تواجهها هذه العملية والسبل المحتملة للتغلب عليها.

في ظل هذا السياق المتشابك، يتضح أن الزراعة الذكية ليست مجرد أداة تكنولوجية لتحسين الإنتاجية الزراعية، بل محرك أساسي للنمو الاقتصادي، يعزز من قدرة الدول على التكيف مع التغيرات البيئية والاجتماعية، ويخلق فرص عمل جديدة ويسهم في رفع مستوى الرفاه الاقتصادي للمجتمعات الريفية.

2. الزراعة الذكية كمحرك للنمو الاقتصادي الوطني

تلعب الزراعة الذكية دوراً محورياً في تحفيز النمو الاقتصادي، خاصة في الدول التي يعتمد اقتصادها بشكل كبير على القطاع الزراعي. مع تزايد التحديات البيئية والاجتماعية التي يواجهها القطاع الزراعي، مثل تغير المناخ ونمو السكان ونقص الموارد الطبيعية والضغوط الاقتصادية، تصبح الحاجة إلى حلول مبتكرة لتطوير الإنتاج الزراعي أكثر إلحاحاً من أي وقت مضى. الزراعة الذكية تقدم هذه الحلول من خلال تقنيات متقدمة مثل الزراعة الدقيقة وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي، مما يساهم في تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل الهدر، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وزيادة الربحية، وبالتالي تحفيز النمو الاقتصادي في المناطق الريفية والدول ذات الاقتصادات الزراعية (Liakos *et al.*, 2018).

من خلال تطبيق تقنيات مثل الاستشعار عن بُعد وأنظمة إدارة المزارع الذكية، يستطيع المزارعون تحليل البيانات الزراعية بشكل دقيق، مما يتيح لهم اتخاذ قرارات محسّنة بشأن الري والتسميد ومكافحة الآفات واختيار المحاصيل. هذه العمليات تجعل الإنتاج

الزراعي أكثر كفاءة وتقلل من الفاقد والموارد المهدورة مثل المياه والأسمدة، وبالتالي تخفض التكاليف التشغيلية بشكل كبير. كما أن القدرة على تحسين الجودة والإنتاجية تساهم في تعزيز التنافسية على الصعيدين المحلي والدولي، مما يزيد من القيمة المضافة للمنتجات الزراعية (Liakos *et al*., 2018).

علاوة على ذلك، تلعب الزراعة الذكية دوراً مهماً في إدارة الموارد الطبيعية مثل المياه و الأراضي و الأسمدة، وهو ما يعزز الاستدامة البيئية في القطاع الزراعي. عبر تقنيات الري الذكي ونظم التنبؤ بالمناخ، يمكن التكيف مع التغيرات البيئية وتقليل التأثيرات السلبية على الأرض والموارد المائية، مما يدعم النمو المستدام للقطاع. وبذلك، لا تقتصر فوائد الزراعة الذكية على تحسين الإنتاجية فحسب، بل تساعد أيضاً في الحد من التأثيرات البيئية السلبية المرتبطة بالزراعة التقليدية، مثل التلوث الكيميائي وانبعاثات الكربون (Klerkx *et al*., 2019).

في الاقتصادات الريفية، تمثل الزراعة الذكية فرصة كبيرة لتحسين دخل الأسر وتعزيز قدرة الاقتصاد الوطني على تحمل الصدمات الاقتصادية والبيئية. من خلال توفير تقنيات تتيح للمزارعين زيادة دخلهم وتحقيق تحسينات اقتصادية في مزارعهم، يمكن للزراعة الذكية أن تساهم في تحسين رفاهية الأسر الريفية وتعزيز قدرتها على التكيف مع التغيرات المناخية والتقلبات الاقتصادية (Rose & Chilvers, 2018). إضافة إلى ذلك، يمكن أن تساهم هذه التقنيات في تحفيز الاستثمار في القطاع الزراعي، مما يخلق فرصاً استثمارية جديدة ويعزز الدورة الاقتصادية في المناطق الريفية.

أحد الفوائد المهمة للزراعة الذكية هو سهولة الوصول إلى الأسواق. توفر المنصات الرقمية والتطبيقات الذكية للمزارعين القدرة على تسويق منتجاتهم بشكل أسرع وأكثر فاعلية. يمكن للمزارعين التواصل مع الأسواق المحلية والدولية، مما يفتح أبواباً جديدة للفرص التجارية ويزيد من إمكانية زيادة العائدات. من خلال الربط بين المزارعين

والمستهلكين مباشرة، يمكن تقليل الفجوات بين المنتج والمستهلك، وتحسين قيمة المنتجات، وبالتالي تعزيز دورة رأس المال الزراعي.

تعد الزراعة الذكية من العوامل الرئيسية التي تساهم في بناء اقتصاد زراعي قوي. من خلال تعزيز التنافسية، تحسين الإنتاجية، و خفض التكاليف، بالإضافة إلى توفير حلول تكنولوجية مبتكرة لتحديات الموارد، تسهم الزراعة الذكية في خلق فرص اقتصادية جديدة لا تُعد ولا تُحصى.

3. خلق فرص عمل جديدة من خلال التكنولوجيا الزراعية

على الرغم من المخاوف الأولية التي قد تثار بشأن تأثير التكنولوجيا الحديثة على تقليص فرص العمل في القطاع الزراعي، فإن الزراعة الذكية أثبتت أنها تساهم بشكل فعال في خلق فرص عمل جديدة ومتنوعة في مجالات عدة. إذ لا تقتصر هذه الفرص على العمليات الزراعية التقليدية، بل تتنوع لتشمل عدة مجالات مرتبطة بالتكنولوجيا والابتكار في القطاع الزراعي. من أبرز هذه المجالات:

- **تحليل البيانات الزراعية**: مع تطور تقنيات الاستشعار عن بُعد، الذكاء الاصطناعي، و البيانات الضخمة، أصبح هناك طلب متزايد على محللي البيانات الزراعية الذين يتخصصون في جمع وتحليل البيانات المتعلقة بالطقس والتربة والمزروعات. هذا يسمح للمزارعين باتخاذ قرارات أكثر دقة حول كيفية تحسين الإنتاجية وإدارة الموارد. تُعد هذه فرصة للمحترفين الذين يمتلكون مهارات تحليلية متقدمة وفهم تقني عميق (Kamilaris *et al*., 2017).
- **صيانة الأجهزة الذكية**: تشمل هذه الوظائف صيانة الطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار الذكية وأنظمة الري الآلي. فمع اعتماد المزارعين على الأجهزة الذكية في المزارع، تزداد الحاجة إلى فنيين مختصين في صيانة هذه المعدات وتحديثها بشكل دوري. يمكن لخريجي التخصصات التقنية أن يجدوا فرص عمل مستقرة في هذا المجال الذي يشهد نمواً مستمراً.

- **تطوير البرمجيات الزراعية**: مع تزايد الحاجة إلى البرمجيات الذكية لتشغيل الأنظمة الزراعية، هناك فرص كبيرة للمبرمجين والمطورين المتخصصين في إنشاء برمجيات تساهم في تحسين إدارة المزارع، مثل نظم إدارة الري الذكي والتطبيقات الزراعية والتنبؤات المناخية. هذا يفتح المجال أمام الابتكار التكنولوجي الذي يمكن أن يعزز من الإنتاج الزراعي بشكل أكبر.
- **التدريب التقني للمزارعين**: مع التوسع في استخدام التكنولوجيا في الزراعة، تزداد الحاجة إلى التدريب التقني للمزارعين والمجتمعات الريفية. توفر الزراعة الذكية فرصاً للمدربين والمعلمين في مجال التقنيات الزراعية الحديثة، حيث يتعين تدريب الفلاحين على استخدام أدوات جديدة مثل الدرونز والأجهزة الذكية ونظم إدارة البيانات. ذلك يتطلب خبرات متخصصة في التكنولوجيا الزراعية لتزويد المزارعين بالمهارات اللازمة لتبني هذه التقنيات.

ريادة الأعمال الزراعية:

إضافة إلى الوظائف التقنية، يفتح الاعتماد على التكنولوجيا في الزراعة آفاقاً كبيرة ل ريادة الأعمال الزراعية .يمكن للشباب وأصحاب المشاريع الصغيرة تطوير حلول مبتكرة للتحديات الزراعية، مثل إنشاء تطبيقات الهواتف الذكية التي تساعد المزارعين في مراقبة المحاصيل أو تطوير أنظمة الري الذكي. هذه المشاريع الصغيرة يمكن أن تسهم في النمو الاقتصادي في المناطق الريفية، وتخلق فرصاً جديدة للمشاريع الناشئة التي تستفيد من التكنولوجيا لتحسين العمليات الزراعية.

الفرص الموسمية والمستدامة:

توفر الزراعة الذكية أيضاً فرص عمل موسمية ومستدامة في المناطق الريفية .التقنيات المنخفضة التكلفة التي تساهم في تحسين الإنتاج، مثل نظم الري الذكي والاستشعار البيئي، تمكن المزارعين من توسيع عملياتهم بشكل أكثر فعالية و أقل تكلفة، مما يسمح لهم بتوظيف المزيد من العمالة المحلية في عمليات الحصاد والتوزيع والتسويق. هذه

التقنيات لا تقتصر فقط على تحسين الإنتاج، بل تساهم أيضاً في تحسين ظروف العمل في المناطق الريفية.

توسيع سلسلة القيمة الزراعية:

من الجدير بالذكر أن الفرص التي تخلقها الزراعة الذكية لا تقتصر على العمليات الزراعية المباشرة فقط، بل تشمل أيضاً سلسلة القيمة الكاملة للزراعة. تشمل هذه السلسلة الخدمات اللوجستية والتوزيع والتسويق الرقمي، التي يتم تحسينها بشكل كبير من خلال التكنولوجيا الزراعية. فبفضل هذه التقنيات، يستطيع المزارعون الوصول إلى أسواق جديدة، مما يعزز فرص العمل في مجالات التسويق والتجارة الإلكترونية الزراعية (Jakku *et al*., 2019).

إذن، بينما قد يعتقد البعض أن التكنولوجيا الزراعية قد تؤدي إلى تقليص فرص العمل التقليدية، فإن الواقع يُظهر أن الزراعة الذكية تفتح مجالات جديدة ومتنوعة من الفرص الاقتصادية. من التحليل البياني إلى الصيانة التقنية، ومن التدريب إلى ريادة الأعمال، تساهم هذه التقنيات في تطوير الاقتصادات الريفية بشكل مستدام، مما يسهم في بناء اقتصادات محلية قوية ومتنوعة تستفيد من التكنولوجيا لتحسين الإنتاجية وخلق فرص عمل جديدة.

4. دعم ريادة الأعمال والابتكار في القطاع الزراعي

تُعد ريادة الأعمال والابتكار من المحركات الأساسية التي تساهم في تطوير الزراعة الذكية وتعزيز دورها في النمو الاقتصادي. مع تقدم التكنولوجيا الزراعية وتطور الأدوات والأنظمة الرقمية، تفتح هذه التقنيات فرصاً واسعة لرواد الأعمال لإيجاد حلول مبتكرة تُسهم في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف وتسهيل وصول المنتجات إلى الأسواق بشكل أسرع وأكثر كفاءة. تعتبر هذه الابتكارات جزءاً لا يتجزأ من النمو الذي يشهده القطاع الزراعي، خاصة في الأسواق الناشئة التي تعاني من التحديات التقليدية مثل ضعف الإنتاجية وارتفاع التكاليف (Dantas *et al*., 2020).

- **الابتكار الزراعي ورؤية جديدة للقطاع:**

مع ظهور الشركات الناشئة الزراعية التي تعتمد على تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي والطائرات بدون طيار وإنترنت الأشياء، يتم خلق بيئة زراعية أكثر ديناميكية وابتكاراً. هذه الشركات تساهم في تطوير حلول جديدة مثل أنظمة الري الذكي وأنظمة مراقبة المحاصيل والتنبؤات المناخية الدقيقة، التي تساعد المزارعين على تحسين جودة محاصيلهم وتقليل الفاقد. إضافة إلى ذلك، تُمكن هذه الحلول المزارعين من زيادة الكفاءة وتقليل الفاقد وتعزيز استدامة الزراعة عبر استخدام التكنولوجيا لتحسين إدارة الموارد الطبيعية.

- **دعم الحكومات والمؤسسات:**

تدعم العديد من الحكومات والمؤسسات الدولية هذه المبادرات الابتكارية من خلال برامج تمويلية وحاضنات الأعمال ومسابقات الابتكار التي تهدف إلى تحفيز الشباب والمزارعين على تبني حلول الزراعة الذكية. تتنوع هذه البرامج بين تمويل المشاريع الصغيرة والمنح البحثية التي تتيح للمبدعين الزراعيين تنفيذ أفكارهم وتحويلها إلى منتجات أو خدمات قابلة للتطبيق. على سبيل المثال، تقدم بعض الحكومات حوافز ضريبية وإعانات مالية لدعم الشركات الناشئة التي تعتمد على التكنولوجيا لتعزيز الإنتاج الزراعي والمساهمة في تحقيق الأمن الغذائي (Munyua & Barasa, 2018).

- **الشراكات بين القطاعين العام والخاص:**

تلعب الشراكات بين القطاعين العام والخاص دوراً مهماً في توفير البنية التحتية الرقمية اللازمة لتحفيز الابتكار الزراعي. هذه الشراكات تساهم في تطوير الأنظمة التقنية وتحسين الوصول إلى الإنترنت في المناطق الريفية وتوفير التدريب الفني للمزارعين ورواد الأعمال في القطاع الزراعي. في المقابل، تعزز هذه المبادرات من قدرة القطاع الخاص على توظيف التكنولوجيا في تحقيق أهداف

زراعية مستدامة، بما يعود بالنفع على الاقتصاد الزراعي الوطني (Wolfert *et al.*, 2017).

- **التعاون مع الجامعات والمراكز البحثية:**

التعاون بين الجامعات ومراكز البحث العلمي مع القطاع الزراعي يُعتبر من العوامل الحاسمة لتسريع الابتكار الزراعي وتحقيق تحسينات ملموسة في تقنيات الإنتاج الزراعي. تُسهم البحوث التطبيقية في تطوير نماذج رقمية وتكنولوجيات جديدة تساعد المزارعين على تحسين إدارة مواردهم وزيادة إنتاجيتهم. من خلال البحث المستمر في التقنيات الحديثة والابتكار الزراعي، يمكن إيجاد حلول للتحديات الزراعية المعاصرة مثل إدارة المياه وزيادة الإنتاجية وتحقيق الاستدامة البيئية.

إذن، يُعتبر دعم ريادة الأعمال و الابتكار في القطاع الزراعي حجر الزاوية لتحقيق الزراعة الذكية القادرة على تحقيق النمو الاقتصادي المستدام. من خلال الحوافز الحكومية والشراكات بين القطاعين العام والخاص والتعاون مع الجامعات ومراكز البحث، يمكن تحقيق منظومة زراعية ذكية قادرة على تحقيق الأمن الغذائي وتعزيز التنافسية في السوق العالمية.

5. الشراكات بين القطاعين العام والخاص للاستثمار الزراعي الذكي

تلعب الشراكات بين القطاعين العام والخاص دوراً حيوياً في تحفيز الاستثمار في الزراعة الذكية، حيث تساهم هذه الشراكات في خلق بيئة داعمة للنمو والتطوير التكنولوجي داخل القطاع الزراعي. يمثل هذا التعاون محوراً أساسياً للانتقال من التقنيات التقليدية إلى التقنيات الحديثة التي تعزز الإنتاجية وتساعد على تحقيق استدامة بيئية واقتصادية. حيث تقوم الحكومات عادةً بتوفير الإطار القانوني والتنظيمي المناسب، بالإضافة إلى الحوافز المالية والسياسات الداعمة التي تسهل عملية تبني التكنولوجيا، بينما يمتلك القطاع الخاص القدرة على توفير التمويل اللازم والخبرات التقنية وابتكار الحلول التكنولوجية المتقدمة (World Bank, 2019).

- **أشكال الشراكات بين القطاعين العام والخاص**

تتنوع أشكال الشراكات بين القطاعين العام والخاص في المجال الزراعي، حيث يمكن أن تشمل:

- **مشاريع مشتركة لتطوير بنية تحتية رقمية**: على سبيل المثال، تطوير شبكات الإنترنت عالية السرعة في المناطق الريفية، والتي تعد من أساسيات تمكين الزراعة الذكية من خلال دعم الاتصال المستمر بين المزارعين والمصادر المعرفية.
- **برامج تدريبية للمزارعين**: يوفر القطاع العام فرص تدريب للمزارعين الصغار على استخدام التقنيات الحديثة مثل الطائرات بدون طيار والحساسات الزراعية وأنظمة الري الذكي. تسهم هذه البرامج في تحسين قدرة المزارعين على استخدام التكنولوجيا وتعزيز إنتاجهم الزراعي.
- **مبادرات بحث وتطوير مشتركة**: تسهم البحوث المشتركة بين الحكومات والشركات الخاصة في ابتكار حلول محلية تناسب احتياجات الأسواق الزراعية المحلية. فالبحث المتواصل يعزز من القدرة على مواجهة التحديات الزراعية المختلفة ويتيح تطوير تقنيات جديدة لمشاكل مثل ندرة المياه أو تغير المناخ (FAO, 2021).

- **نموذج "Digital Green" في الهند**

أحد أبرز الأمثلة الناجحة في هذا السياق هو مشروع "Digital Green" في الهند. حيث تعاون القطاع الحكومي مع منظمات غير حكومية وشركات تقنية لنشر المعرفة الزراعية عبر الفيديوهات الرقمية. هذا المشروع حسّن إنتاجية المزارعين بشكل كبير من خلال توفير المعلومات الحيوية لهم بشأن أفضل الممارسات الزراعية، مما

أدى إلى زيادة دخل المزارعين .تعتبر هذه المبادرة مثالاً على كيفية استفادة الزراعة الذكية من الشراكات بين الحكومة والقطاع الخاص في تعزيز قدرات المزارعين.

- **تقاسم المخاطر وتعزيز الاستدامة**

من الفوائد الرئيسية لهذه الشراكات هو تقاسم المخاطر المالية والتشغيلية بين الأطراف المختلفة، مما يعزز من استدامة الاستثمار في الزراعة الذكية. بدلاً من أن تتحمل جهة واحدة المخاطر، تقوم الشراكات بتوزيع الأعباء المالية، وهو ما يسهم في تعزيز قدرة القطاع الزراعي على التكيف مع التغيرات الاقتصادية و البيئية. كما أن الشراكات تساعد في تسريع وتيرة الابتكار، إذ يمكن للقطاعين العام والخاص دمج المعارف والخبرات المتنوعة لتحقيق حلول زراعية أكثر كفاءة وملاءمة للسياقات المحلية (Munyua & Barasa, 2018).

إذن، تُعد الشراكات بين القطاعين العام والخاص من الأدوات الأساسية لتسريع التحول إلى الزراعة الذكية، حيث تساهم في تحقيق الابتكار التكنولوجي وتعزيز الاستدامة الاقتصادية للقطاع الزراعي. من خلال توفير البنية التحتية الرقمية والتدريب المهني والتعاون البحثي، يمكن للمشاريع المشتركة أن تساهم في تحسين إنتاجية المزارعين وتقليل التكاليف وتحقيق الأمن الغذائي.

6. دور التمويل والاستثمار في تسريع تبني الزراعة الذكية

التمويل يعد من الركائز الأساسية التي تدعم تبني الزراعة الذكية، حيث أن التقنيات الحديثة في هذا المجال تتطلب استثمارات ضخمة في المعدات والبنية التحتية الرقمية والبرمجيات، بالإضافة إلى تدريب الكوادر البشرية (OECD, 2020). مع ذلك، يواجه المزارعون، خاصة المزارعون الصغار، تحديات كبيرة في الوصول إلى التمويل بسبب القيود الائتمانية المفروضة عليهم وارتفاع المخاطر المرتبطة بالاستثمار في التكنولوجيا الزراعية الحديثة. هذه العقبات قد تحد من قدرتهم على تطبيق تقنيات الزراعة الذكية التي تساهم في زيادة الإنتاجية وتحسين الكفاءة الزراعية.

- **أدوات التمويل المبتكرة**

للتغلب على هذه الصعوبات، ظهرت أدوات تمويل مبتكرة تهدف إلى تلبية احتياجات هذا القطاع الحيوي. من بين هذه الأدوات:

- **التمويل الجماعي (Crowdfunding):** حيث يمكن للمزارعين أو رواد الأعمال الزراعيين الحصول على تمويل من خلال منصات متخصصة، مثل منصة "AgriVest" التي تتيح للمستثمرين دعم المزارعين المهتمين بالزراعة المستدامة. هذه المنصات تفتح مجالاً جديداً لتمويل المشاريع الزراعية التي قد لا تتمكن من الحصول على التمويل التقليدي (GIZ, 2022).
- **الاستثمارات ذات العائد الاجتماعي:** هناك أيضاً الصناديق الاستثمارية التي تركز على العائد الاجتماعي والبيئي إلى جانب العائد المالي، مما يتيح للمستثمرين فرصة دعم مشاريع تؤثر بشكل إيجابي على المجتمعات الريفية والبيئة.
- **صناديق رأس المال المخاطر:** تتوجه هذه الصناديق إلى دعم الشركات الناشئة في مجال التكنولوجيا الزراعية التي تطور حلول مبتكرة، مثل الأنظمة الذكية لمراقبة المحاصيل أو الطائرات بدون طيار، حيث تعتبر هذه الشركات قادرة على تغيير المشهد الزراعي بشكل جذري.

- **دور البنوك والمؤسسات المالية**

تلعب البنوك والمؤسسات المالية دوراً أساسياً في دعم الزراعة الذكية عبر تقديم حزم تمويلية ميسرة تتضمن قروضاً بفوائد منخفضة، بالإضافة إلى تأمينات خاصة لتقليل مخاطر القروض الزراعية. هذا الدعم يساعد المزارعين في تجاوز العقبات المالية التي قد تقف في طريق استخدام التقنيات الحديثة في الزراعة (Dantas *et al.*, 2020). على سبيل المثال، قد تقدم بعض البنوك قروضاً موجهة لشراء الأدوات الذكية أو الأنظمة التكنولوجية الضرورية لتحسين الإنتاجية.

- **دعم الحكومات والمؤسسات الدولية**

إلى جانب البنوك، يمكن للحكومات والمؤسسات الدولية أن تلعب دوراً كبيراً في تسريع تبني الزراعة الذكية من خلال برامج الدعم الحكومية، مثل المنح و المساعدات الفنية، التي تهدف إلى تعزيز قدرة المزارعين على استثمار التقنيات الزراعية الحديثة. هذه البرامج قد تشمل توفير التدريب على التقنيات الذكية أو تقديم حوافز ضريبية للمزارعين الذين يتبنون الزراعة المستدامة.

- **أهمية برامج التدريب والتوعية**

التمويل وحده ليس كافياً لتسريع تبني الزراعة الذكية. التدريب والتوعية هما عنصران أساسيان لضمان الاستخدام الأمثل للتقنيات الزراعية. من خلال توفير برامج تدريبية متخصصة في استخدام التقنيات الزراعية الحديثة، يمكن بناء القدرات البشرية وتعزيز الوعي بين المزارعين حول كيفية تحقيق أقصى استفادة من هذه التقنيات. عندما يُدمج التدريب مع التمويل، تصبح المشاريع الزراعية الذكية أكثر قدرة على الاستدامة والنجاح على المدى الطويل.

- **الآفاق الاقتصادية والاجتماعية للزراعة الذكية**

إن الاستثمار في الزراعة الذكية لا يقتصر فقط على زيادة الإنتاجية، بل يفتح آفاقاً جديدة للنمو الاقتصادي في المناطق الريفية. ففي الزراعة الذكية، تتداخل الفوائد الاقتصادية مع الفوائد الاجتماعية والبيئية. فالاستثمار في تقنيات إدارة المياه أو استخدام الطاقة المتجددة يمكن أن يقلل من الآثار البيئية السلبية ويحفز التنمية المستدامة في المجتمعات الريفية. علاوة على ذلك، يعزز الاستثمار الزراعي الذكي من الأمن الغذائي، حيث يمكن أن يوفر منتجات زراعية أكثر تنوعاً وجودة، وهو ما يساهم في تحقيق الاستقرار الاقتصادي والاجتماعي في هذه المناطق.

في النهاية، يمكن القول أن التمويل والاستثمار يمثلان الأساس لتسريع تبني الزراعة الذكية في العالم الريفي. من خلال تطوير أدوات تمويل مبتكرة، مثل التمويل الجماعي وصناديق رأس المال المخاطر، ودعم المؤسسات المالية والحكومات لهذه التقنيات،

يمكن فتح آفاق جديدة للمزارعين. وعند دمج ذلك مع برامج تدريبية وتوعوية، سيكون من الممكن خلق قطاع زراعي ذكي قادر على تحقيق النمو الاقتصادي المستدام وتحسين مستوى الحياة في المجتمعات الريفية.

7. تحديات وحلول لتعزيز الاستثمار في الزراعة الذكية

الزراعة الذكية هي مجال واعد يتضمن تكنولوجيا متقدمة لتحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف في القطاع الزراعي. إلا أن هناك العديد من التحديات التي تقف أمام تحقيق الاستثمار الأمثل في هذه التقنيات، خاصة في المناطق الريفية والاقتصادات الناشئة . تختلف هذه التحديات بين الجوانب المالية والتقنية والاجتماعية، وتحتاج إلى حلول مبتكرة وفعّالة لضمان نجاح الاستثمارات في هذا المجال الحيوي.

- **التحديات المالية والاقتصادية**

من أبرز التحديات التي تواجه الاستثمار في الزراعة الذكية هو ارتفاع تكاليف التكنولوجيا الزراعية الحديثة، مثل أنظمة الاستشعار الذكي والذكاء الاصطناعي والأنظمة الرقمية المعقدة. هذه التقنيات قد تكون غير ميسورة التكلفة بالنسبة لصغار المزارعين والمشاريع الزراعية الصغيرة والمتوسطة، الذين يعانون أصلاً من ضعف رأس المال و ارتفاع المخاطر المالية (World Bank, 2020).

حلول مقترحة

- **تطوير أدوات تمويل ميسرة:**

من أهم الحلول التي يمكن أن تساعد في تخطي العقبات المالية هي توفير أدوات تمويل ميسرة للمزارعين. تشمل هذه الأدوات:

- ✓ **القروض الميسرة ذات الفوائد المنخفضة،** التي تقدمها البنوك أو المؤسسات الحكومية للمزارعين الذين يرغبون في تبني التقنيات الحديثة.

- ✓ **التمويل الجماعي (Crowdfunding)**، الذي يمكن أن يساعد في جمع الأموال من مستثمرين مهتمين بالزراعة المستدامة أو التكنولوجيا الزراعية، مما يتيح للمزارعين الحصول على تمويل مباشر دون الحاجة إلى المرور عبر القنوات المالية التقليدية.
- ✓ **الصناديق الخاصة** التي تقدم دعماً مباشراً للمشاريع الزراعية الذكية، سواء عبر المنح أو الاستثمارات الصغيرة الموجهة نحو تعزيز قدرة المزارعين على استخدام التقنيات الحديثة.

➢ **تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص:**

لتقليل مخاطر الاستثمار، من المهم تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص. فهذه الشراكات يمكن أن تساهم في:

- ✓ تقاسم المخاطر المالية والتشغيلية بين الحكومات والشركات الخاصة.
- ✓ دعم الابتكار وتحفيز التطوير التكنولوجي من خلال التعاون المشترك في مشاريع البحث والتطوير الزراعي.
- ✓ توفير البنية التحتية الرقمية اللازمة لتطبيق الزراعة الذكية في المناطق الريفية.

هذه الشراكات يمكن أن تساهم في ضمان استمرارية الاستثمار وجذب مزيد من الأموال للمشاريع الزراعية المستدامة.

➢ **توفير حوافز مالية وضريبية:**

يمكن للحكومات توفير حوافز مالية و ضريبية لدعم المستثمرين في الزراعة الذكية. هذه الحوافز قد تشمل:

- ✓ إعفاءات ضريبية على المعدات التكنولوجية المستخدمة في الزراعة الذكية.

- ✓ دعم حكومي للأنظمة الرقمية وأجهزة الاستشعار الزراعي.
- ✓ حوافز موجهة لشركات التكنولوجيا التي تطور حلولاً مبتكرة للقطاع الزراعي، مما يعزز من التوسع في استخدام التكنولوجيا الزراعية على نطاق واسع.

- **التحديات التقنية**

على الرغم من التقدم الكبير في تقنيات الزراعة الذكية، إلا أن التحديات التقنية لا تزال قائمة. هذه التحديات تشمل:

- ➢ التكامل بين الأنظمة المختلفة :قد يكون من الصعب دمج التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي مع الأنظمة الزراعية التقليدية.
- ➢ الافتقار إلى المهارات الفنية لدى المزارعين، مما يجعلهم غير قادرين على استخدام الأدوات الزراعية الذكية بشكل فعّال.

حلول مقترحة

- ➢ **برامج تدريب وتطوير مهارات المزارعين:**

يجب توفير برامج تدريبية منتظمة للمزارعين في المناطق الريفية لتعريفهم على التقنيات الجديدة وكيفية استخدامها بشكل فعّال. يمكن أن تشمل هذه البرامج:

- ✓ التدريب على استخدام أدوات الاستشعار الذكي وأنظمة الري الذكية.
- ✓ التوعية بالمزايا البيئية والاقتصادية التي تقدمها الزراعة الذكية.
- ✓ ورشا تدريبية على كيفية تحليل البيانات الزراعية لاتخاذ قرارات زراعية مدروسة.

- **تحسين بنية البنية التحتية الرقمية:**

يتعين تحسين البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية لضمان اتصال الإنترنت الجيد، الذي يعد أساساً في استخدام التقنيات الزراعية الذكية. يمكن تحقيق ذلك من خلال:

- ✓ إنشاء شبكات الإنترنت عالية السرعة في المناطق الريفية.
- ✓ توفير تقنيات حوسبة سحابية لمساعدة المزارعين في تخزين وتحليل البيانات الزراعية.

- **التحديات البيئية والاجتماعية**

تواجه الزراعة الذكية أيضاً تحديات بيئية و اجتماعية تؤثر على فعالية استخدام هذه التقنيات في بعض المناطق الريفية. فهناك مقاومة تقليدية للتكنولوجيا، فضلاً عن العقبات البيئية التي قد تحد من القدرة على تطبيق حلول الزراعة الذكية.

حلول مقترحة

- **التشجيع على الزراعة المستدامة:**

من خلال تشجيع الزراعة المستدامة التي تدمج بين التقنيات الحديثة والممارسات الزراعية التقليدية، يمكن التغلب على هذه التحديات. يمكن دعم هذا التوجه من خلال:

- ✓ حملات توعية للمزارعين حول الفوائد البيئية للزراعة الذكية.
- ✓ توجيه الدعم الحكومي نحو مشاريع الزراعة المستدامة.

- **تعزيز التعاون المجتمعي:**

إن تعزيز التعاون بين المجتمعات الريفية وتجار التكنولوجيا الزراعية يسهم في التشجيع على الابتكار المشترك. عندما يتم فهم احتياجات المزارعين المحليين،

يمكن أن تُصمم التقنيات بشكل يتناسب مع البيئة المحلية، مما يضمن استدامة هذه الحلول على المدى الطويل.

إن التحديات التي تواجه الاستثمار في الزراعة الذكية تتطلب حلولاً مبتكرة ومتعددة الجوانب. من خلال تطوير أدوات تمويلية ميسرة ودعم الشراكات بين القطاعين العام والخاص وتحسين البنية التحتية الرقمية وتدريب المزارعين، يمكن أن نتمكن من تعزيز الاستثمار في الزراعة الذكية وتحقيق نمو اقتصادي مستدام في المناطق الريفية.

8. الخاتمة

تعتبر الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً حيوياً لدفع عجلة النمو الاقتصادي وتوليد فرص العمل والابتكار في القطاع الزراعي. فقد أثبتت هذه التكنولوجيا الحديثة قدرتها على تحويل القطاع الزراعي التقليدي إلى قطاع يعتمد على بيانات دقيقة وتقنيات متطورة، مما يعزز الإنتاجية ويحسن جودة المحاصيل ويخفض التكاليف. من خلال اعتماد تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتحليل البياني، أصبحت الزراعة أكثر كفاءة واستدامة.

ومع ذلك، لا تخلو مسيرة تبني الزراعة الذكية من تحديات متعددة، تشمل المسائل المالية المتعلقة بارتفاع تكاليف التكنولوجيا، التحديات التقنية المتعلقة بالتكامل بين الأنظمة الحديثة والزراعات التقليدية، وكذلك التحديات الاجتماعية المرتبطة بمقاومة التغيير في المجتمعات الريفية. هذه التحديات تتطلب حلولاً متكاملة ومستدامة تشمل تحسين البنية التحتية الرقمية، تطوير سياسات تمويل ميسرة، وتوفير برامج تدريبية متخصصة للمزارعين.

يشكل الدعم الحكومي والشراكات بين القطاعين العام والخاص حجر الزاوية لتسريع تبني الزراعة الذكية. من خلال تبني سياسات داعمة وتوفير حوافز استثمارية، يمكن للمزارعين والشركات الناشئة أن يواجهوا التحديات المالية. كما أن التمويل المستهدف

عبر أدوات مثل التمويل الجماعي وصناديق رأس المال المخاطر يمكن أن يساهم في تحفيز الاستثمارات الزراعية الذكية.

في النهاية، يعتبر الاستثمار في الزراعة الذكية خطوة أساسية نحو تحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة. لا يقتصر هذا الاستثمار على تحسين الأمن الغذائي فقط، بل يعزز رفاهية المجتمعات الريفية والحضرية، ويفتح آفاقاً جديدة من الفرص الاقتصادية و الابتكار. لهذا، فإن تكامل الجهود بين الحكومات، المؤسسات التعليمية، والمستثمرين يعد أمراً أساسياً لتحقيق مستقبل زراعي ذكي ومزدهر.

9. المراجع

فارمونوت Farmonaut. 2025. كيف تعزز تكنولوجيا الزراعة الدقيقة فرص العمل للخريجين في القاهرة؟ https://farmonaut.com/africa/

Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2020). Precision agriculture technology adoption: economic and policy considerations. *Agricultural Economics*, 51(1), 7-23.

Dantas, R. S., Souza, R. R., & de Oliveira, L. A. (2020). Agritech startups and innovation in agriculture: A systematic literature review. *Journal of Agricultural Studies*, 8(3), 75-90.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Rome: FAO.

GIZ. (2022). Innovative financing solutions for agriculture and rural development. *GIZ Publications*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. https://www.giz.de/en/downloads/giz2022-innovative-financing-agriculture.pdf

GIZ. (2022). *Sustainable smart agriculture: Challenges and opportunities*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. https://www.giz.de/en/downloads/giz2022-smart -agriculture.pdf

Munyua, H. W., & Barasa, L. (2018). Social challenges of adopting smart agriculture technologies in rural areas. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 10(6), 129-140.

Munyua, H., & Barasa, O. (2018). Enhancing agricultural innovation in Africa through public-private partnerships. *African Journal of Agricultural Research*, 13(19), 983-992.

OECD. (2019). *Policy framework for investment in agriculture*. OECD Publishing.

OECD. (2020). Financing agriculture and rural development. *OECD Publishing*.

Rose, D., Wheeler, S., & Kassam, A. (2021). Overcoming barriers to precision agriculture adoption: Policy, education, and infrastructure perspectives. *Agriculture and Human Values*, 38(2), 309-324.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming – a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

World Bank. (2019). Public-private partnerships for agricultural development. *World Bank Group Report*. https://documents. worldbankorg/en/publication/documents-reports/document detail79859155548729 1490/public-private-partnerships-for-agricultural-development

World Bank. (2020). *Financing smart agriculture for sustainable growth*. Washington, DC: World Bank Group. https:// documents. orldbank.org/financing-smart-agriculture

الفصل 38 - استثمار المستقبل: الزراعة الذكية وأمن الغذاء العالمي

المحتويات

1. المقدمة
2. أهمية الاستثمار الزراعي الذكي على مستوى العالم
3. تأثير الزراعة الذكية على الأمن الغذائي العالمي
4. تحديات الأمن الغذائي العالمي
5. دور الزراعة الذكية في تحقيق الأمن الغذائي
6. الاتجاهات العالمية في الاستثمار الزراعي الذكي
7. الشراكات الدولية وأثرها على الأمن الغذائي
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

يمثل الأمن الغذائي العالمي أحد أكبر التحديات التي تواجه البشرية في العصر الحديث، حيث يشكل ت هديداً لسلامة المجتمعات والاقتصادات في مختلف أنحاء العالم. ومع تزايد عدد السكان الذي يُتوقع أن يصل إلى حوالي 9.7 مليار نسمة بحلول عام 2050 (United Nations, 2019)، إضافة إلى تغير المناخ وتأثيراته المتزايدة على إنتاجية الأراضي الزراعية، تزداد الحاجة إلى استراتيجيات مبتكرة لضمان تلبية احتياجات الغذاء بشكل مستدام.

الزراعة الذكية، التي تعتمد على دمج التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة، تُعتبر واحدة من الحلول الفعالة التي تجمع بين الابتكار التكنولوجي والممارسات الزراعية المستدامة لتحسين الإنتاجية الزراعية. هذه التقنيات تتيح للمزارعين تقليل الفاقد، تحسين استخدام الموارد مثل المياه و المواد الغذائية، وزيادة الإنتاجية بطريقة أكثر كفاءة ومرونة. على الرغم من الفوائد الواضحة، فإن الاستثمار

في الزراعة الذكية يتطلب استثمارات ضخمة في البنية التحتية والتكنولوجيا والدعم المؤسساتي، مما يعزز من أهمية التعاون بين الحكومات، الشركات، والمجتمع الدولي.

في عالم متشابك ومعقد حيث تزداد الطلبات على الموارد الطبيعية بشكل مطرد، تبرز الزراعة الذكية كأداة هامة ليس فقط لضمان إنتاجية المحاصيل ولكن أيضاً لتحسين قدرة القطاع الزراعي على التكيف مع التحديات المستقبلية مثل الجفاف والآفات أو تغييرات السوق. فباستخدام تقنيات مثل الزراعة الدقيقة والاستشعار عن بُعد والطائرات بدون طيار، يمكن توفير حلول مبتكرة لتحسين سلاسل الإمداد الغذائي بشكل غير مسبوق.

لكن الاستثمار في الزراعة الذكية لا يقتصر فقط على استخدام التكنولوجيا؛ بل يمتد إلى دعم السياسات والبحوث العلمية والتدريب الزراعي والتعاون الدولي. لذلك، يعد استثمار المستقبل في الزراعة الذكية أمراً محورياً لتحقيق أمن الغذاء العالمي وضمان استدامته في ظل تحديات اقتصادية وبيئية متزايدة.

يركز هذا الفصل على أهمية استثمار الزراعة الذكية على مستوى عالمي، وكيف يمكن أن تسهم في تعزيز الأمن الغذائي العالمي. كما نسلط الضوء على التحديات التي يواجهها هذا القطاع، والاتجاهات العالمية في الاستثمار الزراعي الذكي، مع التركيز على دور الشراكات الدولية في تحقيق أهداف الأمن الغذائي، بما يتماشى مع رؤية التنمية المستدامة لعام 2030.

2. أهمية الاستثمار الزراعي الذكي على مستوى العالم

يشهد قطاع الزراعة في العالم تحولات كبيرة نتيجة للتحديات المتزايدة التي يواجهها، من بينها تزايد عدد السكان الذي يخلق ضغطاً على إنتاج الغذاء، و تغير المناخ الذي يهدد استقرار الإنتاج الزراعي، فضلاً عن نقص الموارد الطبيعية مثل المياه والأراضي الزراعية الصالحة. في هذا السياق، يصبح الاستثمار الزراعي الذكي أداة استراتيجية وحيوية تُمكّن من مواجهة هذه التحديات وتحقيق أهداف الأمن الغذائي المستدام.

"استخدام التكنولوجيا الحديثة لتحسين الإنتاجية (عوا، 2024).

الاستثمار الزراعي الذكي يعتمد على دمج التكنولوجيا الحديثة مثل الزراعة الدقيقة وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بُعد لتحسين كفاءة الإنتاج الزراعي وتقليل استهلاك الموارد الطبيعية وزيادة الإنتاجية. استخدام هذه التقنيات يساعد على تحسين إدارة المياه والتسميد الذكي والمكافحة المستدامة للآفات وتقليل الهدر الناجم عن التقنيات الزراعية التقليدية. مثل هذه التحسينات لا تساهم فقط في رفع الإنتاجية، بل تضمن استدامة الموارد وتحسين جودة الحياة للمزارعين (Gomez & Nair, 2020).

حسب تقرير البنك الدولي (2021)، الاستثمار في الزراعة الذكية يمكن أن يؤدي إلى تحسين الدخل الزراعي من خلال زيادة الإنتاجية وتقليل الخسائر الناتجة عن الآفات والأمراض والكوارث المناخية، مثل الفيضانات أو الجفاف. من خلال الأنظمة الرقمية والمراقبة الدقيقة للظروف البيئية، يصبح المزارعون قادرين على اتخاذ قرارات زراعية

مبنية على بيانات حقيقية ودقيقة، مما يعزز كفاءة العمليات الزراعية ويقلل من الفاقد في المحاصيل. على سبيل المثال، يمكن للأجهزة المزودة بمستشعرات ذكية جمع بيانات حول الرطوبة والحرارة والمغذيات في التربة، مما يساعد على تخصيص الموارد بشكل مثالي (FAO, 2020).

علاوة على ذلك، يُعد الاستثمار في الزراعة الذكية عاملاً رئيسياً في تعزيز البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية، مما يُمكّن المجتمعات الزراعية من تبني التقنيات الحديثة، ويُحسن من قدرة المزارعين على الوصول إلى الأسواق بشكل أسرع وأكثر كفاءة. هذه التقنيات تُسهم في تقليل التكاليف الإنتاجية وزيادة التنافسية وتوسيع الأسواق، مما ينعكس على النمو الاقتصادي على مستوى المجتمعات المحلية والاقتصاد العالمي.

تتجلى أهمية الاستثمار الزراعي الذكي أيضاً في تعزيز الاستدامة البيئية. فالزراعة الذكية تمكن من إدارة الموارد الطبيعية بشكل أكثر كفاءة، مما يحد من الإفراط في استخدام المياه والأسمدة والطاقة. كذلك، تساهم في خفض الانبعاثات الكربونية المرتبطة بالأنشطة الزراعية من خلال استخدام تكنولوجيا التحليل البيئي التي تساعد في مراقبة التأثيرات البيئية وتوجيه الممارسات الزراعية لتكون أكثر توافقاً مع التحديات المناخية.

في النهاية، يمكن القول إن الاستثمار في الزراعة الذكية لا يعدّ مجرد خيار اقتصادي، بل هو ضرورة استراتيجية لضمان استدامة الأمن الغذائي العالمي، وتعزيز قدرة قطاع الزراعة على التكيف مع التحديات المستقبلية، مع المساهمة في تحسين جودة الحياة للمزارعين وفتح آفاق جديدة للاقتصادات الوطنية والعالمية.

3. تأثير الزراعة الذكية على الأمن الغذائي العالمي

تمثل الزراعة الذكية تحولاً جوهرياً في كيفية تلبية احتياجات العالم المتزايدة من الغذاء، حيث تجمع بين التكنولوجيا المتقدمة والمعرفة الزراعية التقليدية لتحقيق أمن غذائي مستدام. بفضل القدرة على تحليل البيانات وتحسين الإنتاجية مع تقليل الهدر، أصبحت

الزراعة الذكية حلاً فعالاً في مواجهة التحديات الكبرى التي تهدد الأمن الغذائي العالمي، مثل تغير المناخ ونمو السكان وشُح الموارد الطبيعية.

إليك أبرز التأثيرات التي تحققها الزراعة الذكية على الأمن الغذائي:

- **زيادة الإنتاجية الزراعية**

بفضل تقنيات الاستشعار وأنظمة الرصد وتحليل البيانات، تتيح الزراعة الذكية للمزارعين تحسين ممارسات الزراعة بشكل دقيق، مما يؤدي إلى:

- **زيادة المحصول**: حيث يمكن تحسين أنماط الري، التسميد، والآفات باستخدام أنظمة ذكية تُراقب حالة المحاصيل بشكل دوري.
- **تقليل الفاقد**: يمكن تقليص الهدر الغذائي الناتج عن الممارسات غير الدقيقة في الزراعة، مما يساهم في ضمان استخدام كل وحدة من الموارد بشكل أمثل (FAO, 2020).

- **تحسين كفاءة الموارد**

مع استخدام تقنيات الزراعة الذكية، يتم توجيه الموارد الطبيعية مثل المياه والأسمدة والطاقة إلى المكان والوقت الصحيحين:

- **الري الذكي:** من خلال استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد و التحكم الآلي في الري، يمكن تقليل استهلاك المياه بشكل كبير.
- **التسميد المدروس:** تُتيح أنظمة التسميد الذكية للمزارعين إضافة العناصر الغذائية بشكل مدروس يضمن الحد الأدنى من الفاقد ويزيد من إنتاجية الأرض.
- **كفاءة الطاقة:** تستخدم الزراعة الذكية مصادر الطاقة المتجددة وأنظمة إدارة الطاقة الذكية لتقليل البصمة البيئية للزراعة (Klerkx *et al*., 2019).

- **التكيف مع تغير المناخ**

يعد تغير المناخ أحد أكبر التحديات التي تهدد الإنتاج الزراعي واستدامة الغذاء .الزراعة الذكية توفر الأدوات الضرورية للتكيف مع هذه التغيرات:

- **التنبؤ المناخي الدقيق**: يمكن للمزارعين استخدام التنبؤات المناخية الدقيقة التي تساعدهم في اتخاذ قرارات مبنية على البيانات حول توقيت الزراعة و ممارسات الري.
- **تدابير وقائية**: يساعد استخدام البيانات الضخمة و التقنيات التحليلية في وضع استراتيجيات لتقليل الخسائر الناتجة عن الكوارث المناخية مثل الفيضانات أو الجفاف (IPCC, 2019).

- **تعزيز الاستدامة**

تساهم الزراعة الذكية في تحقيق استدامة زراعية من خلال:

- **تقليل الأثر البيئي**: بتطبيق تقنيات تحسن كفاءة استخدام المياه والطاقة، يتم تقليص التأثير السلبي على البيئة.
- **الحفاظ على التربة:** يمكن استخدام أنظمة ذكية لمراقبة صحة التربة بشكل مستمر، مما يساهم في تقليل التآكل وتحسين جودة التربة (Munyua & Barasa, 2018).

- **توسيع نطاق وصول الغذاء**

من خلال تحسين الإنتاج الزراعي وزيادة كفاءته، يمكن للزراعة الذكية أن تلعب دوراً كبيراً في توسيع نطاق الوصول إلى الغذاء:

- **الدول النامية**: في البلدان التي تواجه تحديات كبيرة في الموارد، تساعد الزراعة الذكية في زيادة الإنتاج المحلي و تقليل الاعتماد على الواردات.

- **الاستقرار الغذائي**: يؤدي تحسين الإنتاجية إلى زيادة الإمدادات الغذائية على الصعيدين المحلي والعالمي، ما يساهم في تعزيز الأمن الغذائي وتوسيع الأسواق العالمية.

دراسة حالة:

في الهند، تم تطبيق تقنيات الزراعة الدقيقة في بعض الولايات مثل أوتار براديش باستخدام أنظمة استشعار التربة والطقس .النتيجة كانت:

- زيادة إنتاج القمح بنسبة 15% مقارنة بالفترات السابقة.
- خفض استهلاك المياه والأسمدة بنسبة 20%، مما ساهم في تقليل التكاليف التشغيلية.
- هذا أدى إلى تحسين الأمن الغذائي المحلي وزيادة دخل المزارعين (Kumar *et al*., 2021).

من خلال هذه الأمثلة، نرى كيف يمكن للزراعة الذكية أن تُحدث تغييراً إيجابياً في الأمن الغذائي العالمي. فكلما تم تبني هذه التقنيات بشكل أوسع، زادت فرص تحسين الإنتاجية الزراعية وتقليل الفاقد، مما يعزز قدرة العالم على مواجهة تحديات الأمن الغذائي في المستقبل.

4. تحديات الأمن الغذائي العالمي

يُعد الأمن الغذائي العالمي أحد أكثر القضايا تعقيداً في عصرنا الحالي، حيث يتأثر بالعديد من العوامل الاقتصادية والبيئية والاجتماعية التي تعيق القدرة على توفير غذاء كافٍ وآمن لجميع سكان العالم. يزداد هذا التحدي بسبب التغيرات المناخية المتسارعة، النمو السكاني المستمر، محدودية الموارد الطبيعية، النزاعات السياسية، والفقر المدقع، مما يعمق فجوة الأمن الغذائي في العديد من المناطق حول العالم. وفقاً لتقرير منظمة الأغذية

والزراعة (FAO, 2022)، يعاني أكثر من 800 مليون شخص من نقص الغذاء، ويتوقع أن يرتفع هذا العدد بشكل ملحوظ في ظل استمرار هذه التحديات.

أبرز التحديات التي تهدد الأمن الغذائي العالمي:

- **تغير المناخ**

يشكل تغير المناخ أكبر تهديد للأمن الغذائي، حيث يؤثر بشكل مباشر على الإنتاج الزراعي من خلال:

- **اضطراب أنماط الأمطار**: تقلبات الأمطار تؤدي إلى الجفاف أو الفيضانات، ما يضر بمحاصيل الزراعة ويقلل من المحاصيل الأساسية مثل القمح و الأرز.
- **ارتفاع درجات الحرارة**: يؤدي إلى تقليل إنتاجية المحاصيل وزيادة الضغط على الموارد المائية.
- **آثار غير مباشرة**: من زيادة انتشار الأمراض النباتية و الآفات الزراعية بسبب الظروف المناخية المتغيرة، ما يزيد من مخاطر الإنتاج الزراعي في مختلف أنحاء العالم (IPCC, 2019).

- **الضغوط على الموارد الطبيعية**

- **تدهور التربة**: يؤدي الإفراط في الزراعة واستخدام المبيدات والأسمدة إلى تدهور التربة، مما يحد من قدرتها على إنتاج محاصيل جديدة.
- **ندرة المياه**: على الرغم من أن المياه هي عنصر أساسي في الزراعة، فإن المناطق الزراعية تواجه نقصاً في المياه بسبب التغيرات المناخية وسوء إدارة الموارد المائية.
- **تدهور التنوع البيولوجي**: يؤثر التدمير البيئي على الأنواع النباتية والحيوانية، مما يؤدي إلى فقدان التوازن البيئي الذي يعتبر أساساً في استدامة الزراعة.

- **النمو السكاني والطلب المتزايد على الغذاء**

  - **زيادة السكان**: من المتوقع أن يصل عدد سكان العالم إلى 9.7 مليار نسمة بحلول عام 2050، مما يعني الحاجة إلى زيادة الإنتاج الزراعي بنحو 60% لتلبية الطلب المتزايد على الغذاء.
  - **تحسين الإنتاجية**: مع تضاعف الطلب على الغذاء، فإن التحدي الأكبر سيكون في توفير الإنتاج الكافي بأقل الموارد الممكنة، وهو ما يستدعي حلولاً مبتكرة ومدعومة بتقنيات متقدمة.

- **الفقر والافتقار إلى التكنولوجيا**

  - **محدودية الوصول إلى التكنولوجيا**: يعاني المزارعون في الدول النامية من صعوبة في الوصول إلى التقنيات الحديثة، ما يمنعهم من تحسين أساليب الزراعة وزيادة الإنتاجية.
  - **التأثيرات الاجتماعية**: يعاني العديد من المزارعين من محدودية الموارد المالية التي تمنعهم من الاستثمار في تقنيات الزراعة الحديثة مثل الزراعة الدقيقة أو الاستشعار عن بعد.

- **النزاعات والكوارث**

  - **النزاعات المسلحة**: تؤدي الحروب والنزاعات السياسية إلى تهجير السكان الريفيين وتدمير البنية التحتية الزراعية، ما يعطل سلاسل الإمداد الغذائي.
  - **الكوارث الطبيعية**: الزلازل، الفيضانات، والعواصف تهدد الزراعة في بعض المناطق وتؤدي إلى تهجير السكان، ما يزيد من تفاقم مشكلة الوصول إلى الغذاء (FAO, 2022).

دعوة للحلول الذكية:

يعد التغلب على هذه التحديات ضرورة عاجلة لتحقيق الأمن الغذائي العالمي. وقد تتطلب هذه الحلول تبني تقنيات الزراعة الذكية، مثل الزراعة الدقيقة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، لتقديم حلول فعالة ومستدامة. كما أن التعاون الدولي وتعزيز البحث العلمي في تقنيات الزراعة المستدامة، يلعبان دوراً مهماً في مكافحة تلك التحديات وضمان استدامة الأمن الغذائي في المستقبل.

5. دور الزراعة الذكية في تحقيق الأمن الغذائي

تلعب الزراعة الذكية دوراً حيوياً في مواجهة تحديات الأمن الغذائي من خلال استخدام التقنيات الحديثة التي تساهم في تحسين الإنتاج الزراعي بشكل مستدام وفعال. تعد التكنولوجيا الزراعية من أهم الأدوات التي تتيح زيادة الإنتاجية وتحسين جودة الغذاء، مع تقليل التأثيرات السلبية على البيئة. فيما يلي أبرز أدوار الزراعة الذكية في ضمان تحقيق الأمن الغذائي:

- **تحسين إدارة الموارد**

من أبرز الفوائد التي تقدمها الزراعة الذكية تحسين إدارة الموارد الطبيعية مثل المياه والأسمدة. من خلال الحساسات الذكية، يمكن للمزارعين التحكم في كمية المياه المخصصة للري، ما يؤدي إلى توفير المياه وتقليل الهدر. تساعد أنظمة الري الذكية مثل الري بالتنقيط في توجيه المياه إلى الجذور بشكل دقيق، مما يزيد من فعالية الري في المناطق الجافة ويخفض من استهلاك المياه (Li *et al.*, 2020). علاوة على ذلك، يمكن تحسين استخدام الأسمدة من خلال أنظمة الاستشعار التي تحدد احتياجات التربة الدقيقة، مما يعزز الإنتاجية ويقلل من التلوث البيئي الناجم عن الاستخدام المفرط للأسمدة.

- **التحكم في الأمراض والآفات**

تعد إدارة الآفات والأمراض من القضايا الأساسية في تحقيق الأمن الغذائي، حيث يمكن أن تؤدي إلى خسائر كبيرة في المحاصيل. توفر تقنيات الاستشعار والرصد المستمر إمكانية الكشف المبكر عن الأمراض والآفات، وبالتالي يمكن مكافحة هذه الآفات بشكل دقيق وموجه. تستخدم المبيدات بشكل مركز على المناطق المتضررة فقط، ما يؤدي إلى تقليل التكاليف المرتبطة باستخدام المبيدات ويحد من التأثيرات البيئية السلبية (FAO, 2020). على سبيل المثال، قد تستخدم الطائرات بدون طيار مجهزة بكاميرات طيفية لرصد النباتات المصابة بشكل مبكر، ما يعزز التدخل السريع.

- **تعزيز مقاومة التغيرات المناخية**

تعد التغيرات المناخية واحدة من أكبر التحديات التي تواجه الأمن الغذائي العالمي . من خلال نماذج التنبؤ المناخي والبيانات التحليلية، يمكن للزراعة الذكية أن توفر للمزارعين الأدوات اللازمة لتحديد المخاطر المناخية المستقبلية والتخطيط للزراعة بناءً على هذه البيانات. هذا يساهم في اتخاذ قرارات زراعية دقيقة تمكن المزارعين من التكيف مع الظروف المناخية المتقلبة مثل الجفاف أو الفيضانات (Smith & Jones, 2021). وتساهم تقنيات الاستشعار عن بعد وتحليل البيانات الضخمة في تحديد المناطق التي قد تتعرض للظروف المناخية القاسية، مما يساعد في اتخاذ تدابير وقائية بشكل مبكر.

- **زيادة الإنتاجية وتحسين الجودة**

تساعد الزراعة الذكية في زيادة الإنتاجية وجودة المحاصيل. باستخدام الطائرات بدون طيار، الأقمار الصناعية، وأنظمة الاستشعار المتقدمة، يمكن تحسين مواعيد الزراعة والحصاد بناءً على بيانات دقيقة حول حالة المحاصيل وظروف الطقس. هذا لا يعزز من جودة المحاصيل فحسب، بل يزيد أيضاً من كمية الإنتاج. على

سبيل المثال، تمكنت الأقمار الصناعية من تتبع نمو المحاصيل بشكل مستمر وتحليل العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة (FAO, 2020).

- **تمكين المجتمعات الريفية**

إحدى أبرز مزايا الزراعة الذكية هي قدرتها على تمكين المجتمعات الريفية وتحقيق الاكتفاء الغذائي. من خلال توفير تقنيات رقمية ميسورة التكلفة، تتمكن المجتمعات الريفية من الوصول إلى خدمات إرشادية وأنظمة توجيهية ذكية ومعلومات زراعية تساعد في تحسين الإنتاج وزيادة دخل المزارعين. تدعم الزراعة الذكية الأسر الريفية في زيادة دخلها عبر تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف. كما توفر تقنيات التجارة الإلكترونية فرصاً للمزارعين لتسويق منتجاتهم بشكل مباشر.

دراسة حالة:

في كينيا، أدى تطبيق أنظمة الري الذكية مع تقديم التوصيات الزراعية الرقمية إلى زيادة إنتاجية الذرة بنسبة 20% خلال ثلاث سنوات، وزيادة دخل المزارعين بنسبة 30% (Mwangi *et al*., 2022). هذه النتائج تبين كيف يمكن لتقنيات الزراعة الذكية أن تُحسن من إنتاجية المحاصيل وتُساهم في رفع المستوى المعيشي للمزارعين في المناطق الريفية.

تعتبر الزراعة الذكية من الركائز الأساسية في مواجهة التحديات التي تعترض الأمن الغذائي العالمي، عبر تحسين إنتاجية المحاصيل، تحقيق الاستدامة البيئية، وتمكين المجتمعات الريفية. يتضح أن الابتكار التكنولوجي في الزراعة قادر على تحقيق الأمن الغذائي في المستقبل، وتوفير حلول مستدامة تضمن تلبية احتياجات الغذاء في ظل الظروف البيئية والمناخية المتغيرة.

6. الاتجاهات العالمية في الاستثمار الزراعي الذكي

تتزايد الاستثمارات في الزراعة الذكية على مستوى العالم بشكل ملحوظ، حيث تُعتبر هذه التقنيات ركيزة أساسية لتحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة. تشمل هذه الاتجاهات عدداً من العوامل الرئيسية التي تسهم في تعزيز الاستثمار الزراعي الذكي عالمياً، مما يدعم الاستجابة للتحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة. فيما يلي أبرز الاتجاهات التي تميز هذه التحولات:

- **التمويل المتزايد للابتكار الزراعي**

تواصل المؤسسات التمويلية الكبرى مثل البنك الدولي والبنك الأفريقي للتنمية تخصيص أموال كبيرة لدعم تقنيات الزراعة الذكية في الدول النامية. تقدم هذه المؤسسات برامج تمويلية تهدف إلى تحفيز الابتكار في القطاع الزراعي، خاصة في المناطق التي تعاني من نقص في التكنولوجيا الزراعية الحديثة. وفقاً لتقرير البنك الدولي (2023)، تم تخصيص استثمارات ضخمة لدعم مشاريع الزراعة الذكية، مثل أنظمة الري الذكية والاستشعار عن بعد وتحليل البيانات الضخمة، ما يسهم في تحسين إنتاجية الزراعة وتحقيق الأمن الغذائي في المناطق الأكثر احتياجاً.

- **الشركات الناشئة والابتكار**

تسهم الشركات الناشئة بشكل متزايد في تطوير تقنيات الذكاء الاصطناعي والاستشعار والبيانات الضخمة في القطاع الزراعي. وتعتبر هذه الشركات محركات رئيسية للنمو والتطور في مجال الزراعة الذكية. على سبيل المثال، تستثمر الشركات في تقنيات الزراعة الدقيقة التي تعتمد على الأجهزة الذكية والأنظمة المدعومة بالذكاء الاصطناعي، مما يساعد المزارعين في اتخاذ قرارات أكثر دقة تستند إلى البيانات، ويقلل من التكاليف ويحسن الإنتاجية (AgFunder, 2022). هذه الابتكارات تسهم في زيادة قدرة الزراعة على التكيف مع التغيرات المناخية وتحقيق استدامة أكبر.

- **الاستثمارات في البنية التحتية الرقمية**

تعد البنية التحتية الرقمية إحدى الركائز الأساسية لتحقيق التوسع في الزراعة الذكية. في هذا السياق، تتزايد الاستثمارات في شبكات الإنترنت عالية السرعة، مراكز البيانات، و منصات المعلومات الزراعية التي تسهل وصول المزارعين إلى البيانات والخدمات الرقمية. تعتبر الإنترنت من الأشياء أداة أساسية في الزراعة الذكية، حيث تتيح للمزارعين مراقبة المحاصيل في الوقت الفعلي، وضبط العمليات الزراعية باستخدام البيانات المستخلصة من الأجهزة المتصلة. يتم ذلك من خلال تحسين الوصول إلى منصات رقمنة الزراعة التي تقدم حلولاً للمشاكل المتعلقة بالتنبؤ المناخي وإدارة المياه وتوزيع الأسمدة.

- **الاهتمام بالاستدامة**

تزداد أهمية الاستدامة في الاستثمارات الزراعية الذكية، حيث يتوجه المستثمرون نحو تقنيات تركز على الاستخدام المستدام للموارد الطبيعية. تتضمن هذه التقنيات أنظمة الري الذكية التي تستهلك أقل قدر من المياه، والزراعة الدقيقة التي تهدف إلى تقليل الفاقد وزيادة الإنتاجية دون التأثير السلبي على البيئة. كما يزداد الاهتمام بتقنيات الزراعة الذكية التي تحافظ على التنوع البيولوجي وتقلل من التلوث البيئي الناتج عن الاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات. يشهد القطاع الزراعي توجهاً نحو تبني حلول زراعية خضراء تدعم الزراعة المستدامة وتواكب اتفاقيات المناخ العالمية مثل اتفاق باريس.

- **التوسع في المناطق الريفية**

تتجه البرامج العالمية إلى دعم تطبيق تكنولوجيا الزراعة الذكية في المناطق الريفية النائية التي تعاني من الفقر وسوء التغذية. تركز هذه البرامج على توفير التقنيات الحديثة للمزارعين في المناطق التي يصعب فيها الوصول إلى التكنولوجيا التقليدية. يساهم هذا التوسع في تحقيق التكافؤ الاجتماعي والاقتصادي بين المدن والمناطق الريفية من خلال تحسين دخل المزارعين الصغار وزيادة الإنتاجية في هذه المناطق.

أيضاً، تساهم هذه التقنيات في تحسين الأمن الغذائي من خلال زيادة توفر الغذاء المحلي وتقليل الاعتماد على الاستيراد.

تتسارع اتجاهات الاستثمار في الزراعة الذكية على مستوى العالم، حيث تظهر هذه الاستثمارات كحلول مبتكرة لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية التي يعاني منها القطاع الزراعي العالمي. يساهم الاستثمار في البنية التحتية الرقمية، الابتكار التكنولوجي، و الاستدامة في تعزيز قدرة الزراعة على مواجهة التحديات المستقبلية وتحقيق الأمن الغذائي العالمي. في هذا السياق، تبرز أهمية الشراكات بين القطاعين العام والخاص والمؤسسات الدولية، لتسريع التحول الرقمي في الزراعة الذكية.

7. الشراكات الدولية وأثرها على الأمن الغذائي

تلعب الشراكات الدولية دوراً مهماً في تعزيز الاستثمارات الزراعية الذكية وتحقيق الأمن الغذائي العالمي، من خلال التعاون بين الدول، المنظمات الدولية، والقطاع الخاص لتبادل المعرفة، التمويل، والتقنيات المتقدمة التي تدعم التحول الرقمي في القطاع الزراعي. هذه الشراكات تسهم بشكل فعال في مواجهة التحديات التي يواجهها الأمن الغذائي العالمي، مثل التغيرات المناخية، النمو السكاني، وضغوط الموارد الطبيعية المحدودة. إليك أبرز أشكال هذه الشراكات:

- **الشراكات بين الدول والمنظمات الدولية**

تعد الشراكات بين الدول والمنظمات الدولية أحد الركائز الأساسية في تعزيز الاستثمار الزراعي الذكي .تشمل هذه الشراكات التعاون بين منظمات مثل منظمة الأغذية والزراعة(FAO) ، البنك الدولي، و منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية (OECD)لدعم مشاريع الزراعة الذكية في الدول النامية .على سبيل المثال، تعمل هذه المنظمات على توفير الدعم المالي، التدريب الفني، و التقنيات المتقدمة للمزارعين في هذه الدول، مما يسهم في تحسين الإنتاجية الزراعية وزيادة إمكانية

الوصول إلى الأسواق .كما تسهم هذه الشراكات في نقل المعرفة والتقنيات الحديثة إلى الدول التي تعاني من نقص في البنية التحتية والتكنولوجيا المتقدمة.

- **التعاون بين القطاعين العام والخاص**

إن التعاون بين القطاعين العام والخاص يعد من أهم العوامل المساعدة في تطوير حلول زراعية مبتكرة وقابلة للتوسع. يتمكن القطاع الحكومي من تقديم الدعم القانوني، التنظيمي، و المالي، بينما يسهم القطاع الخاص في توفير التقنيات المتطورة، الخبرات التخصصية، و التمويل .من خلال هذا التعاون، يتمكن البلدان من تطوير وتنفيذ برامج مبتكرة مثل أنظمة الري الذكية، تحليل البيانات الزراعية، التنبؤ المناخي، بالإضافة إلى إدارة سلاسل الإمداد الزراعي بشكل أكثر كفاءة. على سبيل المثال، تساهم الشركات التكنولوجية في تطوير الأنظمة الذكية التي تساعد المزارعين في اتخاذ قرارات دقيقة بشأن ممارسات الزراعة والحد من الضياع الغذائي.

- **الشراكات البحثية**

الشراكات البحثية بين الجامعات و مراكز البحوث العالمية تلعب دوراً مهماً في تطوير تقنيات جديدة ودعم الابتكار في الزراعة الذكية. من خلال التعاون بين المؤسسات الأكاديمية و المزارعين، يتم تطوير حلول قابلة للتطبيق في الميدان الزراعي وتدريب الكوادر الزراعية على أحدث التقنيات الزراعية .على سبيل المثال، يساهم البحث في الاستشعار عن بعد و الزراعة الدقيقة في تحسين كفاءة الزراعة، وتوجيه المزارعين إلى الأساليب الأكثر استدامة لإنتاج المحاصيل. هذه الشراكات تتيح تبادل المعارف التقنية بين الدول المتقدمة و الدول النامية وتساهم في تحسين القدرات المحلية على مواجهة تحديات الأمن الغذائي.

- **المبادرات الإقليمية**

تعتبر المبادرات الإقليمية أحد الأساليب الفعّالة في تعزيز الزراعة الذكية في المناطق التي تواجه تحديات كبيرة في الأمن الغذائي. على سبيل المثال، تعد مبادرة

"الأفريقانية الخضراء "أحد المشاريع الرائدة التي تهدف إلى تعزيز استخدام التكنولوجيا الحديثة في الزراعة، وزيادة إنتاج الغذاء في القارة الأفريقية .من خلال هذه المبادرة، يتم دعم المزارعين الأفارقة بالتقنيات الحديثة مثل الأنظمة الذكية لتحسين الإنتاج الزراعي وتطوير سلاسل القيمة الغذائية في المناطق الريفية. كما توفر هذه المبادرات فرصاً للمشاركة المجتمعية وتمكين الفئات الضعيفة من الوصول إلى التقنيات الحديثة.

أثر الشراكات الدولية على الأمن الغذائي:

يتجلى أثر الشراكات الدولية في عدة جوانب مهمة لتحقيق الأمن الغذائي العالمي:

- **تعزيز القدرات المحلية**: من خلال برامج الدعم التقني والتدريبي، يتم رفع قدرة المزارعين على استخدام التقنيات الذكية بشكل فعال.
- **زيادة الاستثمار**: تسهم هذه الشراكات في جذب الاستثمارات في القطاع الزراعي، مما يسهم في تحقيق نمو اقتصادي مستدام.
- **تحسين نظم الإنتاج الغذائي**: عبر تبني التقنيات الحديثة، يمكن تحسين كفاءة الإنتاج الغذائي وتقليل الفاقد، مما يسهم في تحقيق الأمن الغذائي.

تساعد هذه الشراكات في خلق شراكات مستدامة على المستوى العالمي، مما يساهم في تعزيز القدرة الإنتاجية للدول النامية وتحقيق استدامة أكبر في توفير الغذاء للجميع.

8. الخاتمة

يُعد الأمن الغذائي العالمي من أبرز التحديات التي تواجه البشرية في القرن الحادي والعشرين، خاصةً في ظل الظروف المتغيرة التي يشهدها العالم مثل النمو السكاني المتسارع والتغيرات المناخية وضغوط الموارد الطبيعية المحدودة. في هذا السياق، تبرز الزراعة الذكية كأداة استراتيجية حيوية تساهم بشكل كبير في تحقيق أمن غذائي

مستدام، حيث تعتمد على التكنولوجيا الرقمية والبيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي لتحسين الإنتاجية وكفاءة الموارد والقدرة على التكيف مع المتغيرات البيئية.

لقد أثبتت الزراعة الذكية فعاليتها في دعم المجتمعات الريفية وتعزيز الإنتاجية الزراعية وتقليل الهدر الغذائي. هذه التحسينات لا تقتصر على زيادة الإنتاج فحسب، بل تسهم بشكل مباشر في تقليل معدلات الجوع والفقر، وتحسين ظروف الحياة للمزارعين في المناطق التي تعاني من نقص في الموارد. وفيما يتعلق بالاتجاهات العالمية في الاستثمار الزراعي الذكي، فقد شهدنا زيادة واضحة في التمويل والابتكار، وهي مدفوعة بشراكات دولية متينة تجمع بين الحكومات والقطاع الخاص والمؤسسات البحثية.

رغم هذه النجاحات، لا تزال هناك تحديات متعددة يجب معالجتها بشكل فعال. من أبرز هذه التحديات الفجوة التكنولوجية بين الدول المتقدمة والدول النامية، البنية التحتية غير الكافية في بعض المناطق الريفية، والحاجة إلى سياسات داعمة وشاملة تضمن استفادة الجميع من مزايا الزراعة الذكية. تُعتبر تعزيز التعاون الدولي وتبني سياسات زراعية ذكية وتوفير التمويل المستدام، مفاتيح ضرورية لتوسيع نطاق تأثير الزراعة الذكية وضمان أمن غذائي عالمي عادل وشامل.

في الختام، الزراعة الذكية تمثل الحلول المستقبلية التي يمكن أن تساهم في تحقيق الاستدامة الغذائية العالمية، مع ضرورة دعمها من خلال استراتيجيات تنموية شاملة تتعامل مع التحديات الراهنة، وتعزز من قدرة المجتمعات المحلية على المساهمة الفاعلة في الأمن الغذائي العالمي.

9. المراجع

عوا، شاجي. 2024 . "الزراعة الذكية".. كيف تستخدم التكنولوجيا الحديثة لتحسين الإنتاجية؟ أخبار إرم. https://www.eremnews.com/sciences-technology/bho3uy9

AgFunder. (2022). *Agritech funding report 2022*. Retrieved from https://agfunder.com/reports/2022-agritech-funding-report

FAO. (2022). *The state of food security and nutrition in the world 2022*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IPCC. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Li, X., Zhang, Q., & Wang, Y. (2020). Smart irrigation technology for improving water use efficiency in agriculture. *Agricultural Water Management, 243*, 106430.

Mwangi, J., Ochieng, A., & Kimani, S. (2022). Impact of smart irrigation and digital advisory services on smallholder maize farmers in Kenya. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development, 14*(5), 181-190.

Smith, J., & Jones, A. (2021). Climate-smart agriculture and adaptive capacity: A review of predictive modeling approaches. *Environmental Modelling & Software, 139*, 104963.

World Bank. (2023). *Investing in digital agriculture for sustainable development*. Washington, DC: World Bank Group.

الفصل 39 - نماذج ناجحة للاستثمار في الزراعة الذكية

المحتويات

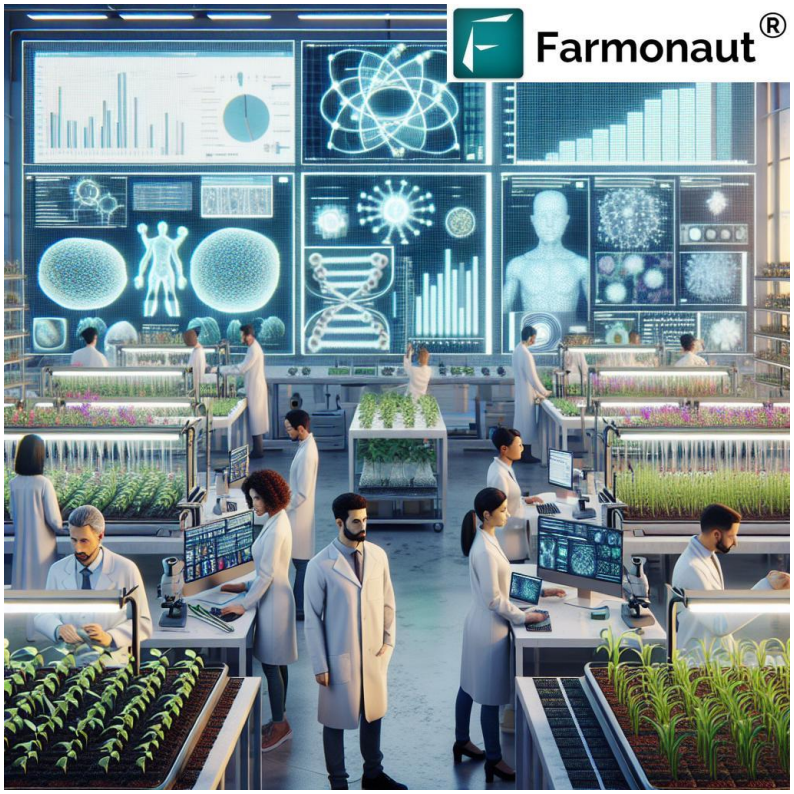
1. المقدمة
2. استثمارات في الزراعة الدقيقة والروبوتات في دول متقدمة
3. النماذج الاستثمارية الناجحة من الدول النامية
4. دور التكنولوجيا منخفضة التكلفة
5. دراسات حالة لمشاريع مبتكرة
6. التحديات التي واجهت هذه النماذج وكيف تم التعامل معها
7. الدروس المستفادة والتوصيات للمستثمرين
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

يشكل الاستثمار في الزراعة الذكية أحد الركائز الأساسية لتحسين كفاءة القطاع الزراعي، وتعزيز قدرته على تحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة. في ظل التحديات المتزايدة الناتجة عن تغير المناخ ونقص المياه والطلب المتزايد على الغذاء، أصبح من الضروري تبني تقنيات الزراعة الذكية التي تعتمد على الابتكار والتكنولوجيا المتقدمة. تتضمن الزراعة الذكية استخدام تقنيات متطورة مثل أنظمة الري الذكية وتحليل البيانات الكبيرة واستخدام الروبوتات، وذلك بهدف زيادة الإنتاجية الزراعية مع الحد من التأثيرات البيئية السلبية.

تختلف نماذج الاستثمار في الزراعة الذكية من دولة لأخرى، حيث تتفاوت بحسب البيئة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. ففي الدول المتقدمة، تركز الاستثمارات على التقنيات المتطورة مثل الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية، بينما في الدول النامية، تتوجه الاستثمارات إلى التقنيات منخفضة التكلفة التي تتناسب مع الظروف المحلية،

مثل استخدام التطبيقات المحمولة لتحسين الممارسات الزراعية أو تحسين كفاءة استخدام المياه من خلال تقنيات الري الحديثة.



الابتكار التكنولوجي في الزراعة ومساهمة الروبوتات الذكية في تحقيق الزراعة المستدامة (عن: فارمونوت Farmonaut).

يتزامن هذا التحول مع الحاجة العالمية إلى الابتكار في القطاع الزراعي لمواجهة التحديات البيئية والصحية المستجدة. وفي هذا الإطار، تبرز أهمية استكشاف حلول تكنولوجية جديدة تدعم المزارعين في تحسين إنتاجهم وتقليل الأثر البيئي. يتطلب هذا التوجه تضافر الجهود بين الحكومات والقطاع الخاص والمؤسسات البحثية، لضمان الوصول إلى تقنيات فعّالة وقابلة للتنفيذ.

يتناول هذا الفصل استعراض نماذج استثمارية ناجحة تم تنفيذها في سياقات متنوعة، مع تسليط الضوء على دور التكنولوجيا منخفضة التكلفة. كما سيتم عرض دراسات حالة توضح كيف يمكن دمج التقنيات الحديثة مع الممارسات التقليدية لتحقيق نتائج ملموسة. علاوة على ذلك، سيتم مناقشة التحديات التي واجهت هذه المبادرات وكيف تم التعامل معها، ما يوفر دروساً ثمينة للمستثمرين في القطاع الزراعي.

2. استثمارات في الزراعة الدقيقة والروبوتات في دول متقدمة

تعد الزراعة الدقيقة واستخدام الروبوتات الزراعية من أبرز مجالات الاستثمار في الدول المتقدمة، حيث تركز هذه الاستثمارات على تعزيز الإنتاجية الزراعية، تقليل الفاقد، وتحقيق الاستدامة البيئية. أحد أبرز الأمثلة على ذلك هو ما شهدته ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تعاونت شركة "John Deere" مع عدة مراكز بحثية لتطوير روبوتات ذكية مزودة بحساسات متطورة وأنظمة تحديد المواقع (GPS) (Smith *et al*., 2022).

تعتمد هذه الروبوتات على تقنيات متقدمة تتيح تطبيق الأسمدة والمبيدات بدقة عالية على المحاصيل، مما أسفر عن زيادة إنتاجية المحاصيل بنسبة تصل إلى 20%، وتخفيض تكاليف الإنتاج بنسبة 15%. علاوة على ذلك، تم دمج تقنيات تحليل البيانات الكبيرة (Big Data) والتعلم الآلي لتحديد الأوقات المثلى للري والكميات المناسبة، مما أسهم في تقليل استهلاك المياه بنسبة 30%.

يعد هذا النموذج الاستثماري مثالاً متميزاً على كيفية دمج التكنولوجيا المتقدمة لدعم الزراعة المستدامة وتحقيق فوائد اقتصادية وبيئية في آن واحد، مما يجعله خياراً استراتيجياً للدول المتقدمة التي تسعى لتعزيز أمنها الغذائي وتحسين كفاءة قطاعها الزراعي.

3. النماذج الاستثمارية الناجحة من الدول النامية

تختلف النماذج الاستثمارية في الزراعة الذكية في الدول النامية عن تلك الموجودة في الدول المتقدمة، حيث تركز غالباً على تبني تقنيات منخفضة التكلفة تتناسب مع الموارد المحدودة والبيئة الاجتماعية والاقتصادية في هذه البلدان. في هذه الدول، غالباً ما تتسم الاستثمارات بتركيزها على حلول تكنولوجية قابلة للتنفيذ بسهولة وبتكلفة معقولة، مما يسهم في تحسين الإنتاجية الزراعية مع تقليل التكاليف وتحقيق فائدة مباشرة للمزارعين.

أحد أبرز الأمثلة على هذا النوع من النماذج هو مشروع "ناكور"، الذي تم تنفيذه في كينيا بالتعاون بين منظمة غير حكومية وعدد من شركات التكنولوجيا الزراعية. في هذا المشروع، تم توفير حساسات ذكية منخفضة التكلفة لقياس رطوبة التربة وجودة المياه، مما ساعد المزارعين المحليين على تحسين مواعيد الري وفقاً لاحتياجات المحاصيل الفعلية(Kamau & Mwangi, 2023). وبفضل هذه التقنية، تمكّن المزارعون من تقليل استهلاك المياه بنسبة ملحوظة، مما أسهم في تقليل التكاليف بشكل كبير وزيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى 25%.

إلى جانب ذلك، تم تدريب المزارعين على استخدام تطبيقات الهواتف الذكية التي تقدم استشارات زراعية مخصصة وفورية، مما جعل من السهل على المزارعين الاستفادة من التوجيهات المستمرة دون الحاجة إلى استثمارات مالية ضخمة. ساعدت هذه التطبيقات في تحسين مهارات المزارعين من خلال توفير حلول مباشرة لمشاكلهم الزراعية اليومية، وبالتالي رفعت كفاءتهم الإنتاجية.

يمثل هذا النموذج مثالاً حيّاً على كيفية تكامل الزراعة الذكية مع الظروف المحلية في الدول النامية، حيث يمكن لتقنيات بسيطة ومنخفضة التكلفة أن تُحدث تغييرات إيجابية على أرض الواقع. يعكس هذا المشروع أهمية تبني حلول تكنولوجية قابلة للتوسع ومرنة تتناسب مع الاحتياجات الفعلية للمزارعين المحليين، مما يساهم في رفع مستوى المعيشة وتحقيق الأمن الغذائي. كما أنه يبرز كيف يمكن للتكنولوجيا أن تكون أداة فعالة لتحسين

نوعية الحياة في المجتمعات الزراعية ذات الموارد المحدودة، مع تحقيق تأثير اجتماعي واقتصادي ملحوظ.

4. دور التكنولوجيا منخفضة التكلفة

تُعد التكنولوجيا منخفضة التكلفة عاملاً حاسماً في تعميم تقنيات الزراعة الذكية في البيئات التي تعاني من محدودية الموارد المالية والتقنية. تشمل هذه التكنولوجيا الحساسات البسيطة، تطبيقات الهواتف المحمولة، وأجهزة مراقبة الطقس التي يمكن استخدامها بسهولة دون الحاجة لمعدات معقدة.

مثال تطبيقي:

في بنغلاديش، طور مشروع "Solar Irrigation for All" نظام ري ذكي يعمل بالطاقة الشمسية بتكلفة منخفضة، يعتمد على مضخات مياه صغيرة تتحكم فيها حساسات رطوبة التربة، مما ساعد في تقليل استهلاك الطاقة وزيادة الإنتاج الزراعي (Li *et al.*, 2020). وكذلك في نيجيريا، استخدمت بعض المنظمات غير الحكومية أجهزة استشعار رخيصة ومتصلة بتقنية الـ Bluetooth لمساعدة المزارعين على مراقبة صحة النباتات بفعالية وبتكلفة منخفضة (Adebayo *et al.*, 2023).

- **تعريف التكنولوجيا منخفضة التكلفة وأهميتها**

تشير التكنولوجيا منخفضة التكلفة إلى الابتكارات التي تتميز بالبساطة والفعالية، حيث تعتمد على مكونات محلية أو مواد يمكن الحصول عليها بسهولة، مع تقليل الاعتماد على الأجهزة المكلفة أو البنية التحتية المعقدة. تشمل هذه التكنولوجيا مجموعة واسعة من الحلول مثل أجهزة الاستشعار البسيطة، تطبيقات الهواتف الذكية التي لا تتطلب موارد كبيرة، نظم الري الموفر للمياه، وأنظمة المراقبة البيئية التي تستخدم تقنيات متاحة بأسعار معقولة. تركز هذه الحلول على جعل التكنولوجيا في متناول الجميع، مما يعزز من قدرتها على التوسع في المناطق النامية.

تكمن أهمية هذه التكنولوجيا في عدة جوانب رئيسية:

- **سهولة التبني** :بما أن هذه التكنولوجيا غالباً ما تكون بسيطة وغير معقدة، يمكن للمزارعين استخدامها بسهولة دون الحاجة لتدريب مكثف أو خبرات تقنية متقدمة. تعتمد هذه الحلول على التقنيات التي يمكن فهمها وتنفيذها بسرعة، ما يسهل تبنيها في المجتمعات الريفية والمناطق التي تفتقر إلى البنية التحتية المتقدمة.
- **تقليل التكاليف التشغيلية** :تسهم هذه الحلول بشكل كبير في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية مثل المياه والأسمدة، مما يساعد على تقليص تكاليف الإنتاج. على سبيل المثال، تساعد نظم الري الذكية في استخدام كميات أقل من المياه، مما يقلل من التكاليف المرتبطة بالإمدادات المائية ويحسن استدامة الزراعة.
- **تحسين الإنتاجية والاستدامة** :على الرغم من بساطتها، فإن التكنولوجيا منخفضة التكلفة تقدم تحسينات ملحوظة في جودة الإنتاج الزراعي وكفاءته. بفضل الأنظمة الذكية المدمجة فيها، يمكن للمزارعين تحسين إدارة محاصيلهم وزيادة إنتاجية الأرض بشكل مستدام دون الحاجة للاستثمار في تقنيات معقدة أو غالية الثمن.
- **زيادة الوصول للتقنيات الحديثة** :توفر هذه التكنولوجيا خياراً عملياً للبلدان والمناطق التي لا تملك القدرة المالية أو التقنية للاستفادة من الحلول المتقدمة. وبالتالي، تساهم في سد الفجوة التكنولوجية بين الدول المتقدمة والنامية، وتتيح للمزارعين في المناطق النامية الوصول إلى أدوات متقدمة لتحسين إنتاجهم وزيادة أرباحهم.

إن تزايد استخدام هذه التكنولوجيا في العديد من البلدان النامية يفتح الأفق أمام فرص جديدة للزراعة المستدامة، ويعزز من قدرة المجتمعات الزراعية على التكيف مع التحديات البيئية والاقتصادية التي تواجهها.

- **أمثلة على التكنولوجيا منخفضة التكلفة في الزراعة الذكية**

توجد العديد من الابتكارات التكنولوجية منخفضة التكلفة التي تمثل حلولاً فعّالة للمزارعين في مختلف أنحاء العالم، خصوصاً في المناطق النامية. وهذه الأمثلة تسلط الضوء على كيفية استخدام تقنيات بسيطة، لكنها فعّالة، لتحسين الإنتاجية الزراعية وتحقيق الاستدامة:

- **أجهزة استشعار التربة المحمولة**: تعد أجهزة الاستشعار المحمولة من أبرز الحلول التكنولوجية منخفضة التكلفة التي تستخدم في الزراعة الذكية. هذه الأجهزة تتيح للمزارعين قياس رطوبة التربة ودرجة الحموضة بشكل دقيق. يساعد ذلك في تحديد أفضل وقت للري بناءً على احتياجات المحصول الفعلية، وبالتالي تقليل هدر المياه وتعزيز استدامة الموارد المائية (World Bank, 2021). مثل هذه الأجهزة بسيطة وسهلة الاستخدام، مما يجعلها مثالية للمزارعين الذين يفتقرون إلى البنية التحتية المعقدة.
- **تطبيقات الهواتف الذكية**: أصبحت الهواتف الذكية أدوات قوية في مجال الزراعة الذكية، خاصةً من خلال التطبيقات التي تقدم حلولاً متنوعة. على سبيل المثال، هناك تطبيقات للتنبؤ بالطقس تساعد المزارعين في اتخاذ قرارات مبنية على البيانات المناخية المتجددة. بالإضافة إلى ذلك، توجد تطبيقات أخرى تستخدم الذكاء الاصطناعي لتقديم توصيات زراعية مخصصة بناءً على البيانات المدخلة من قبل المستخدم. هذه التطبيقات لا تتطلب أجهزة متخصصة بل يمكن الوصول إليها عبر الهواتف الذكية التي أصبحت شائعة الاستخدام، ما يجعلها متاحة لمجموعة واسعة من المزارعين (Digital Green, 2023).
- **أنظمة الري بالتنقيط منخفضة التكلفة**: تمثل أنظمة الري بالتنقيط منخفضة التكلفة واحدة من الحلول الفعّالة في الزراعة الذكية. تعتمد هذه الأنظمة على تصاميم محلية باستخدام مواد متاحة بسهولة مثل أنابيب البلاستيك البسيطة، وهي تعمل

على توفير المياه بشكل دقيق وفعّال. تساعد هذه الأنظمة على تقليل الفاقد من المياه وزيادة الكفاءة في استخدام الموارد المائية، خاصة في المناطق التي تعاني من نقص المياه (Patel *et al*., 2022). كما أن تصميمها البسيط يجعلها في متناول المزارعين الذين يواجهون تحديات اقتصادية.

- **الأدوات الزراعية اليدوية الذكية**: هناك أيضاً العديد من الأدوات الزراعية اليدوية التي تم تحسينها لتصبح "ذكية"، مثل مقاييس النمو النباتي اليدوية وأجهزة قياس حرارة النبات. هذه الأدوات تتيح للمزارعين مراقبة صحة المحاصيل بشكل مباشر وبتكلفة منخفضة. باستخدام هذه الأدوات، يمكن للمزارعين تحديد مشكلات صحية محتملة في المحاصيل قبل أن تتفاقم، مما يساعدهم على اتخاذ تدابير وقائية مبكرة وبالتالي تحسين جودة المحصول.

تتمثل قيمة هذه الأمثلة في كونها تتيح للمزارعين الوصول إلى حلول تكنولوجية مبتكرة وبأسعار معقولة، مما يعزز من قدرتهم على تحسين ممارساتهم الزراعية دون الحاجة لاستثمارات كبيرة. كما تسهم هذه التقنيات في تعزيز الإنتاجية الزراعية بشكل مستدام مع تقليل التأثيرات البيئية السلبية.

- **أثر التكنولوجيا منخفضة التكلفة على الفلاحين والمجتمعات الريفية**

لقد أثبتت التكنولوجيا منخفضة التكلفة فعاليتها في رفع مستوى معيشة المزارعين من خلال عدة جوانب رئيسية، تشمل:

- **زيادة الإنتاج وتحسين جودة المحاصيل**: توفر التكنولوجيا منخفضة التكلفة للمزارعين أدوات تمكنهم من مراقبة محاصيلهم بشكل دقيق وتوزيع الموارد بشكل أكثر كفاءة. فبفضل أجهزة الاستشعار وتقنيات الري الذكية، يتمكن المزارعون من تحسين مواعيد الري وتوزيع الأسمدة بشكل يتناسب مع احتياجات المحاصيل، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المحاصيل. هذا يساهم في رفع الدخل وتحقيق الأمن الغذائي للمجتمعات المحلية.

- **تمكين المزارعين من اتخاذ قرارات زراعية مدروسة**: من خلال جمع البيانات الواقعية وتحليلها باستخدام تقنيات بسيطة مثل التطبيقات المحمولة وأجهزة الاستشعار، يمكن للمزارعين اتخاذ قرارات زراعية أكثر دقة وفعالية. تساعد هذه البيانات في التنبؤ بالمخاطر المحتملة، مثل نقص المياه أو ظهور الأمراض الزراعية، مما يقلل من الخسائر المحتملة. هذا النوع من المعرفة يعزز القدرة على تحقيق عوائد اقتصادية أعلى ويقلل من المخاطر المرتبطة بالإنتاج الزراعي.
- **تقليل الفاقد والهدر**: من خلال تقنيات مثل التنبؤ بالري المثالي وإدارة التغذية النباتية، يمكن للمزارعين تقليل الفاقد من المياه والأسمدة. هذا لا يساهم فقط في تقليل التكاليف، بل يعزز أيضاً الاستدامة البيئية من خلال تقليل استهلاك الموارد الطبيعية. كما تساعد هذه الحلول في الحد من التأثيرات السلبية على البيئة مثل تلوث المياه والخصوبة.
- **دعم الاعتماد على الذات**: تسهم التكنولوجيا منخفضة التكلفة في تمكين المجتمعات الريفية من تعزيز استقلاليتها الاقتصادية. من خلال توفير أدوات وتقنيات مبتكرة، يصبح المزارعون أقل اعتماداً على المساعدات الخارجية أو الشركات الكبرى التي قد تفرض أسعاراً مرتفعة أو شروطاً غير ملائمة. هذا يساهم في تعزيز مرونة هذه المجتمعات وقدرتها على تلبية احتياجاتها المحلية من الغذاء والإنتاج.

من خلال هذه الفوائد، أصبحت التكنولوجيا منخفضة التكلفة عنصراً أساسياً في تحسين جودة الحياة للمزارعين، حيث تسهم في زيادة الإنتاجية، تعزيز الاستدامة البيئية، وتقوية الاعتماد الذاتي للمجتمعات الريفية.

- **التحديات في تطبيق التكنولوجيا منخفضة التكلفة**

رغم المزايا الكبيرة التي تقدمها التكنولوجيا منخفضة التكلفة، إلا أن هناك بعض التحديات التي قد تواجه تطبيقها على نطاق واسع في الزراعة الذكية. تشمل هذه التحديات ما يلي:

- **نقص الوعي والمعرفة بطرق الاستخدام الأمثل**: العديد من المزارعين قد يواجهون صعوبة في فهم كيفية استخدام التكنولوجيا بشكل فعال في ممارساتهم الزراعية اليومية. على الرغم من أن هذه التقنيات تعتبر بسيطة، إلا أن عدم وجود برامج تدريب مخصصة قد يؤدي إلى استخدامها بشكل غير فعال أو غير مناسب. لهذا السبب، يعد توفير برامج تدريب مستمرة وفعّالة للمزارعين أمراً ضرورياً لتمكينهم من الاستفادة الكاملة من هذه التكنولوجيا.
- **الافتقار إلى الدعم المالي**: على الرغم من أن هذه التكنولوجيا تعد منخفضة التكلفة مقارنة بالحلول المتقدمة، فإن العديد من المزارعين في المناطق النامية قد يواجهون صعوبة في الحصول على التمويل اللازم لشراء الأدوات أو تنفيذ الحلول التكنولوجية. في كثير من الأحيان، يُعتبر التمويل أحد أكبر الحواجز التي تقف في وجه تبني هذه التقنيات، خاصة في المناطق التي تعاني من ضعف القدرة الاقتصادية. يحتاج المزارعون إلى دعم مالي ميسر، سواء من خلال القروض الصغيرة أو الشراكات مع المنظمات غير الحكومية أو الحكومية.
- **التكامل مع أنظمة أكبر**: قد تواجه التقنيات منخفضة التكلفة صعوبة في الاندماج مع الأنظمة التكنولوجية المتقدمة الأخرى التي تستخدمها بعض المزارع الكبرى أو المؤسسات الزراعية. يمكن أن تخلق هذه التحديات في التكامل صعوبة في تشكيل نظام زراعي ذكي متكامل يجمع بين الأدوات البسيطة والمتقدمة بشكل سلس. لتحقيق أقصى استفادة من هذه التقنيات، يجب أن تكون هناك حلول

تكنولوجية تضمن التكامل بين الأنظمة المختلفة، مما يسهل تبنيها على نطاق واسع.

- **ضمان جودة وأداء الأجهزة منخفضة التكلفة**: قد تكون الأجهزة منخفضة التكلفة أقل موثوقية مقارنة بتلك التي تستخدم تقنيات متقدمة، مما يثير قلق المزارعين حول جودتها وأدائها على المدى الطويل. على الرغم من انخفاض التكلفة، إلا أن الحاجة لضمان استمرارية الأداء وجودة الأجهزة أصبحت أكثر إلحاحاً. لضمان فعالية هذه الحلول على المدى الطويل، يجب أن يتم تطوير معايير جودة محلية تناسب بيئات الزراعة المحلية، مع مراعاة التحسين المستمر للأجهزة المستخدمة.

هذه التحديات تشكل عقبات في سبيل تطبيق التكنولوجيا منخفضة التكلفة بشكل فعال. ومع ذلك، إذا تم التعامل معها بشكل جاد من خلال تقديم التدريب والدعم المالي وضمان تكامل الحلول، فإن هذه التقنيات يمكن أن تساهم بشكل كبير في تحسين الإنتاجية الزراعية وتحقيق الاستدامة.

- **مستقبل التكنولوجيا منخفضة التكلفة في الزراعة الذكية**

مع التقدم المستمر في تكنولوجيا الاتصالات والذكاء الاصطناعي، من المتوقع أن تشهد حلول الزراعة منخفضة التكلفة تطوراً كبيراً في السنوات القادمة. ستصبح هذه الحلول أكثر ذكاءً وكفاءة بفضل التحسينات في تقنيات البيانات، التعلم الآلي، وأجهزة الاستشعار. على سبيل المثال، ستتمكن أجهزة الاستشعار من قياس عوامل متعددة بشكل أكثر دقة مثل مستوى الرطوبة في التربة أو الظروف المناخية المحلية، مما يسهم في تحسين التنبؤات واتخاذ القرارات الزراعية.

من المتوقع أن تصبح هذه التقنيات أكثر توافراً وبأسعار معقولة، مما يسهم في تعزيز الوصول إليها للمزارعين في جميع أنحاء العالم، لا سيما في المناطق النامية التي تحتاج بشدة إلى حلول مبتكرة لتحسين الإنتاجية الزراعية. كما أن التوسع في استخدام

الذكاء الاصطناعي سيتيح للمزارعين تحليل البيانات بشكل أكثر دقة، مما سيعزز من كفاءة العمليات الزراعية، من الري إلى إدارة المحاصيل والتنبؤ بالمشاكل المحتملة.

سوف تلعب هذه التكنولوجيا دوراً محورياً في دعم الزراعة المستدامة، حيث ستسهم في تقليل استهلاك الموارد مثل المياه والطاقة، وتحقيق أقصى استفادة من الأراضي الزراعية المحدودة. كما ستساعد في تقليل الأثر البيئي المترتب على الزراعة التقليدية، مثل تلوث المياه أو فقدان التربة.

في ظل التحديات الاقتصادية والبيئية المتزايدة، من المتوقع أن يصبح الاعتماد على التكنولوجيا منخفضة التكلفة الخيار الأمثل لتحقيق الأمن الغذائي في العديد من الدول، خاصة في ظل ارتفاع أسعار الموارد الطبيعية والتغيرات المناخية. إن تمكين المزارعين بهذه الأدوات سيسهم بشكل كبير في تحسين قدرة المجتمعات الزراعية على التكيف مع التغيرات البيئية وتحقيق استدامة الإنتاج الغذائي.

- **دراسة حالات**

دراسة حالة 1: استخدام أجهزة استشعار التربة منخفضة التكلفة في الهند

في ولاية ماهاراشترا الهندية، اعتمدت مجموعة من المزارعين مشروعاً لتبني أجهزة استشعار التربة منخفضة التكلفة التي تعتمد على مكونات إلكترونية بسيطة ومتاحة محلياً. تهدف هذه الأجهزة إلى قياس معايير حيوية مثل رطوبة التربة ودرجة الحموضة، مع القدرة على إرسال البيانات عبر شبكات الهاتف المحمول إلى تطبيقات على الهواتف الذكية. هذا الابتكار البسيط ساعد المزارعين على إدارة الموارد بشكل أكثر فعالية، مما ساهم في تحسين الإنتاجية الزراعية وتقليل التكاليف (Patel *et al.*, 2022).

النتائج:

- **خفض استهلاك المياه**: انخفض استهلاك المياه للري بنسبة تصل إلى 30% مقارنة بالطرق التقليدية. بفضل البيانات الدقيقة التي تقدمها أجهزة الاستشعار، أصبح المزارعون قادرين على ري محاصيلهم فقط عندما تحتاج التربة لذلك، مما أدى إلى توفير كبير في المياه.
- **تحسين جودة المحاصيل**: تحسنت جودة المحاصيل بشكل ملحوظ نتيجة للتوازن الأفضل في تزويد التربة بالعناصر الغذائية والماء. فعند معرفة متطلبات التربة بدقة، تمكن المزارعون من استخدام المياه والأسمدة بشكل أكثر كفاءة، مما ساعد في تحسين صحة المحاصيل وزيادة إنتاجيتها.
- **زيادة الدخل**: زاد دخل المزارعين نتيجة لتحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف التشغيلية. بفضل استخدام هذه التكنولوجيا منخفضة التكلفة، تم تقليص التكاليف المتعلقة بالمياه والأسمدة، مما جعل المزارعين قادرين على تحقيق أرباح أعلى من نفس المساحة الزراعية.
- **تكلفة منخفضة**: تم تنفيذ المشروع بتكلفة منخفضة جداً مقارنة بحلول الزراعة الدقيقة المتقدمة. بفضل استخدام مكونات محلية وغير معقدة، كان المشروع في متناول المزارعين الذين لا يمتلكون ميزانية كبيرة. هذا جعل الحلول التكنولوجية في متناول شريحة واسعة من المزارعين، مما يعزز استدامة التطبيق في مناطق متعددة.

هذا النموذج يعتبر مثالاً ناجحاً على كيفية استخدام تقنيات منخفضة التكلفة لتحسين إنتاجية الزراعة، ويظهر أهمية التكنولوجيا في تمكين المزارعين في الدول النامية من تحقيق فوائد اقتصادية وبيئية ملموسة.

دراسة حالة 2: تطبيق نظام ري بالتنقيط منخفض التكلفة في كينيا

في منطقة «ترانز نزويا» بكينيا، تم إدخال نظام ري بالتنقيط منخفض التكلفة باستخدام أنابيب بلاستيكية بسيطة ومضخات مياه تعمل بالطاقة الشمسية. تم تصميم النظام بحيث يسمح للمزارعين بتجميع المواد محلياً وتركيبه بسهولة، مع توفير إرشادات تقنية مبسطة للمساعدة في تنفيذه. هذا النظام يهدف إلى توفير المياه وزيادة الإنتاجية الزراعية في منطقة تعاني من نقص المياه وموارد الري المحدودة. كما تم تصميمه ليكون حلاً مناسباً للمزارعين الصغار الذين قد يواجهون تحديات في الوصول إلى تقنيات الري المتقدمة التي تتطلب استثمارات مالية ضخمة أو خبرات فنية عالية.

النتائج:

- **توفير المياه**: تم تحقيق توفير يصل إلى 40% في استهلاك المياه مقارنة بالري التقليدي. يعتمد النظام على توزيع المياه بشكل دقيق وموجه إلى الجذور فقط، مما يقلل من تبديد المياه ويحسن كفاءتها (World Bank, 2021).
- **زيادة غلة المحاصيل**: ساعد النظام في زيادة غلة المحاصيل بنسبة 25% خلال الموسم الأول. بفضل توفير المياه بشكل مستمر ومتوازن، تحسنت صحة المحاصيل، مما أدى إلى زيادة الإنتاجية وتحقيق عوائد أفضل للمزارعين.
- **تمكين المزارعين الصغار**: من خلال هذا النظام، تم تمكين المزارعين الصغار من الاعتماد على تقنية متقدمة دون الحاجة إلى استثمارات مالية كبيرة أو خبرات فنية عالية. هذا جعل الزراعة أكثر ربحية وأسهم في تحسين مستوى المعيشة في المجتمعات الريفية (World Bank, 2021).
- **تحسين الأمن الغذائي**: ساهم المشروع في زيادة المساحات المزروعة وتعزيز الأمن الغذائي المحلي من خلال تحسين كفاءة الري ورفع مستويات الإنتاجية. بفضل النظام، تمكن المزارعون من زراعة محاصيل إضافية، مما ساعد في تلبية احتياجات السوق المحلي وتقليل الاعتماد على الواردات الغذائية. هذا التحسن

في الإنتاج لم يقتصر فقط على الزراعة الفردية، بل كان له تأثير إيجابي على الاقتصاد المحلي، حيث أسهم في تعزيز الاستدامة الزراعية وتحقيق مكاسب اقتصادية للمجتمع بشكل عام.

5. دراسات حالة لمشاريع مبتكرة

- **دراسة حالة 1: مشروع "AgriSense" في الهند**

يُعد مشروع "AgriSense" نموذجاً مبتكراً في الهند يجمع بين الحساسات الذكية وتقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات التربة والمحاصيل. يعتمد المشروع على مجموعة من الحساسات المتقدمة التي تقيس رطوبة التربة، درجة الحموضة، مستوى المغذيات، وغيرها من العوامل البيئية، ثم يتم إرسال هذه البيانات إلى منصة إلكترونية متكاملة تقوم بتحليلها وتقديم توصيات زراعية مخصصة للمزارعين في الوقت الحقيقي. هذه التوصيات تشمل نصائح حول مواعيد الري، أفضل الأوقات لزراعة المحاصيل، وأيضاً التوجيهات بشأن استخدام الأسمدة والمبيدات (Patel *et al.*, 2022).

نجح المشروع في تحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، خاصة المياه والأسمدة، وزيادة إنتاجية الأرز والقمح بنسبة 18% خلال ثلاث سنوات من التطبيق. حيث ساهمت الحساسات الذكية في تقديم بيانات دقيقة حول حالة التربة والنباتات، مما سمح للمزارعين باتخاذ قرارات أكثر دقة بشأن الري والتسميد، وبالتالي تقليل الهدر وتحسين إنتاجية المحاصيل. كما ساعد هذا النظام المزارعين في تقليل الاعتماد على المبيدات الكيميائية بنسبة 25%. ومن خلال تقليل استخدام المواد الكيميائية، استطاع المشروع تعزيز جودة المحاصيل وزيادة أمنها الغذائي، مما ساهم في تحسين صحة المستهلكين والحفاظ على البيئة (Patel *et al.*, 2022).

- **دراسة حالة 2: "SmartFarms" في البرازيل**

في البرازيل، أطلقت شركة "SmartFarms" مبادرة لدمج الروبوتات الزراعية مع نظم المعلومات الجغرافية لتوفير حلول متكاملة لإدارة مزارع القهوة والبن. تعتمد هذه المبادرة على تقنيات متطورة تجمع بين الروبوتات القادرة على إجراء مهام مثل الزراعة والري والمراقبة، ونظم المعلومات الجغرافية التي تساعد في تحليل البيانات المكانية والبيئية لمزارع القهوة (Silva & Rodrigues, 2023).

تمكنت هذه التكنولوجيا من تحسين إدارة التربة ورصد الأمراض الزراعية مبكراً. باستخدام الروبوتات المزودة بمستشعرات دقيقة، تمكن المزارعون من متابعة صحة المحاصيل بشكل مستمر واكتشاف أي علامات على الأمراض أو الآفات في مراحلها المبكرة. هذا ساعد على اتخاذ الإجراءات الوقائية سريعاً، مما أدى إلى تقليل الخسائر الناتجة عن الأمراض والآفات. بالإضافة إلى ذلك، أسهم المشروع في زيادة الإنتاج بنسبة 22%، حيث تم تحسين استخدام المياه والموارد الأخرى بشكل أكثر كفاءة بفضل التكامل بين الروبوتات و نظم المعلومات الجغرافية.

علاوة على ذلك، وفر المشروع فرص عمل تقنية للمزارعين الشباب، مما دعم التنمية الاقتصادية المحلية وخلق فرص تدريب في مجالات الزراعة الذكية وتكنولوجيا المعلومات. هذه المبادرة ساهمت في تعزيز الاقتصاد المحلي من خلال تحسين الإنتاجية الزراعية وتعزيز القدرة التنافسية لمزارع القهوة البرازيلية في الأسواق العالمية (Silva & Rodrigues, 2023).

- **دراسة حالة 3: الزراعة الذكية باستخدام الطائرات بدون طيار منخفضة التكلفة في فيتنام**

في المناطق الريفية بفيتنام، اعتمد مزارعون على طائرات بدون طيار صغيرة ومنخفضة التكلفة مزودة بكاميرات حرارية وأجهزة استشعار متعددة الأطياف لرصد صحة المحاصيل وتحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخل سريع. تم تطوير هذه

الطائرات محلياً باستخدام قطع متوفرة في الأسواق وببرمجيات مفتوحة المصدر، مما جعلها حلاً تكنولوجياً ميسور التكلفة وملائماً للبيئات الريفية. من خلال هذه التقنية، يمكن للطائرات جمع بيانات دقيقة حول حالة المحاصيل، مما يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن العناية بالمحاصيل ورصد المشاكل الزراعية مثل الآفات والأمراض.

النتائج:

- **تحسين دقة رصد الإصابة بالآفات والأمراض**: حسنت الطائرات بدون طيار من دقة تحديد مناطق الإصابة بالآفات والأمراض، مما أدى إلى تقليل استخدام المبيدات بنسبة 20%. باستخدام الكاميرات الحرارية وأجهزة الاستشعار متعددة الأطياف، تمكنت الطائرات من تقديم صور دقيقة للمناطق المتأثرة، مما ساعد المزارعين في اتخاذ التدابير الوقائية بشكل أسرع وأكثر فعالية (Nguyen & Tran, 2023).
- **توفير الوقت والجهد**: وفرت الطائرات بدون طيار الوقت والجهد مقارنة بالتفتيش اليدوي التقليدي الذي يتطلب وقتاً طويلاً وجهداً بدنياً كبيراً. من خلال جمع البيانات بشكل آلي، تم تسريع عملية مراقبة المحاصيل، مما مكن المزارعين من التركيز على باقي المهام الزراعية.
- **تعزيز القدرة على اتخاذ قرارات سريعة**: ساعدت الطائرات بدون طيار في تعزيز قدرة المزارعين على اتخاذ قرارات سريعة مبنية على بيانات ميدانية موثوقة. من خلال الحصول على تحديثات في الوقت الفعلي عن حالة المحاصيل، تمكن المزارعون من استجابة سريعة للتحديات الزراعية مثل نقص المياه أو انتشار الآفات.
- **تقليل التكاليف المرتبطة بالمراقبة الزراعية**: ساهمت الطائرات بدون طيار في تقليل التكاليف المرتبطة بالمراقبة الزراعية، مما جعل هذه التقنية متاحة لشرائح أوسع من المزارعين. بالنظر إلى أن الطائرات كانت منخفضة التكلفة ومطورة

محلياً، أصبح من السهل تبنيها في المجتمعات الزراعية الصغيرة والمتوسطة (Nguyen & Tran, 2023).

- **دراسة حالة 4: أنظمة التنبؤ بالطقس منخفضة التكلفة في نيجيريا**

في نيجيريا، تم تطوير نظام تنبؤ بالطقس يعتمد على شبكات من محطات أرصاد جوية صغيرة ومنخفضة التكلفة، بالإضافة إلى دمج بيانات الأقمار الصناعية مفتوحة المصدر. يهدف هذا النظام إلى مساعدة المزارعين في التخطيط لمواعيد الزراعة والحصاد بناءً على التنبؤات المناخية المحلية الدقيقة. تم تصميم النظام ليكون سهل الاستخدام عبر تطبيقات الهاتف المحمول بلغات محلية، مما جعل من السهل على المزارعين في المناطق الريفية استخدامه بشكل يومي. من خلال هذه التقنية، يمكن للمزارعين الحصول على بيانات دقيقة حول الظروف المناخية المتوقعة، مثل هطول الأمطار ودرجات الحرارة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مدروسة بشأن توقيت الزراعة والري.

النتائج:

- **زيادة دقة التنبؤات المناخية المحلية**: زادت دقة التنبؤات المناخية المحلية مقارنة بالمصادر التقليدية، التي غالباً ما تكون عامة وغير دقيقة بالنسبة للمناطق الزراعية النائية. النظام المستخدم في نيجيريا يوفر بيانات من محطات أرصاد جوية محلية، مما يعزز قدرة المزارعين على التنبؤ بالأحوال الجوية المحلية بشكل دقيق، مما يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة.
- **تحسين توقيت عمليات الزراعة والري**: ساعد النظام في تحسين توقيت عمليات الزراعة والري، ما أدى إلى زيادة الإنتاجية وتقليل الخسائر الناتجة عن الظروف المناخية غير المتوقعة مثل الأمطار الغزيرة أو الجفاف. من خلال معرفة توقيتات هطول الأمطار أو ارتفاع درجات الحرارة، أصبح المزارعون قادرين على تحديد الوقت المثالي لزراعة محاصيلهم وإدارة الري بشكل أكثر فعالية.

- **سهولة الاستخدام والتوسع في الاعتماد**: تم تصميم النظام ليكون سهل الاستخدام عبر تطبيقات الهاتف المحمول بلغات محلية، مما عزز اعتماد المزارعين عليه. هذا التحسين في الوصول إلى التكنولوجيا جعل المزارعين في المناطق الريفية أكثر استعداداً للاستفادة من هذه الأنظمة الحديثة دون الحاجة إلى خبرات فنية متقدمة.
- **تحسين الأمن الغذائي**: أتاح النظام فرصة لتحسين الأمن الغذائي على مستوى المجتمعات الريفية. من خلال تحسين توقيت الزراعة وزيادة الإنتاجية، أصبح المزارعون أكثر قدرة على تلبية احتياجاتهم الغذائية وتوفير فائض يمكن تسويقه، مما يعزز الأمن الغذائي المحلي ويزيد من الاستقرار الاقتصادي في المناطق الريفية.(Adeyemi *et al*., 2022)

- **التحليل المقارن لدراسات الحالة للتكنولوجيا منخفضة التكلفة في الزراعة الذكية**

توضح دراسات الحالة في فيتنام ونيجيريا إمكانيات كبيرة لتطبيق تكنولوجيا منخفضة التكلفة تساهم في تحسين الإنتاجية الزراعية وتمكين المزارعين في بيئات مختلفة. ورغم اختلاف السياقات الجغرافية والاجتماعية، تظهر بعض النقاط المشتركة والاختلافات التي يمكن الاستفادة منها.

- **التوفر والملاءمة المحلية**: في كلتا الحالتين، تم الاعتماد على تقنيات مبنية على موارد محلية وأسعار مناسبة، مما عزز من إمكانية تبنيها من قبل المزارعين صغار الحجم. في فيتنام، تم تطوير الطائرات بدون طيار باستخدام قطع متوفرة وبرمجيات مفتوحة المصدر، مما جعلها تقنية قابلة للتكيف مع البيئة المحلية وتلبي احتياجات المزارعين بتكلفة منخفضة. بينما في نيجيريا، تم إنشاء نظام تنبؤ بالطقس باستخدام محطات أرصاد جوية منخفضة التكلفة وبيانات الأقمار الصناعية المفتوحة، مما جعل النظام أكثر ملاءمة لاحتياجات المزارعين في

المناطق الريفية، مع توفير تكلفة شراء المعدات المتخصصة (Nguyen & Tran, 2023; Adeyemi *et al*., 2022).

- **سهولة الاستخدام والتكيف مع البيئة**: كانت الواجهات سهلة الاستخدام في كلا البلدين، مع توفير تعليمات بلغات محلية في نيجيريا، ما عزز ثقة المزارعين في استخدام التكنولوجيا. في فيتنام، ساعد التصميم العملي للطائرات بدون طيار في التكيف مع الظروف الميدانية المتنوعة. الطائرات المزودة بكاميرات حرارية وأجهزة استشعار متعددة الأطياف كانت قابلة للتعديل في الحقول الزراعية وتلائم أنواع المحاصيل المختلفة، مما جعلها أداة مرنة للمزارعين في البيئات ذات التضاريس المتنوعة. في نيجيريا، كان تطبيق الهاتف المحمول الذي يدير التنبؤات المناخية يتسم بسهولة التنقل، مما مكن المزارعين من استخدامه حتى في المناطق النائية حيث الاتصال بالإنترنت محدود (Nguyen & Tran, 2023; Adeyemi *et al*., 2022).
- **الأثر الاقتصادي والبيئي**: ساهمت هذه التقنيات في تقليل تكاليف الإنتاج من خلال تقليل استخدام المبيدات في فيتنام، وتحسين التخطيط الزراعي في نيجيريا. في فيتنام، استطاع المزارعون تقليل تكلفة استخدام المبيدات بنسبة 20% بفضل القدرة على تحديد المناطق المصابة بالآفات بشكل أكثر دقة باستخدام الطائرات بدون طيار. هذا أدى إلى تقليل الأضرار البيئية الناتجة عن الاستخدام المفرط للمبيدات. في نيجيريا، ساهم النظام في تحسين توقيت الزراعة والري بناءً على التنبؤات المناخية الدقيقة، مما قلل من الخسائر الناتجة عن تقلبات الطقس وساهم في زيادة الإنتاجية. هذا الأثر البيئي الإيجابي يعكس فوائد استخدام التكنولوجيا في الحفاظ على البيئة وتحقيق استدامة الإنتاج الزراعي (Patel *et al*., 2022; Adeyemi *et al*., 2022).

- **التحديات المحتملة**: رغم النجاح، تواجه هذه النماذج بعض التحديات المشتركة. من أبرز هذه التحديات الحاجة إلى التدريب المستمر للمزارعين على استخدام التقنيات الحديثة بشكل فعال. يجب أن يشمل التدريب مهارات التفاعل مع الأجهزة وتحليل البيانات الزراعية واستخدام التطبيقات. كما أن ضمان الصيانة التقنية للأجهزة يعد تحدياً كبيراً، حيث يحتاج المزارعون إلى دعم مستمر للحفاظ على أداء الأجهزة بمرور الوقت. في نيجيريا، هناك أيضاً حاجة لدعم مؤسسي لضمان استمرارية التمويل والتطوير، بحيث يمكن توسيع نطاق النظام ليشمل مناطق إضافية وتحديث التقنيات بشكل دوري.

- **توصيات مستفادة لتعزيز استخدام التكنولوجيا منخفضة التكلفة في الزراعة الذكية:**

- **تشجيع الابتكار المحلي:** يجب دعم المبادرات التي تعتمد على تطوير حلول تقنية باستخدام الموارد المحلية لتناسب الظروف البيئية والاجتماعية لكل منطقة. من خلال هذا النهج، يمكن للمجتمعات الريفية الاستفادة من التقنيات التي تتناسب مع ثقافتها ومواردها المحدودة، مما يعزز من استدامتها. الابتكار المحلي يمكن أن يسهم في تقليل التكاليف ويسمح بتطوير حلول يمكن المزارعون تنفيذها وصيانتها بأنفسهم (Patel *et al*., 2022).
- **بناء قدرات المزارعين:** من الضروري تنظيم ورش عمل ودورات تدريبية متخصصة لتعريف المزارعين بطرق استخدام هذه التقنيات وصيانتها. هذه الورش يجب أن تركز على التوعية بأهمية البيانات الدقيقة التي يتم جمعها من خلال هذه التقنيات. كذلك، يجب تعليم المزارعين كيفية اتخاذ قرارات أفضل بناءً على تلك البيانات، مما يسهم في تحسين الإنتاجية وتقليل المخاطر المرتبطة بالزراعة (Nguyen & Tran, 2023).

- **توفير الدعم المالي والتقني:** يتعين على الحكومات والمنظمات غير الحكومية إنشاء صناديق دعم موجهة لتوفير المعدات منخفضة التكلفة للمزارعين، بالإضافة إلى تقديم خدمات فنية مستمرة لضمان الأداء الجيد للأجهزة. هذا الدعم المالي يمكن أن يتخذ شكل قروض ميسرة أو منح مالية للمزارعين الصغار لتبني هذه التقنيات، مع مراعاة التكلفة المناسبة للبيئة المحلية.
- **التكامل مع الأنظمة الرقمية الأخرى:** يمكن تعزيز فعالية هذه التقنيات من خلال ربطها بأنظمة المعلومات الزراعية الأوسع مثل نظم المعلومات الجغرافية والمنصات الرقمية الزراعية. هذا التكامل سيسهل الوصول إلى البيانات وتحليلها، مما يمكن المزارعين من تحسين إدارة مزارعهم بناءً على تحليلات شاملة ودقيقة للظروف البيئية والمناخية.
- **الشراكات متعددة القطاعات:** من الأهمية بمكان تعزيز التعاون بين الحكومات، القطاع الخاص، والمؤسسات البحثية لتطوير حلول مبتكرة مستدامة وشاملة. الشراكات بين هذه الجهات يمكن أن تساهم في توفير التمويل والتقنيات الحديثة، بالإضافة إلى تنفيذ برامج توعية وتدريب على نطاق واسع لدعم تبني التكنولوجيا في المجتمعات الريفية (Adeyemi *et al*., 2022).
- **التوسع التدريجي والتقييم المستمر:** يُنصح بتطبيق البرامج التجريبية في مناطق مختلفة مع تقييم الأثر بشكل مستمر لتحديد نقاط القوة والضعف في هذه الحلول. من خلال التقييم المستمر، يمكن تحديد كيفية تحسين التقنيات وملاءمتها بشكل أفضل للبيئات المختلفة. يجب أن يكون التوسع التدريجي مصحوباً برصد دقيق للنتائج لضمان تحقيق الأهداف المنشودة.

في هذا الإطار، يمكن لتطبيقات التكنولوجيا منخفضة التكلفة أن تكون ركيزة أساسية في تبني الزراعة الذكية، خاصة في الدول النامية. من خلال تبني هذه التوصيات،

يمكن أن تسهم هذه التقنيات في تحقيق أهداف الأمن الغذائي والتنمية المستدامة، مما يعزز من قدرة المزارعين على التكيف مع التحديات البيئية والاقتصادية الراهنة.

6. 6. التحديات التي واجهت هذه النماذج وكيف تم التعامل معها

رغم النجاحات التي تحققت في مشاريع الزراعة الذكية في الدول المتقدمة والنامية، واجهت هذه النماذج عدداً من التحديات التي تطلبت حلولاً مبتكرة للتغلب عليها. من أبرز هذه التحديات:

- **محدودية البنية التحتية الرقمية:** في العديد من الدول النامية، لا تزال شبكة الإنترنت والاتصالات غير متوفرة بشكل كافٍ في المناطق الريفية النائية، مما يحد من فعالية تطبيق التقنيات الذكية. على الرغم من تقدم تكنولوجيا المعلومات في المدن الكبرى، تبقى بعض المناطق الريفية تعاني من ضعف البنية التحتية الرقمية، وهو ما يؤثر سلباً على قدرة المزارعين في الوصول إلى البيانات وتطبيق الأنظمة الرقمية بشكل فعال (FAO, 2022). للتعامل مع هذا التحدي، تم تطوير تقنيات تعتمد على الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والحلول الهجينة التي تقلل من الاعتماد على الإنترنت الأرضي، مثل استخدام شبكات الإنترنت عبر الأقمار الصناعية أو أنظمة الـ G 4 المتنقلة التي تصل إلى أبعد المناطق.
- **نقص المهارات التقنية:** كثيراً ما يفتقر المزارعون في المناطق الريفية إلى التدريب الكافي على استخدام الأجهزة والتقنيات الحديثة. هذا النقص في المهارات التقنية قد يكون عائقاً أمام تبني هذه التكنولوجيا الجديدة. لمواجهة هذا التحدي، تم وضع برامج تدريبية ميدانية ودورات تعليمية تركز على استخدام التكنولوجيا بشكل عملي وسهل. على سبيل المثال، قدمت مبادرة "Digital Green" فيديوهات تعليمية عبر الهواتف المحمولة والتي ساعدت المزارعين على تعلم استخدام التقنيات الزراعية الذكية بشكل مستقل وسهل (Digital Green, 2023). كذلك، تم تطوير تطبيقات تعليمية تفاعلية توفر تعليمات مباشرة ومبسطة.

- **التكلفة الأولية والتشغيلية:** على الرغم من أن بعض التقنيات منخفضة التكلفة، فإن الاستثمار الأولي في المعدات والتكنولوجيا يمكن أن يكون عائقاً أمام الفلاحين الصغار. هذا يتطلب في بعض الأحيان تمويلاً أكبر من قدرتهم المالية. للتغلب على هذا التحدي، اعتمدت بعض المشاريع على آليات التمويل الجماعي والقروض الميسرة، فضلاً عن شراكات مع مؤسسات مالية دولية لتقديم دعم مالي مباشر. على سبيل المثال، قامت بعض الحكومات بتقديم قروض منخفضة الفائدة لتمويل شراء المعدات اللازمة لتطبيق الزراعة الذكية، مما سهل المزارعين من تبني هذه التقنيات دون الحاجة إلى استثمار رأس مال كبير في البداية.
- **المقاومة الثقافية والاجتماعية:** في بعض الأحيان، يواجه الابتكار مقاومة ثقافية واجتماعية من المجتمعات الريفية، التي تفضل ممارسات الزراعة التقليدية على الحلول الحديثة. قد يتخوف بعض المزارعين من أن التغيير السريع قد يؤثر سلباً على طريقة حياتهم أو يهدد استدامة تقاليدهم الزراعية. لمواجهة هذا التحدي، تم إشراك القادة المحليين والمزارعين في مراحل التخطيط والتنفيذ لضمان تقبل الابتكار والتكيف معه. هذا التفاعل المبكر مع المجتمعات كان أساسياً لتوضيح فوائد التكنولوجيا الحديثة وإزالة أي مخاوف بشأنها.

7. 7. الدروس المستفادة والتوصيات للمستثمرين

تقدم تجارب الاستثمار في الزراعة الذكية عدة دروس مهمة للمستثمرين الراغبين في الدخول لهذا القطاع المتنامي:

- **أهمية التكيف المحلي:** يجب أن يتم تصميم الحلول التقنية بما يتناسب مع الظروف البيئية والثقافية والاقتصادية لكل منطقة. لا يمكن فرض نماذج موحدة عالمية على جميع الأسواق؛ فكل منطقة لها تحدياتها الفريدة وظروفها الخاصة التي تتطلب حلولاً مخصصة. على سبيل المثال، في بعض المناطق الريفية، قد تتطلب الحلول البسيطة منخفضة التكلفة مثل أنظمة الري بالتنقيط أو الحساسات البيئية، بينما قد

يكون من الأنسب في مناطق أخرى استخدام تقنيات أكثر تعقيداً مثل الطائرات بدون طيار أو الروبوتات الزراعية. تكييف التكنولوجيا مع الاحتياجات المحلية يسهم في زيادة فرص النجاح والقبول لدى المزارعين (Patel *et al*., 2022).

- **الشراكات متعددة الأطراف:** نجاح المشاريع في الزراعة الذكية يتطلب تعاوناً بين القطاعين العام والخاص والمنظمات الدولية. لا يمكن أن يحقق أي مشروع استدامة طويلة الأمد إلا إذا تم إشراك جميع الأطراف المعنية: الحكومات والمنظمات غير الحكومية والمؤسسات التعليمية، بالإضافة إلى المجتمعات المحلية. من خلال الشراكات متعددة الأطراف، يمكن ضمان التمويل المستدام، والوصول إلى المعرفة الفنية، والتوسع التدريجي للمشاريع. التعاون بين هذه الأطراف يعزز من قدرة المشاريع على مواجهة التحديات الاقتصادية والاجتماعية ويسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (Adeyemi *et al*., 2022).

- **التركيز على بناء القدرات:** الاستثمار في تدريب وتعليم المزارعين والمشغلين هو ركيزة أساسية لتبني التكنولوجيا وحمايتها من التراجع. يعتبر التدريب المستمر أحد العوامل الأساسية التي تساهم في زيادة فعالية التكنولوجيا في المجال الزراعي. يجب أن يشمل التدريب ليس فقط كيفية استخدام الأدوات التكنولوجية، بل أيضاً كيفية تحليل البيانات واتخاذ القرارات المدروسة بناءً على هذه البيانات. إذا كانت القدرات المحلية ضعيفة في هذا المجال، فمن المحتمل أن تظل التكنولوجيا غير مستغلة بشكل كامل، مما يؤدي إلى عدم تحقيق النتائج المرجوة (Nguyen & Tran, 2023).

- **التمويل المستدام:** يجب توفير آليات تمويل مرنة تدعم استمرارية المشروعات. يمكن أن تشمل هذه الآليات التمويل المباشر من خلال المستثمرين، القروض المدعومة من الحكومات أو المؤسسات المالية، والتأمين الزراعي لتغطية المخاطر المرتبطة بالتغيرات المناخية أو الاقتصادية. دعم المزارعين في الحصول على

التمويل اللازم لتبني التقنيات الحديثة يُعد أمراً حيوياً لتحقيق النجاح في هذا القطاع، حيث يمكن أن تكون التكاليف الأولية لشراء التكنولوجيا عالية، وهو ما قد يمثل عائقاً أمام المزارعين الصغار (FAO, 2022).

- **التقييم المستمر والابتكار:** تتطلب البيئات الزراعية تغيرات مستمرة في التكنولوجيا والاستراتيجيات. لذا، من الضروري إجراء تقييم دوري للتأثير وتطوير الحلول بشكل مستمر. يجب أن يكون المستثمرون والمطورون مستعدين لتعديل وتحسين الحلول حسب الحاجة لضمان استدامتها في مواجهة التحديات المتغيرة. الابتكار المستمر في طرق الزراعة الذكية يمكن أن يؤدي إلى تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف، بالإضافة إلى تعزيز الاستدامة البيئية. يجب أن تشمل استراتيجيات الابتكار استخدام تقنيات جديدة، مثل الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الكبيرة، لتحسين استراتيجيات الزراعة وإدارة الموارد (Silva & Rodrigues, 2023).

8. 8. الخاتمة

تشكل الزراعة الذكية مستقبل الاستثمار الزراعي، لما توفره من حلول مبتكرة ومستدامة تساهم في رفع الإنتاجية وتحسين جودة المنتجات الزراعية. إن اعتماد تقنيات الزراعة الذكية لا يقتصر على تحسين الإنتاج فحسب، بل يمتد إلى تعزيز الاستدامة البيئية وتقليل التأثيرات السلبية على الموارد الطبيعية. تجارب الدول المتقدمة والنامية تؤكد أن الاستثمار في التقنيات الزراعية الحديثة، سواء كانت عالية التكلفة أو منخفضة، يمكن أن يعزز الأمن الغذائي ويدعم التنمية الاقتصادية الريفية.

ومع ذلك، يتطلب تحقيق هذه الأهداف تجاوز عدد من التحديات الكبرى، مثل ضعف البنية التحتية الرقمية، ونقص التمويل الكافي، بالإضافة إلى الحاجة إلى برامج تدريبية متخصصة للمزارعين. يمكن أن تعيق هذه التحديات تبني التكنولوجيا بشكل فعال، لذا من الضروري تبني استراتيجيات شاملة تركز على الشراكات المتنوعة بين القطاعين

العام والخاص، مع التركيز على التكيف المحلي وتطوير حلول تتناسب مع الاحتياجات الفعلية لكل منطقة.

كما أن دعم المزارعين بالمعلومات والمهارات اللازمة لاستخدام هذه التقنيات، بالإضافة إلى توفير التمويل المرن والدعم المؤسسي، يعد أمراً حاسماً لضمان الاستفادة القصوى من الزراعة الذكية. يجب أن تكون هذه الحلول التقنية متاحة لجميع المزارعين، بغض النظر عن حجم مزارعهم أو موقعهم الجغرافي، حتى يكون لها تأثير إيجابي ومستدام.

في ضوء هذه المعطيات، يصبح الاستثمار في الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً يضمن استدامة القطاع الزراعي ويُسهم في تأمين غذاء متوازن وصحي للأجيال القادمة. كما يُعد خطوة أساسية نحو تحقيق التنمية المستدامة والأمن الغذائي على مستوى العالم، من خلال تحسين كفاءة الإنتاج الزراعي وتوفير حلول مبتكرة لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة.

9. المراجع

Digital Green. (2023). Empowering farmers through digital education: A case study. Retrieved from https://www.digitalgreen.org

FAO. (2022). The state of food and agriculture: Digital innovations in agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FarmDrive. (2023). Using data to drive agricultural financing in Kenya. Nairobi: FarmDrive.

Patel, R., Singh, A., & Kumar, V. (2022). Smart agriculture solutions in India: The AgriSense project. *Journal of Agricultural Technology*, 18(4), 223-238.

Silva, M., & Rodrigues, P. (2023). Robotics and GIS integration for coffee farming in Brazil: The SmartFarms initiative. *International Journal of Precision Agriculture*, 15(1), 45-62.

World Bank. (2021). Digital agriculture: Enhancing productivity and resilience in developing countries. Washington, DC: World Bank Publications.

الفصل 40 - الزراعة الذكية: دراسات حالة وتطبيقات ميدانية

المحتويات

1. المقدمة
2. دراسة حالة 1 – مشروع زراعة ذكية في دولة متقدمة
3. دراسة حالة 2 – تطبيق الزراعة الذكية في دولة نامية
4. دراسة حالة 3 – الابتكار والتكنولوجيا كوسيلة لتقليل الاستيراد
5. التطبيقات العملية وتقاطعها مع الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية
6. التوصيات لممارسي الزراعة ولصناع القرار
7. الخاتمة
8. المراجع

1. المقدمة

شهد قطاع الزراعة في العقدين الماضيين تحولات جذرية، مدفوعة بتطورات التكنولوجيا الرقمية والذكاء الاصطناعي، والتي مهدت الطريق لظهور مفهوم الزراعة الذكية. هذا المفهوم الجديد يعكس التحول الذي شهدته الصناعة الزراعية من الزراعة التقليدية إلى الزراعة المدعومة بالتقنيات المتقدمة التي تركز على استخدام البيانات بشكل ذكي لتحسين عمليات الإنتاج. يمكن تلخيص الزراعة الذكية بأنها دمج تقنيات مثل الاستشعار عن بُعد، الزراعة الدقيقة، وتقنيات تحليل البيانات في عمليات الزراعة بهدف رفع الكفاءة، وتقليل التكاليف، وتحقيق استدامة أفضل في الموارد (Wolfert *et al.*, 2017).

تتمثل الفكرة الأساسية للزراعة الذكية في استخدام البيانات الضخمة وأدوات التحليل المتقدم لتحسين جودة المحاصيل وزيادة الإنتاجية من خلال مراقبة الظروف البيئية في الوقت الفعلي، وبالتالي تحسين استخدام الموارد مثل المياه والأسمدة والمبيدات. إضافة إلى ذلك، تتيح تقنيات الذكاء الاصطناعي للأجهزة الزراعية مثل الطائرات بدون طيار

والروبوتات الزراعية اتخاذ قرارات بناءً على تحليل مستمر للبيانات الزراعية، ما يزيد من دقة العمليات الزراعية.

يُعد فهم التجارب الميدانية الناجحة في مختلف البيئات عاملاً أساسياً لتعزيز تبني هذه التقنيات وتطوير استراتيجيات ملائمة تناسب كل بيئة. في هذا الفصل، سيتم استعراض ثلاث دراسات حالة توضح كيفية تطبيق الزراعة الذكية في دول متقدمة ونامية. بالإضافة إلى ذلك، سيتم تسليط الضوء على دور الابتكار والتكنولوجيا كوسيلة لتحسين الإنتاجية وتقليل الاعتماد على الاستيراد، ما يعزز القدرة التنافسية للقطاع الزراعي في مختلف الأسواق.

كما سيناقش هذا الفصل التطبيقات العملية للزراعة الذكية، وخاصة تقاطع هذه التطبيقات مع الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية الحديثة التي تدعم الابتكار في هذا المجال. تعتبر الحوكمة الرقمية عنصراً مهماً في ضمان تطبيق استراتيجيات الزراعة الذكية بشكل فعال، حيث تتيح للسلطات الحكومية والمزارعين العمل معاً على تحسين قرارات السياسة الزراعية من خلال استخدام البيانات الميدانية والتقنيات الحديثة.

ستشمل المناقشة في هذا الفصل أيضاً التوصيات التي يمكن أن توجه ممارسي الزراعة وصناع القرار لضمان توسيع نطاق الزراعة الذكية وتطبيقها في المستقبل. من خلال هذه التوصيات، سيتم توجيه الجهود نحو تحسين التشريعات، والتمويل، وبرامج التدريب التي تدعم المزارعين في تبني هذه التقنيات. في الختام، سيؤكد الفصل على أهمية الزراعة الذكية كعنصر أساسي في تحقيق الأمن الغذائي، وتعزيز الاستدامة الزراعية في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية العالمية.

2. دراسة حالة 1 – مشروع زراعة ذكية في دولة متقدمة

في هولندا، تعتبر الزراعة الذكية ركيزة أساسية لتحويل القطاع الزراعي إلى نموذج أكثر استدامة وكفاءة. يعتبر مشروع "الحقول الذكية في فليفولاند" من أبرز الأمثلة على تطبيق هذه التقنيات المتقدمة. في هذا المشروع، تم استخدام مجموعة من الأدوات المبتكرة مثل الطائرات بدون طيار المزودة بحساسات طيفية متقدمة وأنظمة تحديد

المواقع العالمية والروبوتات الميدانية لجمع البيانات البيئية بشكل مستمر (Van Evert *et al.*, 2020). تم تصميم هذا المشروع ليعمل وفقاً لنموذج الزراعة الدقيقة، الذي يعتمد على مراقبة التغيرات البيئية في الوقت الفعلي وتحليل البيانات بشكل دقيق لتحسين الأداء الزراعي.

أدى المشروع إلى تحقيق نتائج ملموسة على مستوى كفاءة استخدام الموارد. تم تقليل استهلاك المياه بنسبة 30%، مما ساهم في الحفاظ على هذه المورد الثمين في ظل التحديات البيئية المرتبطة بندرة المياه. كما أسهم المشروع في تقليص استخدام الأسمدة بنسبة مماثلة، من خلال تطبيق الأسمدة بشكل دقيق وموجه للنباتات فقط، مما قلل من الأثر البيئي الناتج عن استخدام المواد الكيميائية.

علاوة على ذلك، تم تحسين الإنتاجية الزراعية بنسبة 15%، وهو ما يمثل زيادة كبيرة في العائدات مقارنة بالممارسات الزراعية التقليدية. التفاعل المستمر بين المزارعين والباحثين في المشروع كان عاملاً مهماً في تخصيص الحلول الزراعية بما يتناسب مع احتياجات كل مزرعة على حدة. فقد تم تعديل استراتيجيات الزراعة بناءً على البيانات المستخلصة من التحليلات البيئية، مما رفع من كفاءة استخدام الموارد مثل الأرض والمياه والطاقة، وحقق بالتالي زيادة ملحوظة في العوائد الزراعية.

هذا النموذج في فليفولاند لا يعكس فقط التقدم التكنولوجي في الزراعة، بل أيضاً التعاون الفعّال بين مختلف الأطراف من مزارعين وباحثين وشركات تكنولوجيا، ما يساهم في بناء حلول مستدامة قادرة على التكيف مع التغيرات البيئية والاقتصادية المستقبلية.

3. دراسة حالة 2 – تطبيق الزراعة الذكية في دولة نامية

في كينيا، يعتبر مشروع "الزراعة الرقمية لصغار المزارعين" مثالاً مميزاً على تطبيق تقنيات الزراعة الذكية في بيئة نامية. يهدف هذا المشروع إلى تزويد المزارعين بالأدوات الرقمية التي تتيح لهم الوصول إلى معلومات حيوية عبر هواتفهم الذكية. تم تزويد المزارعين بأجهزة هواتف ذكية متصلة بتطبيقات توجيهية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات الطقس والتربة والمحاصيل (Munyua *et al.*, 2019).

تعتمد هذه التطبيقات على جمع وتحليل بيانات ميدانية باستخدام الحساسات المحلية والتقنيات المتقدمة لتقديم توصيات دقيقة للمزارعين حول مواعيد الزراعة والحصاد، فضلاً عن الوقاية من الآفات.

أدى استخدام هذه التقنيات إلى تحسين توقيت عمليات الزراعة والحصاد بشكل كبير، مما أسهم في زيادة المحاصيل بنسبة 20% مقارنة بالطرق التقليدية. كما كان لها تأثير إيجابي في تقليل الخسائر الناتجة عن الآفات، حيث قدمت التطبيقات توجيهات لحماية المحاصيل من الأمراض والآفات بناءً على بيانات الطقس والمشاهدات البيئية.

كان من أبرز عوامل نجاح هذا المشروع هو الشراكة بين القطاعين العام والخاص، حيث عملت الحكومة الكينية مع شركات تكنولوجيا محلية لتطوير وتوزيع هذه التطبيقات بأسعار معقولة. إضافة إلى ذلك، تم توفير تدريب مكثف للمزارعين على استخدام التطبيقات والتمتع بمزاياها بشكل كامل، مما عزز من استدامة المشروع وانتشاره. من خلال هذا التدريب، أصبح المزارعون قادرين على تحليل البيانات بأنفسهم واتخاذ قرارات زراعية مدروسة، مما زاد من كفاءتهم الزراعية.

يعد هذا المشروع مثالاً ناجحاً على كيفية دمج التكنولوجيا في الزراعة في الدول النامية، حيث يساهم في تعزيز الإنتاجية الزراعية وزيادة الاستدامة في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية. كما يظهر قدرة التكنولوجيا على تحسين حياة المزارعين الصغار الذين يواجهون صعوبة في الوصول إلى الموارد والتقنيات المتقدمة.

4. الابتكار والتكنولوجيا كوسيلة لتقليل الاستيراد: دراسات حالة من بلدان مختارة

تعكس التجارب الدولية الناجحة كيف يمكن للتكنولوجيا الزراعية أن تلعب دوراً محورياً في تقليل الاعتماد على الواردات، وذلك من خلال تعزيز الإنتاج المحلي ورفع الكفاءة وبناء سلاسل إمداد مرنة. تظهر هذه الدراسات أن التحول التكنولوجي ليس حكراً على الدول المتقدمة فقط، بل يمكن تطبيقه بنجاح في بيئات مختلفة من الناحية المناخية والاقتصادية. في هذا السياق، يمكن النظر إلى بعض الأمثلة المتميزة التي أظهرت قدرة التكنولوجيا على تعزيز الاستقلالية الغذائية وتقليل الاعتماد على الاستيراد.

- **هولندا**: رغم المساحة المحدودة للأراضي الزراعية، تُعد هولندا ثاني أكبر مصدر زراعي في العالم، وذلك بفضل تطبيق الزراعة عالية التقنية. تعتمد هولندا بشكل كبير على البيوت الزجاجية الذكية والروبوتات الزراعية وأنظمة الري الدقيقة، فضلاً عن استخدام الزراعة الرأسية (Vertical Farming). هذه التقنيات تسمح بإنتاج محاصيل عالية الجودة على مدار العام، مما يقلل من الاعتماد على الواردات الزراعية ويعزز من استقلالية البلاد الغذائية (Van Hooijdonk, 2023). على الرغم من القيود البيئية، فإن الابتكار التكنولوجي في الزراعة جعل هولندا نموذجاً رائداً في استخدام المساحات الصغيرة للإنتاج الزراعي المكثف.
- **الإمارات العربية المتحدة**: تواجه الإمارات تحديات كبيرة بسبب الظروف المناخية القاسية وندرة المياه، لكن البلاد طورت نموذجاً مستداماً للزراعة الذكية. يعتمد هذا النموذج على تقنيات مثل الزراعة دون تربة (Hydroponics) والزراعة العمودية المدعومة بالطاقة الشمسية.

حلول مبتكرة لتحقيق الأمن الغذائي في الإمارات (الوطن، 2023).

هذه النماذج المبتكرة ساعدت الإمارات في إنتاج محاصيل استراتيجية مثل الطماطم والخس بشكل مستدام طوال العام، مما قلل بشكل كبير من الحاجة للاستيراد (UAE Ministry of Climate Change and Environment, 2023). تمثل الإمارات بذلك نموذجاً مثيراً للإعجاب على كيفية تطبيق التقنيات المتقدمة لتجاوز الصعوبات المناخية وتحقيق الأمن الغذائي.

- **الهند**: أطلقت الحكومة مبادرة "الزراعة الرقمية للمزارعين الصغار"، التي تتضمن منصات مثل eNAM و Kisan Suvidha لتوفير البيانات الفورية حول الأسعار، الطقس، والمواسم. كما تم تشجيع المزارعين على استخدام الطائرات بدون طيار (الدرون) لتحليل صحة النباتات. ساعدت هذه المبادرات في تقليل الاعتماد على الواردات الزراعية في قطاعات مثل الحبوب الزيتية والبقوليات، ما أسهم في تعزيز الإنتاج المحلي وتقليل الضغط على الأسواق العالمية (Indian Council of Agricultural Research, 2023). هذه الابتكارات تبرز كيف يمكن للتكنولوجيا أن تساهم في تحسين القدرة التنافسية للإنتاج المحلي وتقليل الحاجة للاستيراد في الأسواق الزراعية الكبيرة.
- **المغرب**: ضمن "مخطط المغرب الأخضر"، تم دمج تقنيات الزراعة الذكية مثل الري المحوري الدقيق ونظم الإنذار المبكر. هذه التقنيات ساعدت المغرب في تقليص واردات القمح والشعير، خاصة خلال السنوات الجافة التي شهدت تحديات في إنتاج الحبوب. من خلال استخدام التكنولوجيا لتحسين إدارة الموارد المائية والإنذار المبكر، تمكّن المغرب من الحفاظ على مستويات إنتاج محلية مستقرة رغم التقلبات المناخية (IFPRI, 2024). يظهر المغرب كيف يمكن للابتكار التكنولوجي أن يدعم الأمن الغذائي في الدول النامية ويقلل من التأثيرات السلبية للتغيرات المناخية على الإنتاج الزراعي.
- **الصين**: قامت الحكومة بتطبيق تقنيات البيانات الضخمة لتحسين إدارة سلسلة الإمداد الزراعي، بالإضافة إلى إنشاء مراكز مراقبة وطنية للغذاء تعتمد على الذكاء

الاصطناعي. هذه المبادرات أسهمت في تحسين توزيع الإنتاج المحلي وتقليل الحاجة لاستيراد اللحوم والحبوب. من خلال تحسين الكفاءة في استخدام الموارد المحلية وتوزيع الإنتاج بشكل أكثر فعالية، استطاعت الصين تقليل الاعتماد على الواردات الزراعية بشكل ملحوظ (FAO, 2023). يعكس هذا النموذج قدرة التكنولوجيا على دعم الدول في تحقيق الأمن الغذائي من خلال تحسين الإنتاج المحلي.

الاستنتاج:

تُظهر هذه الأمثلة كيف يمكن للابتكار التكنولوجي، عند دمجه مع سياسات زراعية فعّالة، أن يسهم بشكل كبير في تحقيق الأمن الغذائي وتقليل الاعتماد على الخارج. لا تقتصر فوائد هذه التقنيات على الدول المتقدمة فقط، بل يمكن تطبيقها بنجاح في الدول النامية، حيث تساهم في تحسين الإنتاج المحلي، وتقليل المخاطر البيئية، ودعم استدامة الموارد الطبيعية. في النهاية، يعتبر التحول التكنولوجي في الزراعة خطوة أساسية نحو ضمان استقلالية غذائية مستدامة في مواجهة تحديات الاقتصاد العالمي المتزايد.

5. التطبيقات العملية وتقاطعها مع الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية

إن نجاح تقنيات الزراعة الذكية في الميدان لا يتوقف على الابتكار التكنولوجي فحسب، بل يعتمد بشكل كبير على توافر بيئة تنظيمية داعمة، وسياسات متكاملة، وحوكمة رقمية تضمن استدامة هذه التحولات. حيث أن غياب هذه الأبعاد يجعل التكنولوجيا محدودة الأثر، وتُصبح المحاولات لتطبيق هذه التقنيات غير فعّالة أو تعاني من قيود حقيقية في الميدان. ولذلك، فإن التكامل بين التكنولوجيا والسياسات الزراعية الفعّالة هو الأساس لتحقيق نتائج مستدامة في الزراعة الذكية.

- **التطبيقات العملية في الزراعة الذكية**

تشمل التطبيقات العملية في الزراعة الذكية عدة أدوات وتقنيات، من بينها:

- **الاستشعار عن بعد والطائرات بدون طيار:** تُستخدم تقنيات الاستشعار عن بُعد والطائرات بدون طيار لجمع بيانات دقيقة عن صحة النباتات، مستوى الرطوبة في التربة، وانتشار الآفات أو الأمراض. هذه البيانات توفر رؤى دقيقة تتيح للمزارعين اتخاذ قرارات مدروسة في الوقت المناسب، مما يساهم في زيادة كفاءة عمليات الزراعة وتقليل الفاقد. على سبيل المثال، الطائرات بدون طيار مجهزة بكاميرات متعددة الأطياف وأجهزة استشعار حرارية قادرة على تحديد المناطق التي تحتاج إلى اهتمام سريع. هذه التكنولوجيا أسهمت في تقليل استخدام المبيدات بنسبة 20% في بعض التجارب الميدانية (Zhang & Kovacs, 2012).
- **الزراعة الدقيقة:** الزراعة الدقيقة تعتمد على تحليل البيانات الزراعية بشكل دقيق لتحديد الكميات المثلى من المياه والأسمدة التي يحتاجها كل جزء من الأرض. هذا النهج يقلل من الهدر ويعزز من الكفاءة، حيث تُمكّن المزارعين من تخصيص الموارد بناءً على احتياجات المحاصيل بشكل دقيق، مما يؤدي إلى تحسين الإنتاجية وتقليل التأثيرات البيئية. هذه التقنيات أثبتت فعالية في زيادة العائدات وتقليل التكاليف الزراعية بشكل كبير (Gebbers & Adamchuk, 2010).
- **الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي:** يستخدم الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) لتحليل البيانات الضخمة والتنبؤ بالأحداث الزراعية مثل الأمراض وتغيرات الطقس. هذه الأنظمة تقوم بتحليل كميات هائلة من البيانات التي تُجمع من أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار، لتحديد أنماط أو علامات مبكرة لمشاكل قد تؤثر على المحاصيل. هذه التنبؤات تُمكّن المزارعين من اتخاذ إجراءات وقائية قبل وقوع المشكلة، مما يعزز من الاستجابة السريعة ويقلل من الخسائر الزراعية (Kamilaris *et al*., 2018).

- **الروبوتات الزراعية:** الروبوتات الزراعية تساهم بشكل كبير في أتمتة العديد من العمليات الزراعية مثل الزراعة والحصاد وعمليات التنظيف. هذه التكنولوجيا تقلل من الحاجة للعمل اليدوي المكثف، مما يساهم في تقليل التكاليف التشغيلية وتحسين جودة المحاصيل من خلال التنفيذ الدقيق والمستمر للمهام. على سبيل المثال، الروبوتات التي تستخدم في حصاد الفواكه تُقلل من الخسائر التي تحدث خلال عملية الحصاد اليدوي، وتسمح للمزارعين بجني المحاصيل في أوقات مثالية مما يساهم في تحسين الجودة.
- **التقاطع مع الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية:** من أجل ضمان نجاح تطبيق هذه التقنيات، يجب أن تكون هناك سياسات داعمة من الحكومات، مثل تحسين البنية التحتية الرقمية، توفير التمويل اللازم للمزارعين الصغار، وتعزيز التدريب الفني على استخدام هذه الأدوات. يمكن للحوكمة الرقمية أن تلعب دوراً كبيراً في توفير البيانات بشكل شفاف ومتاح لجميع أصحاب المصلحة في القطاع الزراعي، بما في ذلك المزارعين، الشركات الخاصة، وصناع القرار. تُمكّن هذه الحوكمة من دمج البيانات التي تم جمعها من التقنيات المختلفة في إطار واحد يسهل من اتخاذ القرارات وتوجيه الموارد بشكل مثالي.

على سبيل المثال، تتطلب الزراعة الدقيقة استخدام منصات تحليل البيانات الزراعية التي لا يمكن أن تعمل بدون بنية تحتية رقمية قوية، مثل شبكات الإنترنت عالية السرعة وأنظمة الحوسبة السحابية والتطبيقات الميدانية الذكية. في هذا الإطار، يعد التعاون بين الحكومات والشركات التكنولوجية أمراً ضرورياً لإنشاء بيئات تشريعية تدعم الابتكار وتسرع من انتقال التقنيات الحديثة إلى القطاع الزراعي.

- **الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية**: تمثل الحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية ركيزتين أساسيتين لتمكين التحول نحو الزراعة الذكية وتحقيق الاستقلالية الغذائية. لا يقتصر الأمر على تبني واستخدام التكنولوجيا فقط، بل يتطلب أيضاً دمجها في

إطار تنظيمي واستراتيجي شامل يتماشى مع احتياجات القطاع الزراعي، ويعزز استدامته ومرونته. في هذا السياق، تبرز أهمية الحوكمة الرقمية في توفير بيئة تنظيمية تدعم الابتكار الزراعي، بينما تساهم السياسات الزراعية في توجيه هذا الابتكار نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

- **الحوكمة الرقمية:**

✓ **أنظمة البيانات الزراعية المفتوحة:** تعد البيانات الزراعية المفتوحة أحد الأسس التي تتيح للمزارعين والمستثمرين الوصول إلى معلومات دقيقة وشاملة حول التربة، المناخ، والأسواق. هذا النوع من البيانات يعزز القدرة على اتخاذ قرارات استراتيجية قائمة على المعرفة الدقيقة. في كينيا، على سبيل المثال، أطلقت الحكومة منصة"M-Farm"، التي تتيح للمزارعين مقارنة أسعار المنتجات الزراعية والحصول على معلومات سوقية في الوقت الحقيقي. هذه المنصة تُمكّن المزارعين من تحديد أفضل الأوقات للشراء والبيع، مما يعزز قدرتهم التنافسية ويسهم في تحسين دخلهم (World Bank, 2024).

✓ **الترقيم الزراعي (Agricultural Digitization):** يشمل الترقيم الزراعي إنشاء هويات رقمية للمزارعين، مما يربطهم بالأنظمة الحكومية المختلفة مثل برامج الدعم الحكومي والإعانات المالية والتدريب الزراعي. في نيجيريا، على سبيل المثال، ساعد النظام الرقمي للمزارعين في توزيع الدعم مباشرة إلى أكثر من 14 مليون مزارع، مما حد من التأخير والبيروقراطية في إيصال المساعدات. كما يسهم هذا النظام في تنظيم بيانات المزارعين وتعزيز قدراتهم في التفاعل مع المنصات الحكومية والمالية المتاحة، مما يعزز كفاءة المشاريع الزراعية (World Bank, 2024).

✓ **الرقابة الذكية والإدارة البيئية:** استخدام أنظمة المراقبة عبر الأقمار الصناعية والطائرات المسيرة أصبح شائعاً في العديد من الدول لمراقبة الأراضي الزراعية بشكل فعال. هذه الأنظمة تُمكّن الحكومات من ضبط الاستخدام غير

المشروع للأراضي الزراعية ورصد التعديات بشكل فوري وشفاف. على سبيل المثال، تُستخدم الأقمار الصناعية في مراقبة التربة والمياه والنظم البيئية للتأكد من تطبيق السياسات الزراعية المتعلقة بحماية الموارد الطبيعية بشكل سليم. هذا النوع من الرقابة لا يساعد فقط في تحسين تطبيق السياسات، بل يعزز أيضاً من الاستجابة السريعة للتهديدات البيئية التي قد تؤثر على الاستدامة الزراعية.

- ✓ **التقاطع مع السياسات الزراعية:** إلى جانب الحوكمة الرقمية، تعد السياسات الزراعية جزءاً أساسياً في تنفيذ وإدامة الزراعة الذكية. فهي تتضمن خططاً حكومية تهدف إلى دعم التحول التكنولوجي في الزراعة، من خلال توفير بيئة تشريعية حاضنة لهذه الابتكارات. السياسات الزراعية لا تقتصر على التمويل، بل تشمل أيضاً تشجيع البحث والتطوير، وحوافز الاستثمار في التقنيات الزراعية الذكية، إلى جانب توفير برامج تدريبية لتأهيل المزارعين على استخدام هذه التقنيات.

تُظهر العديد من الدول كيف يمكن للحوكمة الرقمية والسياسات الزراعية المدروسة أن تتكامل لدعم الزراعة الذكية. من خلال هذه التكاملات، يمكن رفع مستوى الإنتاجية وتقليل الفاقد، وتحقيق التنمية الزراعية المستدامة، مما يدعم الأهداف الوطنية في الأمن الغذائي والتنمية الاقتصادية.

- ➢ **السياسات الزراعية:**

- ✓ **تحفيز تبني التكنولوجيا:** تعتبر السياسات الزراعية المحفزة من أهم الأدوات لتسريع تبني تقنيات الزراعة الذكية. ومن أبرز هذه السياسات الدعم المباشر لمشاريع الزراعة الذكية، وتخفيض الجمارك على المعدات الرقمية الزراعية، وتوفير قروض ميسرة. على سبيل المثال، في البرازيل، ساعدت هذه السياسات في زيادة نسبة المزارعين الذين يستخدمون التقنيات الذكية إلى أكثر من 40% خلال عقد واحد. كما أسهمت الإعانات الحكومية في تسريع توظيف تقنيات

مثل الطائرات بدون طيار، والروبوتات الزراعية، مما جعل الزراعة الذكية أكثر انتشاراً بين المزارعين من مختلف الأحجام (FAO, 2023).

- ✓ **السياسات التجارية المرنة:** يمكن أن تكون السياسات التجارية أداة قوية لحماية الإنتاج المحلي وتعزيز الجودة. على سبيل المثال، فرضت بعض الدول قيوداً على استيراد المنتجات الزراعية التي يمكن إنتاجها محلياً باستخدام الزراعة الذكية، مما ساعد في حماية الصناعات الزراعية المحلية الناشئة من المنافسة غير العادلة. كما ساعدت هذه السياسات على دعم الابتكار المحلي في الإنتاج الزراعي، وتشجيع الاستثمار في البنية التحتية الزراعية، خاصة في البلدان التي تواجه تحديات في توفير الغذاء المحلي. هذه السياسات لا تقتصر فقط على الحماية، بل تشمل أيضاً توفير الحوافز للمزارعين الذين يعتمدون على تقنيات حديثة لزيادة الكفاءة والإنتاجية (UAE Ministry of Climate Change and Environment, 2023).
- ✓ **التعليم الزراعي وتطوير رأس المال البشري:** يعد التعليم الزراعي وتطوير رأس المال البشري عنصراً أساسياً لضمان استدامة تطبيقات الزراعة الذكية. فوجود مراكز ابتكار زراعي في الجامعات، بالإضافة إلى تحديث المناهج التعليمية في كليات الزراعة، يسهم في توفير الكوادر الفنية القادرة على تشغيل وصيانة وتطوير تقنيات الزراعة الذكية. كما أن تدريب المزارعين، من خلال ورش عمل ودورات تدريبية مستمرة، يعزز من مهاراتهم في استخدام التكنولوجيا الحديثة ويزيد من فرص نجاح المشاريع الزراعية الذكية. في العديد من الدول، تم إنشاء برامج خاصة للتدريب على تطبيقات الزراعة الرقمية، مما يساهم في تقليل الفجوة بين التكنولوجيا المتقدمة واحتياجات المزارعين المحليين (World Bank, 2023).
- ✓ **حوافز الاستثمار في سلاسل القيمة:** تعتبر حوافز الاستثمار في سلاسل القيمة الزراعية أداة هامة لتحفيز النمو المستدام في قطاع الزراعة الذكية. من خلال

دعم الشركات الناشئة في القطاع الزراعي الرقمي، وتوفير البنية التحتية اللوجستية اللازمة، يمكن خلق نظام بيئي متكامل يربط الإنتاج بالتسويق ويحفز الاستهلاك المحلي. على سبيل المثال، في الهند، تم إنشاء منصات إلكترونية لدعم البيع المباشر بين المزارعين والمستهلكين، مما يقلل من التكاليف التشغيلية ويزيد من فرص المزارعين في الوصول إلى أسواق جديدة. كما أن دعم الشركات الزراعية الرقمية يساعد في تحفيز الابتكار وإدخال حلول أكثر فعالية في القطاع الزراعي، ما يساهم في رفع الإنتاجية وخفض التكاليف (Indian Council of Agricultural Research, 2023).

- ✓ **التنسيق بين الجهات المختلفة:** إن نجاح السياسات الزراعية والحوكمة الرقمية يعتمد بشكل كبير على التنسيق بين الجهات الحكومية، القطاع الخاص، والمؤسسات الأكاديمية. يتطلب ذلك وجود رؤية وطنية واضحة، وأدوات تنفيذ فعّالة، وبيئة مؤسسية مرنة يمكنها الاستجابة لتغيرات الواقع الزراعي. يمكن أن تساهم الشراكات بين هذه الأطراف في تحسين تطبيق السياسات الزراعية وخلق بيئة تشريعية تعزز من التحول إلى الزراعة الذكية المستدامة.

6. التوصيات لممارسي الزراعة وصناع القرار

استناداً إلى ما تم استعراضه من دراسات حالة، وتطبيقات ميدانية، وتجارب دولية ناجحة، يتضح أن تبني الزراعة الذكية ليس مجرد خيار تكنولوجي، بل هو تحول استراتيجي شامل يستدعي دعماً متعدد المستويات. فيما يلي توصيات عملية موجهة إلى فئتين رئيسيتين: ممارسي الزراعة (المزارعين والمنتجين الزراعيين) وصناع القرار (الحكومات والهيئات التنظيمية).

- **توصيات لممارسي الزراعة**
  - ➢ **البدء بالحلول منخفضة التكلفة ومرتفعة الأثر:** يُوصى المزارعون بالتركيز أولاً على تطبيق تقنيات بسيطة ولكن فعّالة، مثل أنظمة الري الذكي أو استخدام تطبيقات الهواتف الذكية لمراقبة الطقس وجدولة الزراعة. هذه الحلول تعتبر

منخفضة التكلفة ولكنها تقدم تحسينات كبيرة في الإنتاجية وتقليل التكاليف. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين في المناطق التي تعاني من ندرة المياه استخدام تقنيات الري بالتنقيط الذكي لزيادة كفاءة استهلاك المياه، مما يساهم في تحسين الإنتاج والمحافظة على الموارد الطبيعية (World Bank, 2022).

- **اعتماد نهج تدريجي في تبني التكنولوجيا:** يجب على المزارعين ألا ينظروا إلى الزراعة الذكية كتغيير شامل وفوري، بل يجب تبنيها على مراحل. يمكن البدء بتطبيق تقنيات بسيطة مثل تحسين إدارة الري أو استخدام مستشعرات لتحديد مستويات الرطوبة في التربة، ثم التقدم تدريجياً نحو استخدام تقنيات أكثر تطوراً مثل الطائرات بدون طيار أو الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات. إن التدرج في التطبيق يسمح للمزارعين بالمواءمة بين التكنولوجيا واحتياجات مزرعتهم، فضلاً عن الاستعداد للتحديات التي قد تطرأ.
- **الاستثمار في التعلم والتدريب المستمر:** التكنولوجيا الزراعية الحديثة تتطلب مهارات رقمية جديدة، لذلك يجب على المزارعين الانخراط في برامج تدريبية وتعلم كيفية استخدام الأدوات الرقمية المتاحة لهم. يمكن تحقيق ذلك من خلال ورش العمل التي تقدمها الجهات الحكومية أو المنظمات غير الحكومية، بالإضافة إلى التعاون مع الجامعات أو الشركات الناشئة الزراعية التي تقدم برامج تعليمية تهدف إلى نقل المعرفة بشكل مباشر إلى الميدان. تعليم المزارعين كيفية التعامل مع البيانات وتحليلها سيساعدهم على اتخاذ قرارات أكثر دقة وتحقيق تحسينات في إنتاجهم (Munyua *et al*., 2019).
- **تنويع مصادر الدخل الزراعي:** تقنيات الزراعة الذكية لا تقتصر فقط على تحسين المحاصيل التقليدية، بل تتيح أيضاً للمزارعين إمكانية تنويع مصادر دخلهم من خلال إنتاج منتجات مبتكرة ذات جودة أعلى. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين إنتاج محاصيل متخصصة للسوق المحلي أو الدخول في تجارة إلكترونية زراعية لبيع منتجاتهم. كما يمكن الاستفادة من النماذج

الزراعية التعاقدية، حيث يمكن توقيع اتفاقيات مع الشركات لتوريد المحاصيل بشكل منتظم، مما يضمن دخلاً ثابتاً ومستداماً. هذه الطرق يمكن أن تزيد من ربحية المزارعين وتدعم الاقتصاد المحلي.

- **استخدام البيانات في اتخاذ القرار:** من المهم أن يعتمد المزارعون على الأدوات الرقمية مثل تطبيقات الهواتف الذكية والمنصات الزراعية لجمع وتحليل البيانات المتعلقة بالطقس والتربة وصحة المحاصيل. البيانات الدقيقة تساعد المزارعين في اتخاذ قرارات مدروسة بشأن توقيت الزراعة وكمية الأسمدة المطلوبة وموعد الري، مما يقلل من الهدر ويزيد من العوائد المالية. الاستثمار في أدوات تحليل البيانات يمكن أن يعزز القدرة على التنبؤ بالأحداث المستقبلية، مثل تغيرات الطقس أو انتشار الآفات، ما يعزز القدرة على التكيف مع الظروف المتغيرة (Kamilaris *et al*., 2018).

- **توصيات لصناع القرار**

- **صياغة سياسات وطنية داعمة للتحول الرقمي الزراعي:** يتعين على الحكومات تطوير أطر تشريعية وتنظيمية تشجع على تبني التقنيات الزراعية الذكية. من خلال تقديم الحوافز الضريبية، وتسهيل استيراد المعدات الحديثة، وتعزيز برامج الابتكار الزراعي، يمكن للحكومات تحفيز القطاع الخاص والمزارعين على اعتماد هذه التقنيات. كما يُستحسن تطوير برامج دعم خاصة للزراعة الرقمية في المناطق النائية حيث يساهم الدعم في تحقيق تكامل بين التقنية والواقع المحلي، مما يسهم في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف (World Bank, 2022).
- **تمكين البنية التحتية الرقمية واللوجستية في الريف:** تُعد البنية التحتية الرقمية من العوامل الأساسية لنجاح الزراعة الذكية، ولذلك من الضروري توسيع مشاريع البنية التحتية في المناطق الريفية لتشمل شبكات الإنترنت عالية السرعة، والطاقة المستدامة، بالإضافة إلى تحسين الطرق. ضمان الوصول

إلى الإنترنت والطاقة سيكون له تأثير مباشر على قدرة المزارعين على استخدام التقنيات الحديثة، مثل منصات البيانات الرقمية والطائرات بدون طيار، مما يعزز فعالية الزراعة الذكية (FAO, 2023).

- **دعم بناء منصات رقمية وطنية للبيانات الزراعية:** يجب على الحكومات إنشاء بوابات رقمية وطنية توفر بيانات دقيقة وشفافة حول المناخ والتربة والأسواق والأمراض النباتية. توفر هذه البيانات أدوات قوية للمزارعين لاتخاذ قرارات أفضل وأكثر دقة، مما يقلل من المخاطر ويزيد من الإنتاجية. التجارب الدولية أثبتت أن الوصول المفتوح إلى هذه البيانات يعزز قدرة المزارعين على التكيف مع التغيرات المناخية والسوقية وتحقيق أفضل العوائد الاقتصادية (FAO, 2023).
- **تحفيز الابتكار المحلي والشراكات البحثية:** دعم الشركات الناشئة والمراكز البحثية لتطوير حلول زراعية ذكية محلية منخفضة التكلفة هو مفتاح تسريع التبني الواسع لتقنيات الزراعة الذكية. من خلال إنشاء حاضنات أعمال زراعية في الجامعات والمناطق الريفية، يمكن دعم الابتكار المحلي، مما يعزز القدرة التنافسية للقطاع الزراعي ويضمن استدامته. كما يُستحسن تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتحقيق حلول مبتكرة وفعّالة تتناسب مع احتياجات المجتمعات الزراعية.
- **وضع آليات تمويل ميسّرة للمزارعين والمستثمرين:** ينبغي للحكومات توفير أدوات تمويل مرنة لدعم المزارعين، مثل القروض المدعومة، القروض المرتبطة بالإنتاج، أو التأمين الزراعي الذكي. هذه الآليات تضمن للمزارعين إمكانية الوصول إلى التكنولوجيا الحديثة دون أن يتعرضوا لأعباء مالية كبيرة. كما يُستحسن إنشاء صناديق خاصة للاستثمار في الزراعة الذكية، مما يساهم في زيادة الاستثمارات في هذا القطاع ويعزز استدامة مشاريع الزراعة الذكية على المدى الطويل.

- **دعم التعليم الزراعي الحديث وبناء رأس المال البشري:** من الضروري تحديث المناهج التعليمية في الكليات الزراعية لتشمل مفاهيم التحول الرقمي، الزراعة الدقيقة، والذكاء الاصطناعي الزراعي. كما يجب توفير برامج تدريبية تركز على المهارات التقنية الحديثة، مما يساعد على تأهيل جيل قادر على قيادة التقدم الزراعي. تزويد المزارعين بالتعليم والتدريب المناسبين سيسهم بشكل كبير في تعزيز تطبيقات الزراعة الذكية في المستقبل.
- **تعزيز الحوكمة والمساءلة الرقمية:** من أجل ضمان نجاح تطبيق الزراعة الذكية، يجب أن تكون هناك آليات فعالة لمراقبة وتقييم الأداء الزراعي باستخدام أدوات حوكمة رقمية. يجب أن تتوافر أنظمة متكاملة لمراقبة تنفيذ السياسات الزراعية الذكية بشكل شفاف، مما يضمن تخصيص الموارد بشكل فعال ويحقق الكفاءة العالية في جميع مراحل تنفيذ السياسات. ستدعم تقنيات الحوكمة الرقمية ضمان الشفافية وتعزيز المساءلة، مما يؤدي إلى تحسين نتائج القطاع الزراعي على مستوى الأفراد والمجتمعات.

إن الزراعة الذكية تمثل تحولاً حيوياً نحو زيادة الإنتاجية الزراعية وتقليل الخسائر وتعزيز الاستدامة البيئية. نجاح هذا التحول يتطلب تكامل الجهود بين المزارعين وصناع القرار من خلال تبني السياسات المواتية، وتوفير الدعم الفني، وتسهيل الوصول إلى التقنيات الحديثة. بالتالي، من خلال التعاون بين جميع الأطراف المعنية، يمكن تحويل الزراعة الذكية إلى ركيزة أساسية لتحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة.

7. الخاتمة

تكشف التحليلات ودراسات الحالة الواردة في هذا الفصل أن الزراعة الذكية لم تعد ترفاً تقنياً أو خياراً مستقبلياً، بل ضرورة استراتيجية لمواجهة التحديات المتزايدة التي تعصف بالأمن الغذائي في ظل تغير المناخ. من خلال تطبيق تقنيات متقدمة مثل الاستشعار عن

بعد، الزراعة الدقيقة، والذكاء الاصطناعي، يمكن تعزيز الإنتاجية الزراعية بشكل كبير، مما يسهم في تقليل الفجوات الغذائية وتحقيق الأمن الغذائي العالمي.

إن استخدام هذه التقنيات لا يقتصر فقط على تحسين الكفاءة الإنتاجية بل يمتد ليشمل دعم استدامة الموارد الطبيعية، وتقليل الهدر، وتحسين جودة المحاصيل. كما أن التكامل بين هذه التقنيات مع السياسات الزراعية الفعالة والحوكمة الرقمية سيسهم في تعزيز فعالية المشاريع الزراعية، مما يدعم تحقيق التنمية المستدامة في جميع المناطق، سواء كانت متقدمة أو نامية.

من خلال الاستفادة من دراسات الحالة والتطبيقات الميدانية في دول مختلفة، يمكننا أن نرى أن الابتكار الزراعي هو الطريق الأمثل لتقليل الاعتماد على الاستيراد، وتطوير الحلول المحلية القادرة على مواجهة تحديات المناخ والاقتصاد العالمي. كما أن التركيز على التعليم الزراعي وبناء القدرات للمزارعين، إلى جانب التحفيز الحكومي والشراكات بين القطاعين العام والخاص، سيساهم بشكل كبير في تعزيز تبني هذه التقنيات وضمان استدامتها على المدى الطويل.

إذاً، الزراعة الذكية ليست مجرد خيار تكنولوجي، بل هي ركيزة أساسية نحو بناء مستقبل غذائي أكثر أمناً وعدالة واستدامة.

8. المراجع

الوطن. 2023. الزراعة الذكية مناخياً في الإمارات.. حلول مبتكرة لتحقيق الأمن الغذائي وحماية البيئة. https://alwatan.ae/posts/1168239

FAO. (2023). *Digital Agriculture and Food Security in China*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831.

IFPRI. (2024). *Green Morocco Plan: Ten Years of Agricultural Transformation*. International Food Policy Research Institute. https://www.ifpri.org

Indian Council of Agricultural Research. (2023). *Smart Agriculture in India: Digital Tools for Smallholders*. Government of India.

Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.

Munyua, H., Jensen, N., & Murithi, J. (2019). Digital agriculture for smallholder farmers: Opportunities and challenges. *Agricultural Systems*, 176, 102656.

Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2021). Innovation in precision agriculture: Improved irrigation scheduling and disease detection using AI and sensors. *Agricultural Water Management*, 244, 106586.

UAE Ministry of Climate Change and Environment. (2023). *Food Security Strategy and Smart Agriculture Initiatives*. https://www.moccae.gov.ae

Van Evert, F., Hofstee, J., & Rossing, W. A. (2020). Smart farming in the Netherlands: Precision agriculture implementation and impact assessment. *Precision Agriculture*, 21(3), 512-528.

Van Hooijdonk, A. (2023). *Feeding the World from a Tiny Country: The Dutch Agricultural Miracle*. Wageningen University & Research.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

World Bank. (2024). *Agricultural Digital ID Programs: Case Study from Nigeria*. https://www.worldbank.org

World Economic Forum. (2022). *Digital Agriculture: Empowering Farmers with Emerging Technologies*. https://www.weforum.org

Xiong, W., Holman, I., Lin, E., Conway, D., & Wang, Y. (2021). *Climate-smart agriculture in practice: A*

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.

الفصل 41 - استراتيجيات تبني الزراعة الذكية في الدول النامية

المحتويات

1. المقدمة
2. تحليل الوضع الراهن في الدول النامية
3. استراتيجيات ناجحة لتعزيز تبني التكنولوجيا
4. دور التعاون الدولي والتمويل
5. بناء القدرات وتمكين المجتمعات الريفية
6. خطط واستراتيجيات مستقبلية للتحول الرقمي الزراعي في الدول النامية
7. أهم النقاط وتوصيات للمستقبل
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

تواجه الدول النامية تحديات متعددة في سعيها لتحقيق أمن غذائي مستدام في ظل تغيرات مناخية متسارعة، وزيادة مطردة في عدد السكان، وتراجع في الموارد الطبيعية. وفي هذا السياق، تبرز الزراعة الذكية كأداة استراتيجية لمعالجة هذه التحديات عبر الدمج بين الابتكار التكنولوجي، والإدارة المستدامة للموارد، والتخطيط المؤسسي الفعال. ورغم التقدم الملحوظ في بعض الدول المتقدمة، إلا أن تبني الزراعة الذكية في الدول النامية لا يزال محدوداً نسبياً بسبب عوائق بنيوية وتقنية واقتصادية.

تشير تقارير منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2023) إلى أن أقل من 15% من المزارعين في الدول ذات الدخل المنخفض يستخدمون أدوات رقمية أو ممارسات زراعية ذكية، مقارنةً بأكثر من 50% في الاقتصادات الصاعدة. ويرجع ذلك إلى عوامل تشمل ضعف البنية التحتية الرقمية، نقص التمويل، محدودية الوعي بالتكنولوجيا، والفجوة التعليمية في المجتمعات الريفية.

ومع ذلك، فإن عدداً من المبادرات الدولية والإقليمية بدأت تثمر نتائج واعدة، إذ أظهرت تجارب مثل "التحول الزراعي الرقمي في رواندا" و"مشروع الزراعة الدقيقة في فيتنام" كيف يمكن للسياسات المتكاملة، والدعم المؤسسي، وبناء القدرات أن تؤسس لبيئة مواتية لتبني الزراعة الذكية (World Bank, 2024; CGIAR, 2023) .

يهدف هذا الفصل إلى تحليل السياق الحالي للزراعة الذكية في الدول النامية، وتحديد الاستراتيجيات المثلى لتسريع تبنيها على نطاق واسع. ويناقش الفصل النماذج الناجحة، وأدوار التمويل الدولي والتعاون الإقليمي، وأهمية تمكين المجتمعات المحلية، إلى جانب عرض خطط مستقبلية وتوصيات عملية موجهة لصناع القرار والجهات الفاعلة في القطاع الزراعي.

2. تحليل الوضع الراهن في الدول النامية

تعاني العديد من الدول النامية من تحديات هيكلية تؤثر على قدرة نظمها الزراعية على تبني تقنيات الزراعة الذكية بشكل فعال. هذه التحديات تحتاج إلى حلول مبتكرة لضمان تحسين استدامة الإنتاج الزراعي، وتعزيز الأمن الغذائي في هذه البلدان.

- **ضعف البنية التحتية الرقمية**

تعد البنية التحتية الرقمية من أبرز التحديات التي تواجه الزراعة الذكية في الدول النامية. العديد من المناطق الريفية تعاني من محدودية الاتصال بالإنترنت وضعف تغطية الشبكات اللاسلكية، مما يحد من قدرة المزارعين على الوصول إلى البيانات الزراعية الرقمية والتطبيقات الذكية. عدم وجود الإنترنت عالي السرعة أو تغطيته بشكل كافٍ يعطل القدرة على استخدام التقنيات مثل الاستشعار عن بُعد، والطائرات بدون طيار، والمنصات الزراعية الذكية (ITU, 2023). لذا، فإن غياب هذه البنية التحتية يعيق تحوّل الزراعة الذكية إلى واقع قابل للتطبيق على نطاق واسع.

- **نقص الموارد المالية**

غالباً ما تفتقر الحكومات والمزارعون الصغار إلى التمويل الكافي لتحديث الأنظمة الزراعية، مما يشكل عائقاً أمام توسع الزراعة الذكية. شراء الأجهزة المتقدمة مثل الطائرات بدون طيار، نظم الري الذكية، والحساسات الزراعية يتطلب استثمارات مالية ضخمة، وهو ما لا يتوفر لدى العديد من المزارعين الذين يعملون في نطاقات صغيرة. في كثير من الأحيان، تجد الدول النامية صعوبة في تخصيص التمويل الكافي لدعم مشروعات الزراعة الرقمية (World Bank, 2024). عدم توفر الدعم المالي يعطل قدرة المزارعين على تبني هذه التقنيات الحديثة، وهو ما يعيق التوسع في الزراعة الذكية.

- **الوعي والتدريب المحدود**

رغم أهمية التكنولوجيا في الزراعة، تفتقر العديد من الدول النامية إلى فرص التدريب المتخصص في التقنيات الحديثة. نقص الوعي بين المزارعين حول فوائد هذه التقنيات يعزز من مقاومة التغيير، خصوصاً في المجتمعات الريفية التي تعاني من مستويات تعليمية منخفضة. كما أن هناك قلة في البرامج التعليمية التي تركز على استخدام التقنيات الرقمية، مما يقلل من قدرة المزارعين على استخدام الأدوات الذكية مثل تطبيقات الهواتف الذكية والبرمجيات الزراعية (FAO, 2023). لذلك، يعد توفير التدريب المتخصص والمستمر أحد العوامل الأساسية التي تدعم عملية التبني الناجح للزراعة الذكية.

- **التحديات البيئية والاجتماعية**

تواجه الأنظمة الزراعية في الدول النامية ضغوطات بيئية واجتماعية متزايدة تؤثر على استدامة الإنتاج الزراعي. من بين هذه التحديات:

  - **التغير المناخي**، الذي يزيد من صعوبة التنبؤ بمواسم الزراعة وظروف الطقس.

- **تدهور الأراضي** بسبب الإفراط في الزراعة واستخدام الأسمدة والمبيدات بطريقة غير مستدامة.
- **الهجرة الريفية**، حيث يهاجر الشباب من المناطق الريفية إلى المدن بحثاً عن فرص أفضل، مما يؤدي إلى نقص في الأيدي العاملة في القطاع الزراعي.

هذه العوامل تجعل من الصعب على النظم الزراعية التكيف مع التكنولوجيا الحديثة، حيث لا يمكن تطبيق بعض تقنيات الزراعة الذكية في بيئات معينة دون معالجة هذه التحديات البيئية والاجتماعية (IPCC, 2023). تعتبر هذه التحديات بمثابة عائق إضافي أمام تنفيذ حلول الزراعة الذكية بشكل فعال.

تظهر التحديات الهيكلية التي تواجه الدول النامية في مجال الزراعة الذكية بوضوح، وتحتاج هذه الدول إلى استراتيجيات مبتكرة للتغلب على قضايا مثل ضعف البنية التحتية الرقمية، نقص التمويل، الوعي المحدود، والتحديات البيئية والاجتماعية. تجاوز هذه التحديات يتطلب شراكات استراتيجية بين الحكومات والقطاع الخاص والمنظمات الدولية، مع دعم تكاملي من خلال تطوير البنية التحتية الرقمية، وتوفير برامج تدريبية، وتحفيز الاستثمار في التقنيات الحديثة.

3. استراتيجيات ناجحة لتعزيز تبني التكنولوجيا

تعمل الدول النامية على تبني مجموعة من الاستراتيجيات لتسهيل تبني تقنيات الزراعة الذكية، مما يساهم في تجاوز العقبات الهيكلية التي تقف أمام تحسين الإنتاجية وتحقيق الاستدامة في القطاع الزراعي. تتضمن هذه الاستراتيجيات العديد من الجوانب التقنية والتنظيمية والتمويلية، والتي يمكن أن تحفز الاستخدام الواسع لهذه التقنيات في مختلف السياقات المحلية.

- **تطوير البنية التحتية الرقمية الريفية**

من أبرز الخطوات التي اتخذتها الحكومات في الدول النامية هو تحسين البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية. ويشمل ذلك توفير شبكات الإنترنت عالية

السرعة لتسهيل الوصول إلى البيانات الزراعية وتحسين التواصل بين المزارعين والمستشارين الزراعيين. على سبيل المثال، في كينيا، أطلقت الحكومة مشروع "بريتش" الذي ربط آلاف المزارعين بشبكة الإنترنت، مما ساعد على زيادة استخدام التطبيقات الذكية بنسبة 35% خلال ثلاث سنوات (ITU, 2023). هذا النوع من الاستثمارات يساهم في تحسين الوصول إلى التقنيات الزراعية ويسهل تبادل المعلومات الضرورية لتحسين الإنتاج.

- **تحفيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص**

تعزيز الشراكات بين الحكومات والشركات الخاصة يعد عنصراً أساسياً لنجاح تبني الزراعة الذكية في الدول النامية. من خلال هذه الشراكات، يمكن توفير التكنولوجيا بأسعار معقولة، بالإضافة إلى تقديم دعم خدمات ما بعد البيع مثل الصيانة والتدريب. في نيجيريا، ساعدت شراكة بين الحكومة وشركة ناشئة في مجال الزراعة الذكية على توزيع حساسات التربة بأسعار مدعومة، مما أدى إلى زيادة كفاءة استخدام الأسمدة بنسبة 25% (World Bank, 2024). مثل هذه الشراكات تمثل نموذجاً فعالاً لجلب التقنيات الحديثة إلى المزارعين بأسعار معقولة.

- **برامج تمويل ميسرة للمزارعين**

من خلال توفير قروض ميسرة وبرامج تمويل جماعي (Crowdfunding)، يمكن دعم المزارعين الصغار وتمكينهم من شراء التقنيات الحديثة مثل نظم الري الذكي، الطائرات بدون طيار، وغيرها من أدوات الزراعة الدقيقة. على سبيل المثال، في فيتنام، ساعدت هذه البرامج في زيادة استخدام نظم الري الذكي بنسبة 40% (Asian Development Bank, 2023). تمويل هذه التقنيات بأسعار ميسرة يضمن أن تصبح التكنولوجيا أكثر وصولاً للمزارعين في المناطق النائية والفقيرة.

- **التوعية والتعليم المستمر**

لا تقتصر عملية تبني الزراعة الذكية على توفير التقنيات فحسب، بل تشمل أيضاً التوعية بأهمية هذه التقنيات. تهدف حملات التوعية إلى زيادة قبول المزارعين للتكنولوجيا من خلال التدريب والتعليم المستمر. في الهند، تم إطلاق مبادرة "مزارع المستقبل" التي استخدمت الواقع الافتراضي وتقنيات المحاكاة لتدريب المزارعين على استخدام التقنيات الزراعية الذكية، مما أسهم في زيادة استخدام التقنيات الحديثة لدى المزارعين (ICAR, 2023).

- **تكييف التكنولوجيا مع الخصوصيات المحلية**

يعد تكييف التكنولوجيا مع الظروف المحلية أحد العوامل الأساسية التي تساهم في تبني الزراعة الذكية في الدول النامية. يجب تصميم الحلول الزراعية بحيث تتوافق مع الظروف المناخية، الثقافية، والاقتصادية لكل منطقة. في كينيا، على سبيل المثال، تم تطوير نظام ري ذكي يعمل بالطاقة الشمسية يناسب المناطق النائية ذات الكهرباء المحدودة، مما يسمح للمزارعين باستخدام التكنولوجيا بدون الحاجة إلى شبكة كهرباء مستقرة (FAO, 2023). هذا النوع من الحلول الذكية يضمن استدامة المشروع ويعزز قبول المجتمع للتكنولوجيا.

- **إنشاء منصات رقمية متكاملة**

في إطار التحول الرقمي الزراعي، يتم تطوير منصات رقمية تهدف إلى تجميع بيانات الطقس والسوق وأساليب الزراعة الذكية في مكان واحد. هذه المنصات توفر بيانات دقيقة وفي الوقت المناسب، مما يمكن المزارعين من اتخاذ قرارات مدروسة. كما تساهم هذه المنصات في تبسيط الوصول إلى المعلومات المتعلقة بتقنيات الزراعة الذكية وتعزز من مشاركة المعرفة بين المزارعين.

تعكس هذه الاستراتيجيات الناجحة جهود الدول النامية في تعزيز تبني الزراعة الذكية من خلال تطوير البنية التحتية الرقمية، توفير تمويل ميسر، وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص. كما أن التعليم المستمر والتوعية يعدان من العوامل

الرئيسية لضمان تبني المزارعين لهذه التقنيات. ومع تكييف التكنولوجيا مع الخصوصيات المحلية، يمكن لهذه الاستراتيجيات أن تساهم بشكل كبير في تحقيق تحول رقمي مستدام في الزراعة، مما يسهم في تحسين الأمن الغذائي والتنمية المستدامة في هذه الدول.

4. دور التعاون الدولي والتمويل

يُعد التعاون الدولي و التمويل من العناصر الأساسية التي تسهم في دعم تبني الزراعة الذكية في الدول النامية. تلعب المؤسسات الدولية والجهات المانحة والبنوك التنموية دوراً محورياً في توفير الموارد المالية والخبرات التقنية، مما يسهل نقل التكنولوجيات الحديثة إلى هذه الدول. إن التعاون بين مختلف الأطراف يمكن أن يسهم بشكل كبير في تحقيق تحول رقمي مستدام للقطاع الزراعي. ومن أبرز أبعاد هذا التعاون:

- **تمويل المشاريع والبنى التحتية**

تعتبر المؤسسات المالية الدولية مثل البنك الدولي والبنك الإفريقي للتنمية من الجهات المانحة البارزة التي تدعم تطوير البنية التحتية الرقمية الزراعية في الدول النامية. فهذه المؤسسات تقدم تمويلات ميسرة لدعم المشاريع البحثية، وتوسيع الأنظمة الزراعية الذكية، والمساعدة في تنفيذ برامج نشر التقنيات الرقمية. على سبيل المثال، البنك الدولي مول مشروع "الزراعة الذكية في أفريقيا"، الذي يهدف إلى تحسين الإنتاجية وتقليل الفاقد من المحاصيل باستخدام التقنيات الرقمية (World Bank, 2024). هذا النوع من التمويل يساعد في تطوير البنية التحتية الزراعية وتحسين إنتاجية المحاصيل بشكل مستدام.

- **نقل التكنولوجيا والمعرفة**

يُسهم التعاون الدولي في نقل التكنولوجيا المتقدمة إلى الدول النامية من خلال الاتفاقيات الثنائية والتعاون متعدد الأطراف .العديد من المنظمات الدولية مثل منظمة الأغذية والزراعة (FAO) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP)

تقدم ورش عمل تدريبية وبرامج تعليمية بهدف بناء القدرات المحلية في الدول النامية. تساعد هذه البرامج على تعزيز القدرات المؤسسية وتطوير مهارات المزارعين في استخدام التقنيات الزراعية الحديثة (FAO, 2023).

- **الشراكات متعددة القطاعات**

يشجع التعاون الدولي على إقامة شراكات متعددة القطاعات تجمع بين الحكومات والقطاع الخاص والمجتمع المدني والمنظمات الدولية. هذه الشراكات تعمل على تطوير حلول متكاملة تراعي الاحتياجات المحلية. مثال على ذلك، منصة تحالف الزراعة الذكية التي تجمع بين عدة أطراف لتعزيز الابتكار الزراعي في آسيا وإفريقيا، مما يتيح تبادل المعرفة والموارد وتطوير تقنيات زراعية مناسبة لمختلف الظروف المحلية (Alliance for a Green Revolution in Africa, 2023).

- **دعم الابتكار وريادة الأعمال الزراعية**

التعاون الدولي يعزز من دعم الابتكار في القطاع الزراعي من خلال تمويل حاضنات الأعمال ومسرعات ريادة الأعمال التي تساعد الشركات الناشئة في مجال التكنولوجيا الزراعية. هذه الحاضنات توفر المنح و القروض الميسرة لتسريع تطوير حلول مبتكرة تعالج التحديات المحلية. على سبيل المثال، صندوق الابتكار الزراعي العالمي يقدم دعماً مالياً للمشاريع التي تسهم في تحسين الإنتاج الزراعي وتوسيع استخدام التقنيات الرقمية (GIA, 2024).

- **تعزيز الاستدامة البيئية والاجتماعية**

إلى جانب الابتكار التكنولوجي، يعزز التعاون الدولي الاستدامة البيئية والاجتماعية من خلال دمج أهداف التنمية المستدامة (SDGs) في استراتيجيات الزراعة الذكية. يركز هذا التعاون على تحسين الأمن الغذائي وتقليل انبعاثات الكربون وحماية التنوع البيولوجي. من خلال العمل المشترك بين المنظمات الدولية والحكومات،

يتم ضمان أن تكنولوجيا الزراعة الذكية تتوافق مع الأبعاد البيئية والاجتماعية لضمان استدامة القطاع الزراعي (UNDP, 2023).

- **آليات التمويل المبتكرة**

بالإضافة إلى التمويل التقليدي، يظهر التمويل الأخضر والسندات الخضراء وصناديق المناخ كآليات تمويل مبتكرة لدعم مشاريع الزراعة الذكية التي تساهم في مكافحة التغير المناخي. هذه الآليات توفر موارد مالية لدعم المشاريع البيئية التي تهدف إلى تحسين الإنتاج الزراعي باستخدام تقنيات مستدامة تسهم في تقليل الآثار السلبية للتغير المناخي.

يُظهر التعاون الدولي أن التنسيق الفعال بين الحكومات والقطاع الخاص والمؤسسات المالية الدولية والمنظمات غير الحكومية يمكن أن يسهم في تحقيق تحول رقمي مستدام في القطاع الزراعي في الدول النامية. من خلال توفير التمويل الميسر ونقل المعرفة ودعم الابتكار، يمكن تسريع تبني تقنيات الزراعة الذكية وتحقيق استدامة بيئية واجتماعية في المستقبل.

5. بناء القدرات وتمكين المجتمعات الريفية

يُعد بناء القدرات وتمكين المجتمعات الريفية من العوامل الحاسمة لضمان نجاح تبني الزراعة الذكية في الدول النامية. فالتكنولوجيا وحدها لا تكفي إذا لم تكن هناك قدرة حقيقية على استخدامها بشكل فعّال ومستدام. لذلك، تتطلب الاستراتيجية شمولية في تعزيز المهارات والمعرفة، بالإضافة إلى توفير بيئة داعمة تمكن المجتمعات الريفية من تحقيق التنمية الزراعية المستدامة.

- **تطوير المهارات والمعرفة التقنية**
  - **التدريب التقني والميداني**: من الضروري تصميم برامج تدريبية متخصصة تتناسب مع مستوى المزارعين والعمال الزراعيين، والتي تركز على تعليمهم استخدام الأجهزة الذكية، تطبيقات الهواتف الذكية الزراعية، نظم إدارة المياه،

وأدوات التحليل الرقمي. يجب أن تشمل هذه البرامج تدريبات عملية ميدانية تُحاكي ظروف العمل الفعلية في الحقول، مما يساعد على تعزيز مهاراتهم التقنية بشكل ملموس. تجارب دول مثل كينيا والهند أثبتت أن التدريب الميداني يعزز من كفاءة استخدام التقنيات بنسبة تزيد على 30% (IFPRI, 2024). فالتدريب المستمر يساعد المزارعين على تفعيل إمكانيات هذه التقنيات في تحسين ممارساتهم الزراعية وزيادة إنتاجهم، مما يُسهم في تحقيق نتائج إيجابية ملحوظة في الإنتاجية.

- **التوعية بأهمية التكنولوجيا**: تلعب حملات التوعية دوراً محورياً في تسهيل انتقال المزارعين من الأساليب التقليدية إلى استخدام الحلول التكنولوجية الحديثة. من خلال برامج توعية تستهدف المجتمعات الزراعية باستخدام وسائل الإعلام المحلية، وتنظيم ورش عمل مجتمعية، يمكن تبديد المخاوف من التكنولوجيا الجديدة. تهدف هذه الحملات إلى رفع الوعي حول الفوائد العديدة التي يمكن أن تحققها الزراعة الذكية مثل توفير المياه، تحسين الإنتاجية، وتقليل التكاليف، مما يشجع المزارعين على تبني التقنيات الحديثة بأريحية أكبر.

- **تمكين المزارعين الصغار والنساء والشباب**

- **دعم المزارعين الصغار**: تمثل الزراعة الصغيرة الجزء الأكبر من الإنتاج الزراعي في العديد من الدول النامية، ولذا يعد تمكين المزارعين الصغار من خلال الدعم المالي والتقني أمراً أساسياً. يمكن تقديم برامج إقراض ميسرة ومساعدات مالية لتحفيز المزارعين على تبني تقنيات الزراعة الذكية. إضافة إلى ذلك، يجب توفير البذور المحسنة وخدمات الإرشاد الزراعي الرقمي التي تُساعد المزارعين على اتخاذ قرارات مبنية على البيانات. هذه الخدمات تمنحهم الأدوات اللازمة لتحسين إدارة المحاصيل وتوفير الموارد بشكل فعال، مما يعزز إنتاجيتهم ويزيد من استدامة الزراعة الصغيرة.

- **تمكين النساء**: في العديد من المجتمعات الريفية، تشكل النساء الركيزة الأساسية للقطاع الزراعي، حيث يتحملن مسؤوليات كبيرة في العمل الزراعي. ولذا، فإن تمكين النساء في الزراعة الذكية يمثل خطوة محورية نحو تحسين الإنتاجية الزراعية في المناطق الريفية. من المهم توفير فرص متكافئة لهن للوصول إلى التدريب على استخدام التقنيات الحديثة مثل الزراعة الدقيقة أو استخدام التطبيقات الزراعية، مما يعزز من دورهن في الاقتصاد المحلي. كما يجب العمل على إزالة الحواجز الثقافية والاجتماعية التي قد تقيد مشاركة النساء في هذا التحول الرقمي.
- **إشراك الشباب**: الشباب هم عماد المستقبل، وتشجيعهم على الانخراط في الزراعة الذكية يمكن أن يكون له تأثير إيجابي كبير على تحديث القطاع الزراعي. من خلال برامج تعليمية وتدريبية مبتكرة، يمكن ربط الشباب بالمشاريع الريادية التي تدمج التكنولوجيا والابتكار. هذه البرامج يجب أن توفر لهم المهارات التقنية الحديثة وتعرضهم لفرص ريادة الأعمال الزراعية. إن تعزيز مشاركة الشباب في الزراعة الذكية يساعد في تجديد النسيج الزراعي، ويقلل من ظاهرة الهجرة إلى المدن، حيث يجدون فرصاً جديدة للتوظيف والاستثمار في مجالات الزراعة المتقدمة.

- **بناء مؤسسات داعمة**

- **مراكز الابتكار الزراعي**: يجب تأسيس مراكز ابتكار زراعي تعمل كمراكز تقنية وخدمية للمزارعين. هذه المراكز يجب أن تقدم الدعم الفني المستمر والتدريب على التقنيات الزراعية الحديثة، مثل الزراعة الذكية والروبوتات الزراعية. بالإضافة إلى ذلك، توفر هذه المراكز خدمات الصيانة والتحديث للتقنيات المستخدمة في الحقول. من خلال توفير هذه الموارد، يمكن أن تساعد مراكز الابتكار على ضمان استدامة استخدام التكنولوجيا في الزراعة وتحقيق أقصى استفادة منها على المدى الطويل.

- **الشراكات المجتمعية**: يعد تعزيز التعاون بين المزارعين، الجمعيات التعاونية، والقطاع الخاص من العوامل الأساسية لتطوير الزراعة الذكية. الشراكات المجتمعية تتيح تبادل المعرفة والخبرات بين المزارعين، مما يعزز من قدرة الجميع على تبني تقنيات الزراعة الذكية بشكل فعال. بالإضافة إلى ذلك، من خلال هذه الشراكات، يمكن تحسين الوصول إلى الأسواق والموارد المالية، مما يساهم في تقليل الفجوات بين المزارعين الصغار والكبار، ويسهل الوصول إلى التقنيات المتطورة.
- **الدعم الحكومي والإطار التشريعي**: لتشجيع تطوير الزراعة الذكية، يجب على الحكومات توفير بيئة تنظيمية مناسبة تعزز من التعلم المستمر والتطوير التقني في القطاع الزراعي. يتطلب ذلك إطاراً تشريعياً يحمي حقوق المزارعين والمستهلكين ويشجع على الاستثمار في قطاع الزراعة. يجب أن يتضمن هذا الدعم الحكومي تقديم حوافز لاستثمار الشركات في تقنيات الزراعة الذكية، وتوفير برامج تدريبية موجهة للمزارعين، بالإضافة إلى تحسين قوانين الملكية الفكرية لحماية الابتكارات المحلية.

- **استخدام التكنولوجيا في التعليم الزراعي**

- **التعليم الإلكتروني والتعلم عن بُعد**: يعد التعليم الإلكتروني أداة قوية لتوسيع نطاق التدريب الزراعي، خاصة في المناطق الريفية والنائية حيث يصعب الوصول إلى برامج التدريب التقليدية. من خلال منصات التعليم الرقمي، يمكن للمزارعين من جميع أنحاء المناطق الريفية الحصول على معلومات ودورات تدريبية متخصصة في الزراعة الذكية دون الحاجة للسفر أو الحضور الشخصي. هذا يقلل من الحواجز الجغرافية التي تمنع الوصول إلى التعليم الزراعي، ويزيد من فرص الوصول إلى أحدث التقنيات والممارسات الزراعية.
- **الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي**: يمكن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في تصميم برامج تعليمية متخصصة تلائم احتياجات المتعلمين

ومستوى خبرتهم. مثلاً، يمكن إنشاء أنظمة ذكية تقيم مستوى المعرفة الحالي للمزارع، وتُوصي بمحتوى تدريبي مخصص وفقاً لمستوى فهمه. كما يمكن لهذه الأنظمة أن توفر دروساً عملية، محاكاة، وأدوات تعليمية تفاعلية تحسن من فعالية تعلم الزراعة الذكية. هذه الأدوات تساهم في تسريع تبني التقنيات وتحسين نتائج التدريب بشكل ملحوظ.

يمثل بناء القدرات وتوسيع الوصول إلى التعليم الزراعي عن طريق التكنولوجيا خطوة حاسمة نحو ضمان تبني واسع النطاق للزراعة الذكية في الدول النامية. من خلال التعليم الرقمي وتقنيات الذكاء الاصطناعي، يمكن تزويد المزارعين بالمعرفة والمهارات اللازمة، مما يسهم في تحقيق زراعة أكثر استدامة ومرونة، وبالتالي تعزيز الأمن الغذائي والتنمية المستدامة.

6. خطط واستراتيجيات مستقبلية للتحول الرقمي الزراعي في الدول النامية

يشكل التحول الرقمي في القطاع الزراعي حجر الأساس لتحقيق التنمية المستدامة، والقدرة على مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية والاجتماعية في الدول النامية. تتطلب الخطط المستقبلية استراتيجيات متكاملة تدمج التكنولوجيا، السياسات، والتمكين المجتمعي لضمان فعالية واستمرارية التحول الرقمي الزراعي.

- **بناء بنية تحتية رقمية قوية**

  - **توسيع شبكات الاتصالات**: إن توفير الإنترنت عالي السرعة في المناطق الريفية يعتبر أحد الركائز الأساسية لتحفيز التحول الرقمي في الزراعة. ينبغي على الحكومات والمستثمرين العمل على تحسين شبكات الاتصالات في المناطق الريفية باستخدام تقنيات مبتكرة مثل الشبكات اللاسلكية وتقنيات الجيل الخامس (5G)، مما سيسهم في توفير اتصال سريع وآمن يمكن المزارعين من الوصول إلى التطبيقات الزراعية الرقمية والبيانات المهمة في الوقت الفعلي.

هذا سيسهل تبني الزراعة الذكية ويعزز من قدرة المزارعين على اتخاذ قرارات مستنيرة وفعالة.

- **إنشاء منصات رقمية متكاملة**: تطوير منصات رقمية موحدة تشكل نقطة تجمع للبيانات الزراعية سيكون له دور محوري في تعزيز الإنتاجية الزراعية في الدول النامية. هذه المنصات يجب أن تدمج بيانات الطقس والتربة والأسواق والتوجيه الزراعي من أجل تمكين المزارعين من اتخاذ قرارات زراعية مبنية على معلومات دقيقة وفي الوقت المناسب. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين استخدام هذه المنصات لتخطيط مواعيد الزراعة وفقاً لتوقعات الطقس الدقيقة، أو لتحديد أفضل وقت للري بناءً على تحليل رطوبة التربة. كما يمكن للمزارعين الصغار الوصول إلى نصائح إرشادية متوافقة مع ظروفهم المحلية.

هذه الخطوات ستساعد في بناء بيئة ملائمة لدعم الزراعة الذكية، مما يمكن الدول النامية من تحسين استدامة إنتاجها الزراعي، وتعزيز الأمن الغذائي، وتحقيق التنمية المستدامة في القطاع الزراعي.

- **تعزيز التكامل بين التكنولوجيا والسياسات**

- **استراتيجيات وطنية للتحول الرقمي**: من أجل تحقيق تحول رقمي فعّال في الزراعة، يجب على الدول النامية تطوير استراتيجيات وطنية شاملة تدمج التحول الرقمي كجزء أساسي من خططها الزراعية. يجب أن تشمل هذه الاستراتيجيات آليات تمويل مرنة للمشاريع الرقمية، تشريعات داعمة تشجع على استخدام التكنولوجيا، وأطر تعاون مستدامة بين الحكومة، القطاع الخاص، والمؤسسات الدولية. على سبيل المثال، يجب أن يتضمن كل إطار تنظيمي توجيه السياسات نحو دعم استخدام الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والطائرات بدون طيار في الزراعة، مع التركيز على تكامل هذه التقنيات في الممارسات الزراعية اليومية.

- **حوافز الابتكار والاستثمار**: تقديم حوافز مالية وتشجيعية للمشاريع الريادية في مجال الزراعة الرقمية أمر بالغ الأهمية لتسريع التحول الرقمي. يجب على الحكومات أن تقدم تسهيلات ضريبية، قروض منخفضة الفائدة، ودعماً مالياً للابتكارات التي تسعى لتحسين تقنيات الزراعة الذكية. كما يمكن تخصيص صناديق دعم حكومية لدعم الشركات الناشئة التي تسعى لتطوير حلول تكنولوجية مبتكرة تلبي احتياجات المزارعين في الدول النامية. هذه الحوافز يمكن أن تعزز من بيئة الابتكار، وتجذب الاستثمارات المحلية والدولية، وتساعد على تسريع تبني التقنيات الحديثة في الزراعة.

من خلال هذه الاستراتيجيات، يمكن للدول النامية أن تبني بيئة تشجع على الابتكار المستدام، مما يسهم في تحسين إنتاجية الزراعة وتلبية احتياجات الأمن الغذائي في المستقبل.

- **تطوير نماذج أعمال مستدامة**

- **نموذج الزراعة كخدمة (Agriculture-as-a-Service):** يعد تطوير نموذج الزراعة كخدمة خطوة مهمة نحو جعل الزراعة الرقمية أكثر شمولية وقابلة للوصول، خاصة في الدول النامية. يمكن توسيع خدمات الاستشارات الزراعية الرقمية، مثل تقديم التوصيات بشأن الزراعة الدقيقة، وتوفير البذور والأسمدة عبر الإنترنت، وتقديم خدمات صيانة التكنولوجيا بشكل مستمر. هذا النموذج يمكن أن يزيل العقبات المالية الكبيرة التي قد يواجهها المزارعون في شراء تقنيات حديثة، حيث يُمكنهم استخدام هذه الخدمات مقابل اشتراكات صغيرة أو دفع حسب الاستخدام. كما يوفر هذا النموذج للمزارعين حلولاً مرنة بناءً على احتياجاتهم، ما يسهم في تقليل التكاليف وتوسيع نطاق الوصول إلى التقنيات المتقدمة.
- **الشراكات بين القطاعين العام والخاص**: تعتبر الشراكات بين القطاعين العام والخاص أحد العوامل الرئيسية لضمان استدامة تطبيقات الزراعة الذكية. من

خلال التعاون بين الحكومات، الشركات التكنولوجية، والمؤسسات الأكاديمية، يمكن تطوير حلول مبتكرة تلبي احتياجات الزراعة المحلية وتوسيع نطاقها إلى أكبر عدد من المزارعين. مشاركة المعرفة والمخاطر في هذه الشراكات تساهم في تسريع تبني التكنولوجيا، فضلاً عن تقليل العواقب السلبية المحتملة، مثل تقلبات السوق أو التحديات التقنية. لذلك، من الضروري تحفيز القطاع الخاص للاستثمار في تطوير حلول مبتكرة بالتعاون مع الجهات الحكومية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

- **التوسع في استخدام تقنيات متقدمة**

  - **الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء:** تتسم تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بقدرتها على تحسين دقة قرارات المزارعين عبر جمع وتحليل بيانات دقيقة في الوقت الفعلي. يمكن توسيع استخدام هذه التقنيات في رصد المحاصيل، تتبع جودة التربة، وتشخيص الآفات أو الأمراض بدقة أكبر. هذا يسمح للمزارعين بالتدخل المبكر، مما يقلل من هدر الموارد ويزيد من الكفاءة. على سبيل المثال، يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بأوقات الري المثلى استناداً إلى بيانات الرطوبة في التربة والظروف الجوية، بينما يمكن لإنترنت الأشياء توصيل أجهزة الاستشعار بشكل مباشر لتقديم البيانات المطلوبة للمزارعين.
  - **الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية**: استخدام الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية في الزراعة يعزز من الكفاءة الإنتاجية ويوفر الوقت. يمكن للطائرات بدون طيار إجراء عمليات مسح أرضية، توفير صور حرارية، ورصد صحة المحاصيل بشكل دوري. كما أن الروبوتات يمكن أن تُستخدم في عمليات الزراعة والحصاد، مما يقلل من الحاجة إلى العمالة المكثفة. على سبيل المثال، في حقول الخضروات أو الفواكه، يمكن للروبوتات أن تقوم بجمع

المحاصيل بشكل أسرع وأكثر دقة من الطرق التقليدية، مما يزيد من الإنتاجية ويخفض التكاليف.

- **التركيز على الاستدامة والمرونة المناخية**

➢ **الزراعة المناخية الذكية**: تتطلب التغيرات المناخية المتسارعة أن تكون النظم الزراعية مرنة وتتكيف بسرعة مع التحديات البيئية. الزراعة المناخية الذكية تهدف إلى تكييف الممارسات الزراعية مع المناخ المتغير، من خلال استخدام البيانات البيئية المتقدمة (مثل تقارير المناخ والرطوبة في التربة) لمساعدة المزارعين في اتخاذ قرارات دقيقة. هذه الأنظمة الذكية تُمكّن المزارعين من تقليل المخاطر المرتبطة بتغيرات الطقس (مثل الجفاف أو الفيضانات) من خلال تحسين تخصيص الموارد مثل المياه والسماد، وبالتالي تحسين الإنتاجية الزراعية.

➢ **إدارة الموارد الطبيعية بكفاءة**: يجب أن تكون الزراعة الذكية مستدامة بيئياً من خلال تحسين استخدام الموارد الطبيعية مثل المياه والأراضي. من خلال تقنيات مثل الري الذكي، التي تعتمد على الاستشعار عن بُعد لضبط كميات المياه المستخدمة، يمكن تقليل الفاقد وتحقيق المزيد من الفاعلية. كما يجب أن تدعم التقنيات الزراعية المستدامة الحد من التلوث وتحسين التنوع البيولوجي في المناطق الزراعية عبر ممارسات مثل الزراعة الدورية وتكامل المحاصيل. في النهاية، يعزز هذا من استدامة النظام البيئي الزراعي ويقلل من التأثير البيئي طويل المدى.

من خلال تنفيذ هذه الخطط الاستراتيجية والتوسع في استخدام هذه التقنيات، يمكن للدول النامية أن تحقق تحولاً رقمياً مستداماً في الزراعة، مما يساهم في تحقيق الأمن الغذائي ويحسن رفاهية المجتمعات الزراعية.

7. أهم النقاط وتوصيات للمستقبل

- **أهم النقاط**

- **تطوير استراتيجيات مرنة تتماشى مع السياق المحلي**: من الضروري أن تتبنى الدول النامية استراتيجيات زراعية ذكية تأخذ في الاعتبار الاختلافات البيئية، الاقتصادية، والاجتماعية. يجب تصميم حلول مناسبة لمشاكل كل منطقة على حدة، بما في ذلك التكامل بين التكنولوجيات الحديثة والممارسات الزراعية التقليدية التي قد تكون أكثر توافقاً مع ثقافة المجتمعات المحلية.
- **تعزيز البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية**: إن توفير اتصال إنترنت مستقر وسريع في المناطق الريفية هو عنصر أساسي لنجاح الزراعة الذكية. ينبغي تطوير شبكات الاتصالات لتوفير البيانات اللازمة للمزارعين، بما في ذلك بيانات الطقس، المحاصيل، والأسواق. دعم هذه البنية التحتية يمكن أن يؤدي إلى زيادة وصول المزارعين إلى الأدوات الرقمية وتحسين اتخاذ القرارات.
- **تحفيز السياسات الداعمة للزراعة الذكية**: من المهم أن تركز السياسات الحكومية على تشجيع الابتكار في مجال الزراعة الذكية، من خلال توفير حوافز ضريبية، دعم مشاريع البحث والتطوير، وتسهيل استيراد المعدات التكنولوجية. يجب أن توفر السياسات التنظيمية إطاراً قانونياً شاملاً يحمي حقوق المزارعين ويشجع على تطوير نظم حوكمة فعالة لتطبيق الزراعة الذكية.
- **تمكين المزارعين من خلال التدريب الرقمي وبناء القدرات**: يعد التدريب المستمر للمزارعين، وخاصة النساء والشباب، على استخدام التكنولوجيا الحديثة ضرورة لضمان تبني الزراعة الذكية بشكل مستدام. يجب توجيه الجهود لتوفير برامج تدريبية ميدانية، ورش عمل تقنية، بالإضافة إلى استخدام منصات التعليم الرقمي لتوسيع نطاق التدريب في المناطق النائية.

- **تعزيز الشراكات والتعاون بين القطاعين العام والخاص**: تعتبر الشراكات بين الحكومات، الشركات الخاصة، والمنظمات الدولية عاملاً حاسماً لتسريع تطبيق الزراعة الذكية. التعاون يسمح بمشاركة المعرفة والموارد اللازمة لتوسيع نطاق تقنيات الزراعة الذكية ودعم نشرها في المناطق النائية. يجب دعم بناء التحالفات بين المؤسسات الأكاديمية والقطاع الصناعي لمواكبة أحدث الابتكارات وتقديمها للمزارعين المحليين.
- **التركيز على الاستدامة البيئية والتكيف مع التغير المناخي**: يجب أن تكون استراتيجيات الزراعة الذكية مبنية على أساس استدامة البيئة والتكيف مع التغيرات المناخية. يمكن لتقنيات الزراعة الذكية أن تساهم في تحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية مثل المياه، والحد من التلوث، ودعم التنوع البيولوجي في المناطق الزراعية، وبالتالي تحسين القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية المستقبلية.
- **توفير التمويل الميسر لدعم المشاريع الرقمية الزراعية**: من الضروري تقديم قروض ميسرة، تمويل مدعوم، وحوافز ضريبية للمزارعين الصغار والشركات الناشئة في القطاع الزراعي. يشجع هذا التمويل على تبني التقنيات الرقمية ويخفض من التكاليف الأولية المرتبطة بشراء المعدات التكنولوجية. يجب توفير آليات تمويل مرنة تتيح للمزارعين الوصول إلى هذه الموارد وتطبيق الحلول الرقمية بسهولة.

من خلال تنفيذ هذه التوصيات، يمكن تسريع عملية التحول الرقمي في القطاع الزراعي بالدول النامية. سيكون هذا التحول عاملاً رئيسياً في تحقيق الأمن الغذائي، تحسين الإنتاجية، والتكيف مع التحديات البيئية.

- **توصيات للمستقبل**

- **تطوير استراتيجيات وطنية شاملة:** يجب على الحكومات أن تتبنى استراتيجيات وطنية واضحة تؤكد على دمج التحول الرقمي في جميع مستويات القطاع الزراعي. هذه الاستراتيجيات ينبغي أن تشمل إجراءات قابلة للتنفيذ مثل تحفيز الاستثمارات في التكنولوجيا، تطوير البنية التحتية الرقمية، ودعم تطبيق التقنيات الحديثة في الزراعة، بما يتوافق مع الخصائص المحلية.
- **تعزيز البحث والتطوير**: دعم مراكز البحث الزراعي والمختبرات المتخصصة لتطوير تقنيات زراعية ملائمة وفعالة تتناسب مع ظروف الدول النامية. يجب أن تركز هذه الأبحاث على إيجاد حلول محلية مستدامة وذات تكلفة منخفضة تحل مشكلات الإنتاجية وتحسن من كفاءة الموارد.
- **تحسين الوصول إلى التمويل**: إنشاء آليات تمويل مرنة تستهدف المشاريع الصغيرة والمتوسطة في القطاع الزراعي الرقمي. يشمل ذلك تقديم قروض ميسرة، ضمانات تمويلية، وحوافز ضريبية تشجع على الاستثمار في الحلول الرقمية الموجهة نحو تحسين الإنتاج الزراعي. كما ينبغي تطوير برامج دعم مالي تشجع المزارعين على تبني هذه التقنيات.
- **تشجيع الابتكار وريادة الأعمال**: يجب توفير بيئة قانونية وتنظيمية تحفز الشركات الناشئة والشباب المبتكرين في مجال الزراعة الرقمية. يمكن ذلك من خلال إنشاء حاضنات أعمال وابتكار في الجامعات والمناطق الريفية، وتقديم جوائز ومسابقات لزيادة المشاركة المجتمعية والتشجيع على الابتكار الزراعي.
- **ترسيخ التعليم الزراعي الرقمي**: تحديث المناهج الأكاديمية لتشمل علوم الزراعة الذكية، وتقنيات الذكاء الاصطناعي، والتحليل البياني في التعليم الزراعي. ينبغي أن تركز المناهج على مهارات استخدام التكنولوجيا المتقدمة في الزراعة وتدريب

المزارعين على تطبيقاتها العملية. كما يجب تقديم برامج تدريبية متخصصة داخل المؤسسات التعليمية والمراكز الإرشادية.

- **تعزيز المراقبة والتقييم**: تطوير أنظمة مراقبة وتقييم مستمرة لقياس أثر التحول الرقمي في الزراعة على الإنتاجية والأمن الغذائي والتنمية الريفية. يجب أن تشمل هذه الأنظمة جمع البيانات وتحليلها بشكل دوري لتقييم فعالية التقنيات الرقمية وقياس تأثيراتها على المزارعين، بالإضافة إلى تعديل السياسات والممارسات بناءً على هذه التقييمات.
- **التركيز على الشمولية**: يجب ضمان استفادة كافة الفئات الاجتماعية من فوائد التحول الرقمي الزراعي، مع التركيز على تمكين النساء والشباب. يجب أن تكون برامج التدريب والتعليم مفتوحة لجميع فئات المجتمع الزراعي، وأن يتم تصميمها بشكل يلبي احتياجات الفئات الأكثر عرضة للتهميش.

من خلال تنفيذ هذه التوصيات، ستكون الدول النامية قادرة على تعزيز التحول الرقمي الزراعي بنجاح، مما سيساهم في تحسين الإنتاجية، تقليل الفجوات الغذائية، وتعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية. كما أن هذا التحول سيكون له دور كبير في تحقيق الأمن الغذائي المستدام ورفاهية المجتمعات الريفية.

8. الخاتمة

تُعد الزراعة الذكية خياراً استراتيجياً حيوياً للدول النامية لمواجهة التحديات المتزايدة التي تعترض القطاع الزراعي، بما في ذلك محدودية الموارد، التغيرات المناخية، والنمو السكاني المتسارع. عبر تبني التكنولوجيا الحديثة، وتطوير البنية التحتية الرقمية، وتعزيز قدرات المزارعين، يمكن تحقيق تحول جذري يرفع من كفاءة الإنتاج ويعزز الأمن الغذائي الوطني.

إن نجاح استراتيجيات تبني الزراعة الذكية يعتمد بشكل كبير على التنسيق الفعّال بين الحكومات، القطاع الخاص، والمؤسسات التعليمية والبحثية. يتطلب هذا التنسيق توفير

بيئة مؤسسية داعمة وسياسات مرنة تشجع على الابتكار والاستثمار المستدام. بالإضافة إلى ذلك، تظل الشمولية في تمكين كافة الفئات الاجتماعية، لا سيما الشباب والنساء، من أهم عوامل تحقيق تحول رقمي زراعي ناجح.

في ضوء ذلك، يجب أن تركز الدول النامية على بناء خطط مستقبلية تستند إلى دراسات ميدانية وتحليل مستمر، تدعمها آليات تمويل مرنة وحوكمة رقمية فعّالة، لضمان استدامة هذا التحول الذي يشكل ركيزة أساسية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. بالتالي، تبرز الزراعة الذكية ليس فقط كتقنية، بل كنظام متكامل يتطلب رؤية استراتيجية طويلة الأمد، وهو السبيل الأمثل لمواجهة تحديات الأمن الغذائي وتحقيق سيادة زراعية مستدامة في الدول النامية.

من خلال تعزيز التنسيق بين كافة الجهات المعنية، استثمار القدرات البشرية والتكنولوجية، والتركيز على استدامة الحلول الرقمية، ستكون الدول النامية قادرة على الاستفادة بشكل كبير من الزراعة الذكية لتحقيق الأمن الغذائي، وتحسين الحياة الاقتصادية للمزارعين، والتكيف مع التغيرات المناخية لضمان مستقبل زراعي آمن ومستدام.

9. المراجع

Alliance for a Green Revolution in Africa. (2023). *Smart Agriculture Partnerships in Africa and Asia: Regional Innovation and Sustainability*. AGRA Publications. https://agra.org

Asian Development Bank. (2023). *Smart irrigation and digital farming in Southeast Asia: Investment opportunities and challenges*. ADB Agriculture Series No. 48. https://www.adb.org

CGIAR. (2023). *Digital agriculture profiles: Transforming agriculture through smart solutions*. Consultative Group on International Agricultural Research. https://cgspace.cgiar.org

FAO. (2023). *Digital agriculture transformation: Lessons from low-income countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

GIA – Global Innovation in Agriculture. (2024). *Agritech accelerators and smart farming innovation programs*. Global Innovation Alliance. https://gia.org

ICAR. (2023). *Future Farmer Program: Empowering rural India through smart agriculture training*. Indian Council of Agricultural Research. https://icar.org.in

IFPRI. (2024). *Capacity building in smart agriculture: Impact studies from Africa and South Asia*. International Food Policy Research Institute. https://www.ifpri.org

IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

ITU. (2023). *Bridging the digital divide in agriculture: Connectivity and innovation for rural development*. International Telecommunication Union. https://www.itu.int

UNDP. (2023). *Sustainable agriculture and climate action: UNDP initiatives in digital farming*. United Nations Development Programme. https://www.undp.org

World Bank. (2024). *Smart agriculture in developing countries: Financing, innovation, and policy pathways*. World Bank Group. https://www.worldbank.org

الفصل 42 - التكنولوجيا والابتكار في المناهج الزراعية الحديثة

المحتويات

1. المقدمة
2. دور التعليم في نشر الثقافة التقنية
3. مكونات المناهج الزراعية الحديثة
4. أدوات ووسائل التعليم المبتكرة
5. دمج البحث العلمي والتقني في المناهج
6. التحديات والفرص في تطوير المناهج
7. توصيات لتحديث المناهج الزراعية المستقبلية
8. الخاتمة
9. المراجع

1. المقدمة

في ظل التطورات السريعة والمتلاحقة التي يشهدها القطاع الزراعي عالمياً، أصبح من الضروري إعادة التفكير في محتوى المناهج الزراعية لتواكب هذه التغيرات التكنولوجية والابتكارية. فالزراعة الحديثة لم تعد مجرد نشاط تقليدي يعتمد على المهارات العملية فقط، بل أصبحت مجالاً معقداً يدمج بين علوم البيانات، وتقنيات الزراعة الذكية، والأنظمة البيئية المستدامة، والذكاء الاصطناعي، وغيرها من التقنيات الحديثة (Smith & Jones, 2022).

تُعد المناهج الزراعية الحديثة الركيزة الأساسية التي تُمكّن الأجيال القادمة من المزارعين والباحثين والمهندسين الزراعيين من التعامل مع تحديات الإنتاج الغذائي في سياق التغيرات المناخية، النمو السكاني، والضغوط البيئية المتزايدة. كما تساهم هذه المناهج في تنمية مهارات التفكير النقدي والابتكار التقني، فضلاً عن تعزيز القدرات البحثية والتطبيقية (Al-Farsi *et al.*, 2023).

تتطلب عملية تطوير المناهج الزراعية دمجاً فعالاً بين المعرفة النظرية والتطبيق العملي، مع التركيز على أدوات التعليم المبتكرة التي تحفز على التعلم التفاعلي وتطبيق التقنيات الرقمية. هذا الدمج هو السبيل لتخريج كوادر قادرة على قيادة التحول الرقمي في الزراعة، وابتكار حلول مستدامة تناسب خصوصيات كل بيئة زراعية (Gonzalez & Martinez, 2024).

في هذا الفصل، سنستعرض دور التعليم في نشر الثقافة التقنية، مكونات المناهج الحديثة، أدوات ووسائل التعليم المبتكرة، دمج البحث العلمي والتقني، التحديات والفرص، إضافة إلى توصيات لتحديث المناهج بما يتوافق مع احتياجات الزراعة الذكية المستقبلية.

2. دور التعليم في نشر الثقافة التقنية

يلعب التعليم الزراعي دوراً أساسياً في نشر الثقافة التقنية بين طلاب الزراعة والعاملين في القطاع الزراعي. من خلال دمج التحول الرقمي والابتكار في المناهج التعليمية، يمكن إعداد المزارعين والمهندسين الزراعيين لمواجهة التحديات المناخية والاقتصادية المتزايدة. لم يعد تحقيق الأمن الغذائي في الدول النامية ممكناً بدون رفع الكفاءة المعرفية والتقنية للممارسين الزراعيين.

- **أهمية التعليم التكنولوجي في الزراعة**

إن تضمين المعرفة التكنولوجية في المناهج الزراعية منذ المراحل الأولى يساهم بشكل كبير في تطوير مهارات المزارعين .تشير الدراسات إلى أن دمج التقنية في التعليم الزراعي يحسن مخرجات التعلم ويزيد من جاهزية الطلاب لسوق العمل (World Bank, 2023). يُمكّن التعليم الرقمي الطلاب من التعامل مع الأدوات التكنولوجية المتطورة مثل نظم المعلومات الجغرافية والطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار الذكية. هذه التقنيات تساهم في تحسين إنتاجية المحاصيل وتوفير حلول فعّالة للمشكلات الزراعية.

- **التعليم التطبيقي والتدريب العملي**

يتطلب التحول إلى الزراعة الذكية تدريباً عملياً على التقنيات الحديثة. يساهم التدريب العملي في تعزيز الثقافة التقنية لدى الطلاب، وتحويلهم إلى وكلاء تغيير قادرين على تبني الزراعة الذكية في مجتمعاتهم. من الأمثلة الناجحة في هذا المجال، "المزارع التعليمية الذكية" التي أسسها العديد من الجامعات العالمية. تتيح هذه المزارع للطلاب الفرصة لاستخدام التقنيات الزراعية المتقدمة في بيئة واقعية، مما يسهم في تطبيق المعرفة في الممارسات اليومية.

- **دور المؤسسات التعليمية الزراعية**

على المؤسسات التعليمية الزراعية أن تلعب دوراً قيادياً في احتضان التحول الرقمي. يشمل ذلك تطوير الكادر التدريسي لتمكينهم من استخدام التقنيات الحديثة في التعليم الزراعي. كما يجب تحديث المختبرات والمناهج بما يتماشى مع احتياجات السوق و التطورات التكنولوجية. من خلال الشراكات مع القطاع الخاص و المراكز البحثية، يمكن تعزيز البنية التحتية التقنية في المؤسسات التعليمية، وهو ما يؤدي إلى زيادة جودة التعليم و الابتكار الزراعي (UNESCO, 2022).

- **التأثير المجتمعي للتعليم الزراعي**

لا يقتصر تأثير التعليم الزراعي على الطلاب فقط، بل يمتد إلى المجتمعات الريفية عبر المبادرات المحلية وريادة الأعمال الزراعية. يساهم التعليم في رفع وعي المجتمعات الريفية بأهمية التحول الرقمي في الزراعة، مما يؤدي إلى تطبيق الممارسات الذكية في الزراعة من خلال مشاريع التخرج التطبيقية التي يعمل عليها الطلاب.

- **أمثلة من التجارب الدولية**

أثبتت التجارب الدولية الناجحة أن المزارع التعليمية الذكية هي وسيلة فعّالة لتطبيق التقنيات الزراعية الحديثة بشكل تطبيقي. هذه المبادرات تُظهر أن التعليم لا ينبغي أن يقتصر على الجوانب النظرية، بل يجب أن يشمل الأنشطة العملية التي تتيح

للمزارعين استخدام التقنيات بشكل مباشر، مما يعزز استعدادهم للعمل في سوق الزراعة الذكية.

إن التعليم الزراعي التقني يمثل بوابة أساسية لبناء قاعدة بشرية قادرة على الانخراط في الزراعة الذكية. من خلال تطوير التعليم الزراعي وتحديثه بشكل مستمر، يمكن ضمان مستقبل زراعي مستدام قائم على التقنية والابتكار.

3. مكونات المناهج الزراعية الحديثة

تتسم المناهج الزراعية الحديثة بالمرونة والتكامل، مما يعكس التحول الذي شهده القطاع الزراعي من نموذج إنتاجي تقليدي إلى نموذج يعتمد على المعرفة والابتكار والتقنية. تهدف هذه المناهج إلى تمكين الطلاب من اكتساب المهارات التقنية، القدرات التحليلية، و الفهم العميق للممارسات المستدامة في الزراعة الحديثة (FAO, 2021). وتشمل هذه المناهج مكونات رئيسية تُعد الطلاب للتعامل مع التحديات العالمية في الزراعة.

- **المحور التقني – الرقمي:**

يُعد إدماج التكنولوجيا الزراعية من الأسس المهمة في المناهج المعاصرة. يتضمن ذلك تعليم الطلاب كيفية استخدام التقنيات الحديثة مثل:

- الاستشعار عن بعد: لمراقبة المحاصيل وتحليل البيانات الحقلية.
- الزراعة الدقيقة: التي تعتمد على جمع وتحليل البيانات لتحسين استخدام الموارد.
- الذكاء الاصطناعي: لتطوير نماذج تنبؤية لإدارة المحاصيل.
- إنترنت الأشياء الزراعي: لجمع البيانات وتحليلها في الوقت الفعلي.

يتم تعليم هذه التقنيات من خلال مساقات متخصصة و مشاريع تطبيقية تتيح للطلاب محاكاة النظم الذكية وتحليل البيانات الحقلية بشكل عملي. يساعد هذا المحور على

تجهيز الطلاب للعمل في بيئات زراعية تعتمد بشكل أساسي على البيانات والتحليل التكنولوجي (Klerkx & Rose, 2020).

- **المحور البيئي – المستدام:**

تركز المناهج الحديثة بشكل كبير على الاستدامة في الزراعة وحماية البيئة. يشمل هذا المحور:

- الزراعة المستدامة: تقنيات تهدف إلى زيادة الإنتاجية مع الحفاظ على الموارد الطبيعية.
- الإدارة البيئية المتكاملة: تطبيق مفاهيم الإدارة المستدامة للموارد مثل التربة والمياه.
- تقنيات مقاومة تغير المناخ: التكيف مع التغيرات المناخية والحد من تأثيراتها السلبية على الإنتاج الزراعي.

يُدرس هذا المحور من خلال وحدات تعليمية تهدف إلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDGs) مثل الحفاظ على التنوع البيولوجي ومكافحة التصحر واستخدام الموارد الطبيعية بشكل مستدام (UNESCO, 2022).

- **المحور الريادي والاقتصادي:**

تتضمن المناهج الزراعية الحديثة أيضاً وحدات تعليمية تركز على ريادة الأعمال الزراعية، مما يساعد الطلاب على تحويل الابتكارات الزراعية إلى مشاريع تجارية ناجحة. تشمل هذه الوحدات:

- **التسويق الرقمي**: للترويج للمنتجات الزراعية باستخدام الأدوات الرقمية.
- **إدارة سلاسل القيمة**: لفهم كيفية تنظيم الإنتاج والتوزيع من المزرعة إلى المستهلك.

- **تمويل المشاريع الزراعية**: يساعد الطلاب على فهم آليات التمويل، الاستثمار، و إدارة المشاريع الصغيرة والمتوسطة.

يهدف هذا المحور إلى تعزيز عقلية الابتكار لدى الطلاب، وتمكينهم من إنشاء مشاريع زراعية ذات جدوى اقتصادية مدعومة بالأدوات الرقمية والمفاهيم السوقية (World Bank, 2023).

- **المهارات الناعمة والقيادة:**

بالإضافة إلى المعرفة التقنية، تُولي المناهج الحديثة أهمية كبيرة لتنمية المهارات الناعمة التي تعتبر أساسية للعمل في بيئات متعددة التخصصات مثل:

- **التفكير النقدي**: لتحليل المشكلات الزراعية وتقديم الحلول الفعّالة.
- **حل المشكلات**: عبر استخدام الأدوات التكنولوجية لإيجاد حلول مستدامة.
- **التواصل والعمل الجماعي**: المهارات الأساسية للتعاون مع فرق متعددة التخصصات.
- القيادة: تمكين الطلاب من قيادة الفرق الزراعية في المستقبل.

يتم تدريب الطلاب على هذه المهارات من خلال التعلم القائم على المشاريع (Project-based Learning) والنماذج التعاونية وألعاب المحاكاة، مما يُعدهم للعمل في بيئات زراعية معقدة.

- **البحث والتطبيق الميداني:**

تشمل المناهج الزراعية الحديثة وحدات بحثية و مشاريع ميدانية يتم تنفيذها بالتعاون مع المزارع التعليمية، شركات زراعية، و مراكز بحثية. تهدف هذه الأنشطة إلى:

- تعزيز التعلم القائم على الأدلة.
- ربط النظرية بالتطبيق.

- تحفيز الطلاب على التفكير الابتكاري من خلال التجريب والتقييم في البيئات الواقعية.

يتيح هذا التوجه للطلاب فرصاً لتطبيق ما تعلموه في الحقول والمزارع الواقعية، مما يعزز من قدراتهم العملية ويشجعهم على تحقيق نتائج ملموسة.

إن تصميم المناهج الزراعية الحديثة بشكل شامل يهدف إلى إعداد خريجين قادرين على الاستجابة لتحديات الزراعة الحديثة. من خلال دمج التكنولوجيا والاستدامة والتفكير الريادي، تتيح المناهج للطلاب تطوير المهارات اللازمة لتطوير القطاع الزراعي سواء من خلال الوظائف التقليدية أو المشاريع الريادية أو البحث العلمي.

4. أدوات ووسائل التعليم المبتكرة

أدى التحول الرقمي في التعليم، مقترناً بتطور التكنولوجيا الزراعية، إلى بروز أدوات ووسائل مبتكرة أحدثت نقلة نوعية في طرائق التدريس والتعلم داخل البرامج الزراعية. فلم تعد المناهج الزراعية الحديثة تعتمد فقط على المحاضرات التقليدية والنماذج النظرية، بل أصبحت تستخدم طيفاً واسعاً من الوسائل التقنية والتفاعلية التي تعزز الفهم التطبيقي، وتحاكي تحديات الزراعة المعاصرة في البيئات الواقعية (UNESCO, 2022; Aerni *et al*., 2021).

- **المحاكاة التفاعلية والواقع الافتراضي (Virtual Reality – VR) والمعزز (Augmented Reality – AR)**

تُعد تقنيات الواقع الافتراضي والواقع المعزز من أبرز الأدوات الحديثة التي تدعم التعليم الزراعي. تمكن هذه التقنيات الطلاب من التفاعل مع نماذج زراعية ثلاثية الأبعاد ومحاكاة بيئات زراعية حقيقية. على سبيل المثال، يمكن للطلاب تصميم نظم ري، مراقبة المحاصيل، أو محاكاة بيئات مختلفة مثل المناطق التي تعاني من قلة المياه أو الزراعة في الأراضي الصحراوية.

يتيح الواقع الافتراضي للطلاب تجربة العمليات الزراعية في بيئات ميدانية محاكاة دون الحاجة إلى معدات أو موارد حقيقية. تُظهر الدراسات أن هذه التقنيات يمكن أن تعزز المهارات العملية بشكل كبير، مما يجعل الطلاب أكثر استعداداً للتعامل مع التحديات الزراعية (Jong *et al*., 2021).

- **المنصات التعليمية الرقمية والتعلم الذاتي**

تساهم المنصات التعليمية الرقمية مثل Moodle و EdX و Coursera في توسيع نطاق التعليم الزراعي عبر الإنترنت. تتيح هذه المنصات الوصول إلى دورات متخصصة في مواضيع مثل:

- الزراعة الدقيقة.
- تحليل البيانات الزراعية.
- الزراعة المستدامة.
- الروبوتات الزراعية.

يمكن للطلاب في المناطق الريفية والنائية الاستفادة من هذه المنصات التي توفر محتوى تعليمي مستمر ومتجدد، بما يعزز من قدرة الطلاب على توسيع معرفتهم وتحقيق التعليم الذاتي. هذا يوفر فرصاً للطلاب الذين قد يواجهون صعوبة في الوصول إلى المؤسسات التعليمية التقليدية (World Bank, 2023).

- **المختبرات الحية والمزارع الذكية التجريبية**

تُعتبر المختبرات الحية و المزارع الذكية من الوسائل التعليمية المتقدمة التي تدمج التقنيات الذكية في العمليات التعليمية. في هذه البيئات، يتمكن الطلاب من استخدام أنظمة استشعار عن بعد، أنظمة ري ذكية، ودرونات مخصصة لأغراض تعليمية. يمكن للطلاب في هذه المزارع الذكية أن يتعاملوا مع بيانات حقلية حقيقية ويتعلموا كيفية اتخاذ قرارات مستنيرة استناداً إلى البيانات الفعلية. هذه التجارب العملية تساعد

الطلاب في تنمية مهاراتهم العملية وتُحسن قدرتهم على تحليل وتحسين العمليات الزراعية (FAO, 2021).

- **التعلم القائم على المشاريع وحل المشكلات (Project-Based Learning)**

يعتمد العديد من البرامج التعليمية الزراعية الحديثة على نموذج التعلم القائم على المشاريع يطلب من الطلاب في هذا النموذج تطوير حلول لتحديات واقعية، مثل:

- تحسين كفاءة استهلاك المياه باستخدام تقنيات الزراعة الذكية.
- زيادة إنتاجية المحاصيل باستخدام نظم مراقبة ذكية.

يُحفز هذا النموذج الطلاب على التفكير النقدي والإبداعي، كما يعزز قدرتهم على التعاون والعمل الجماعي. من خلال محاكاة المشكلات الواقعية، يمكن للطلاب اختبار الحلول واكتساب الخبرات التي تؤهلهم للعمل في بيئات زراعية متعددة التخصصات (Barrows, 2020).

- **البيانات المفتوحة والمصادر الذكية**

تُعد البيانات المفتوحة مثل FAOSTAT و AgriGIS من الأدوات الأساسية في التعليم الزراعي الرقمي. يتيح استخدام هذه الأدوات للطلاب تعلم كيفية:

- تحليل البيانات الزراعية.
- بناء النماذج التنبؤية.
- اتخاذ القرارات الزراعية المستنيرة بناءً على المعلومات المحدثة.

من خلال هذه الأدوات، يكتسب الطلاب القدرة على التعامل مع التعقيدات الرقمية في القطاع الزراعي ويستطيعون تحليل البيانات لتحسين أداء الزراعة بشكل مستدام. تُسهم هذه الأدوات في تجهيز الطلاب للعمل في بيئات زراعية رقمية متقدمة.

يعد التوظيف الفعّال للأدوات التكنولوجية المتقدمة جزءاً أساسياً من التحول الرقمي في التعليم الزراعي. من خلال المحاكاة التفاعلية والمنصات التعليمية الرقمية والمختبرات الحية، يُمكن للمؤسسات التعليمية تحسين جودة التعليم الزراعي وتجهيز الطلاب بمهارات تقنية تناسب الاحتياجات المستقبلية للقطاع الزراعي. التعلم القائم على المشاريع واستخدام البيانات الزراعية المفتوحة يساعد على تعزيز التفكير النقدي والقدرة على التكيف مع التحديات البيئية والاقتصادية في الزراعة الحديثة.

5. دمج البحث العلمي والتقني في المناهج

يُعد دمج البحث العلمي والتقني في المناهج الزراعية الحديثة عنصراً أساسياً لتحفيز الابتكار وتحقيق التحول نحو الزراعة الذكية والمستدامة. يتطلب القطاع الزراعي في العصر الحديث مواكبة التطورات التكنولوجية والابتكارات المستمرة في البحث العلمي لضمان استدامة الإنتاجية وتحقيق الأمن الغذائي (Timmermann, 2022). لذا، أصبحت المناهج الزراعية جزءاً من هذه المنظومة الديناميكية التي تشجع على التفاعل المستمر مع الاكتشافات العلمية.

- **المناهج القائمة على البحث (Research-Oriented Curricula)**

تعتمد المناهج الزراعية المتقدمة بشكل أساسي على إشراك الطلاب في العملية البحثية، حيث يبدأ الطلاب من صياغة الفرضيات البحثية، ثم جمع وتحليل البيانات، وصولاً إلى نشر النتائج أو تطبيقها في بيئات حقلية. هذا النهج البحثي يعزز مهارات التفكير النقدي لدى الطلاب، ويطور قدراتهم على توليد حلول قائمة على الدليل. يعتبر هذا النوع من المناهج أداة فعالة لتدريب الطلاب على أساليب البحث العلمي وفهم التحديات الزراعية المعقدة التي تتطلب حلولاً مبتكرة وقائمة على البحث العلمي (Llewellyn *et al*., 2021).

- **الشراكة مع مراكز الأبحاث والقطاع الخاص**

تحقيق النجاح في الزراعة الذكية يتطلب الشراكة الفعّالة بين الجامعات الزراعية، مراكز البحث الزراعي مثل المعهد الدولي لبحوث الأرز (IRRI) ومنظمة الإيكاردا (ICARDA)، الشركات الزراعية الناشئة. من خلال هذه الشراكات، يمكن ربط المناهج الزراعية بالتحديات الواقعية التي تواجه القطاع الزراعي، مما يساعد الطلاب على التفاعل مع مشكلات حقيقية وتطبيق المعرفة النظرية في البيئات الحقيقية. كما توفر هذه الشراكات فرص التدريب والبحوث التطبيقية التي تعد الطلاب للمشاركة في المشاريع الزراعية المستقبلية (CGIAR, 2023).

- **المشاريع الطلابية البحثية متعددة التخصصات**

يُعتبر دمج المشاريع البحثية الطلابية ضمن المناهج الدراسية وسيلة فعالة لتعزيز الابتكار الزراعي. يشجع هذا النموذج الطلاب على العمل ضمن فرق متعددة التخصصات، حيث يتم دمج تخصصات الزراعة والبيئة والبيانات والهندسة في حل مشكلات معقدة في الزراعة الحديثة. من خلال هذه المشاريع، يتعلم الطلاب كيفية التعامل مع التحديات متعددة الجوانب، مثل تحسين إنتاجية المحاصيل باستخدام تقنيات الزراعة الذكية أو تطوير حلول مستدامة للتكيف مع التغيرات المناخية (Morris *et al*., 2020).

- **التكامل بين البحث والتعليم**

التكامل بين البحث والتعليم أمر بالغ الأهمية لنجاح المناهج الزراعية الحديثة. يجب تصميم المناهج بحيث تستند إلى نتائج البحث العلمي الحديث، مع تحديث المحتوى الأكاديمي بشكل دوري. تسهم المختبرات الحية والمزارع التجريبية في هذا التكامل، حيث تقدم بيئة تعليمية وبحثية تتيح للطلاب التطبيق العملي للمفاهيم الأكاديمية من خلال تجارب حقلية حقيقية (FAO, 2021).

- **التوظيف المباشر للنتائج البحثية في تطوير السياسات والممارسات الزراعية**

يُسهم إشراك الطلاب في مشاريع بحثية متعلقة بالسياسات الزراعية أو التقنيات الحديثة مثل الزراعة الدقيقة أو الذكاء الاصطناعي في إعداد جيل من الباحثين والممارسين القادرين على التأثير في السياسات الزراعية وصناعة القرار القائم على البيانات العلمية. يساهم هذا في تحسين القدرة على تنفيذ سياسات زراعية فعالة ترتكز على نتائج البحث التي تسهم في تحقيق الأمن الغذائي والتنمية الزراعية المستدامة (Aerni *et al*., 2021).

يُعد دمج البحث العلمي والتقني في المناهج الزراعية خطوة محورية نحو تحقيق التعليم الزراعي المتطور الذي يستجيب لتحديات الزراعة الحديثة. من خلال المناهج القائمة على البحث، الشراكات مع مراكز الأبحاث، والمشاريع الطلابية متعددة التخصصات، يمكن إعداد جيل جديد من المزارعين و الباحثين القادرين على توظيف المعرفة العلمية في حل مشكلات القطاع الزراعي. التكامل بين البحث والتعليم يسهم في تطوير سياسات زراعية فعالة تساهم في تحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة في جميع أنحاء العالم.

6. التحديات والفرص في تطوير المناهج

تواجه عملية تحديث المناهج الزراعية الحديثة العديد من التحديات التي تؤثر على قدرتها على الاستجابة لتطورات الزراعة الذكية. ومع ذلك، توفر هذه التحديات فرصاً هائلة لتحسين النظام التعليمي الزراعي في الدول النامية. يمكن تلخيص أبرز التحديات والفرص على النحو التالي:

- **التحديات**

➢ **الفجوة بين التعليم وسوق العمل الزراعي**: لا تزال العديد من المناهج الزراعية في الدول النامية تعتمد على أساليب تعليمية تقليدية، مما يخلق فجوة معرفية بين ما يتم تدريسه في المؤسسات التعليمية والمهارات المطلوبة في سوق العمل الزراعي

الرقمي الحديث. العديد من الخريجين يواجهون صعوبة في التعامل مع التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الزراعية، ما يعزز الحاجة إلى تحديث المناهج بشكل يتماشى مع احتياجات السوق الرقمي والزراعة الذكية (World Bank, 2022).

- **ضعف البنية التحتية التقنية**: تعاني العديد من المعاهد الزراعية في الدول النامية من نقص في البنية التحتية التقنية مثل المختبرات الحديثة وأدوات المحاكاة الرقمية والاتصال بالإنترنت. هذا النقص يحد من قدرة المؤسسات التعليمية على دمج أدوات التعليم الإلكتروني أو التجريبي المعتمد على الواقع الافتراضي، أو استخدام البيانات الحية في التدريس. في بيئات تعليمية تفتقر إلى هذه الأدوات، من الصعب تقديم تدريب تقني فعال يستفيد منه الطلاب(FAO, 2021) .
- **قلة الكوادر المؤهلة للتدريس التقني:** يعد نقص المؤهلات التقنية لدى الكوادر التدريسية إحدى المشكلات الرئيسية. العديد من الأساتذة الجامعيين يفتقرون إلى الخلفية التقنية اللازمة لتدريس الزراعة الذكية أو التكنولوجيا الرقمية. كما أن برامج التدريب المستمر للأساتذة تكاد تكون غير كافية لتواكب التطورات التكنولوجية السريعة في مجال الزراعة الحديثة. بدون هذه التدريب المستمر، تظل المناهج الزراعية عاجزة عن تطوير مهارات الطلاب بما يتماشى مع الاتجاهات الجديدة (OECD, 2023).
- **المقاومة الثقافية للتغيير:** في بعض المجتمعات الريفية أو الأكاديمية التقليدية، قد يُواجه تحديث المناهج الزراعية مقاومة ثقافية قوية. هناك اعتقاد بأن التحديث التقني قد يُهدد المعارف التقليدية التي تم تناقلها عبر الأجيال. كما أن هناك خوفاً من أن يؤدي الاعتماد على الميكنة و التكنولوجيا الرقمية إلى تراجع فرص العمل في الزراعة التقليدية. هذه المقاومة الثقافية قد تشكل حاجزاً أمام تبني الأساليب

التعليمية الحديثة التي تتطلب تفاعلاً مستمراً مع التكنولوجيا (Anderson & Feder, 2020).

- **الفرص**

رغم التحديات، يتيح تحديث المناهج الزراعية العديد من الفرص التي يمكن أن تحسن جودة التعليم الزراعي وتساهم في تحقيق تحول رقمي في الزراعة:

- **التحول إلى تعليم تقني متقدم**: بإدخال التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة ونظم الاستشعار في المناهج الزراعية، يمكن للطلاب أن يكتسبوا المهارات اللازمة للتعامل مع التقنيات المستقبلية. هذا التحول سيعزز من جاهزية الخريجين لمواجهة تحديات السوق الزراعي الرقمي، ويمنحهم القدرة على مواكبة التقنيات الحديثة التي تساهم في زيادة الإنتاجية الزراعية وتقليل التكاليف.
- **الاستثمار في البنية التحتية الرقمية:** يمثل التحسين في البنية التحتية الرقمية فرصة لتحسين بيئة التعليم الزراعي. من خلال توفير شبكات الإنترنت عالية السرعة والمختبرات الرقمية وأدوات المحاكاة المتقدمة، يمكن تحسين قدرة المؤسسات التعليمية على تدريب الطلاب على التقنيات الزراعية الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تساهم هذه التحسينات في زيادة الوصول إلى التعليم الزراعي في المناطق النائية التي تعاني من نقص في الإمكانيات.
- **تطوير الكوادر التدريسية:** من خلال التدريب المستمر للأساتذة في التقنيات الزراعية الحديثة، يمكن تعزيز جودة التعليم وزيادة فعاليته. هذه الفرصة تُعد محورية في خلق جيل من المعلمين القادرين على نقل المعرفة الحديثة إلى الطلاب، بما يتماشى مع احتياجات السوق الزراعي المتطور. مع وجود برامج تدريبية شاملة، سيكون بإمكان المؤسسات التعليمية تزويد الطلاب بالمهارات اللازمة للتعامل مع التحديات التكنولوجية التي تطرأ في القطاع الزراعي.

- **تحويل الثقافة المحلية نحو الزراعة الذكية:** بالرغم من المقاومة الثقافية، يمكن أن توفر البرامج التعليمية الحديثة فرصة لتحفيز التغيير الثقافي. من خلال التوعية والتدريب المجتمعي على فوائد الزراعة الذكية والتكنولوجيا الزراعية، يمكن تعزيز القبول المجتمعي للتكنولوجيا وجعل التطور التقني أداة لتحسين حياة المزارعين، بدلاً من أن يكون تهديداً لهم. هذا سيساهم في تعزيز القبول الاجتماعي للتغيرات التقنية في الزراعة.

إن تحديث المناهج الزراعية و دمج التكنولوجيا في التعليم الزراعي يواجه تحديات كبيرة، تتنوع بين الفجوات المعرفية، نقص الموارد، و المقاومة الثقافية. ومع ذلك، تتيح هذه التحديات فرصاً هائلة لتحسين النظام التعليمي الزراعي وزيادة مواكبة التطورات التكنولوجية. من خلال تحسين البنية التحتية، تطوير الكوادر التعليمية، وتوسيع قاعدة قبول الزراعة الذكية، يمكن تعزيز قدرة الطلاب على مواجهة تحديات الزراعة المستقبلية، مما يساهم في تحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة.

7. توصيات لتحديث المناهج الزراعية المستقبلية

في ظل التحولات السريعة التي يشهدها القطاع الزراعي على المستويين التكنولوجي والبيئي، تبرز الحاجة إلى إصلاح جذري في المناهج الزراعية لتواكب التغيرات المعاصرة. ويجب أن تكون المناهج الجديدة قادرة على إعداد الخريجين بالمهارات العلمية والتقنية اللازمة لمواجهة التحديات الزراعية في القرن الحادي والعشرين. وفي هذا السياق، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات الاستراتيجية لتحديث المناهج الزراعية المستقبلية:

- **الانتقال من التركيز على المحتوى النظري التقليدي إلى التعليم القائم على الكفاءة:** يتعين على المناهج أن تركز على تطوير مهارات تحليل البيانات، اتخاذ القرارات الزراعية المدعومة بالذكاء الاصطناعي واستخدام أنظمة الاستشعار عن بُعد والتقنيات الرقمية التي تعتبر حاسمة لنجاح المزارعين في المستقبل. هذا

التوجه يُمكّن الطلاب من اكتساب مهارات عملية قابلة للتطبيق في بيئات العمل الحقيقية، ما يعزز قدرتهم على التكيف مع التكنولوجيا الحديثة في الزراعة (UNESCO, 2023).

- **دمج مفاهيم الزراعة الذكية والتغير المناخي في كل المستويات التعليمية**: ينبغي تضمين مفاهيم مثل الزراعة الدقيقة، الزراعة المناخية الذكية، و تقنيات المياه والطاقة المستدامة في جميع المراحل التعليمية، بدءاً من الدبلومات الزراعية وصولاً إلى الدراسات العليا. كما يجب تضمين هذه المواضيع في الدورات التدريبية الخاصة بالمدارس الزراعية الثانوية لتأهيل الطلاب منذ بداية مسيرتهم التعليمية في مجالات الاستدامة والابتكار (FAO, 2022). هذا سيمكن الجيل القادم من التعامل مع التحديات المناخية وتحقيق الأمن الغذائي بطرق مبتكرة.
- **إشراك القطاع الخاص والمؤسسات البحثية في تصميم وتحديث المناهج**: يجب تأسيس لجان تطوير المناهج التي تضم ممثلين من الشركات الزراعية، المراكز البحثية، المزارعين التقنيين، وخريجي البرامج التعليمية. هذا التعاون يُساهم في ضمان مواءمة المناهج مع احتياجات السوق والتطورات التقنية الحقيقية التي تشهدها صناعة الزراعة. كما تتيح هذه الشراكات تبادل المعرفة العملية والتحديات الحقيقية التي تواجه المزارعين من أجل تحديث المناهج التعليمية باستمرار وفقاً للابتكارات الجديدة في المجال الزراعي (World Bank, 2022).
- **توسيع استخدام تقنيات التعلم الرقمي والتفاعلي**: ينبغي تعزيز استخدام المنصات الرقمية، المحاكاة الافتراضية، التجارب المعملية عن بُعد، والتعلم التعاوني عبر الإنترنت لتوفير فرص تعليمية تفاعلية أكثر مرونة. هذه الأدوات تُعد مثالية لزيادة الوصول إلى المعرفة خاصة في المناطق الريفية والنائية التي قد تفتقر إلى البنية التحتية التعليمية المتطورة. استخدام هذه التقنيات التفاعلية يسمح للطلاب بتطوير

مهارات عملية، وتجربة تطبيقات الزراعة الذكية في بيئة افتراضية قبل الانتقال إلى العمل في الميدان (OECD, 2023).

- **تطوير برامج تدريب مهني مستمر لأعضاء هيئة التدريس:** من الضروري إطلاق برامج تدريبية دورية تهدف إلى رفع كفاءة أعضاء هيئة التدريس في استخدام أدوات التدريس الحديثة وتطبيق مفاهيم الزراعة الذكية في المناهج التعليمية. يجب أن يتضمن التدريب تطوير المهارات التقنية المرتبطة بالتعليم الرقمي والتفاعل التكنولوجي، فضلاً عن تصميم محتوى رقمي يناسب احتياجات الطلاب ويمكّنهم من استخدام التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي وأنظمة الاستشعار عن بُعد والزراعة الدقيقة. كما ينبغي منح حوافز مرتبطة بالأداء والابتكار في التعليم، بما يعزز استدامة التعليم المتقدم. من خلال هذه البرامج، سيتمكن الأساتذة من مواكبة التحولات السريعة في التقنيات الزراعية وبالتالي تحسين جودة التعليم الأكاديمي والتطبيقي في المؤسسات الزراعية (GIZ, 2022).
- **تحديث المرافق الأكاديمية والبنية التحتية**: يجب على المؤسسات الأكاديمية الزراعية تحديث المرافق والبنية التحتية بشكل مستمر لتواكب التطورات التكنولوجية المتسارعة. يتطلب هذا توفير مختبرات متقدمة مجهزة بأحدث التقنيات مثل الاستشعار عن بُعد وأنظمة الري الذكي و تحليل البيانات البيئية. كما ينبغي إنشاء صوب زراعية رقمية ومزارع تجريبية بحيث تصبح المؤسسات التعليمية منصات حقيقية للابتكار. يتم تحقيق ذلك من خلال دمج الأنظمة الذكية في عمليات التدريب الميداني، مما يتيح للطلاب فرصاً لتطبيق ما تعلموه على أرض الواقع باستخدام الأدوات الزراعية المتقدمة. يوفر هذا التحديث بيئة تعلم عملية وتفاعلية تساعد الطلاب على اكتساب المهارات التكنولوجية اللازمة لمواجهة تحديات القطاع الزراعي الحديث (IFAD, 2023).

- **مواءمة المناهج مع الأهداف الإنمائية المستدامة**: يجب تصميم المناهج الزراعية بحيث تتماشى مع أهداف التنمية المستدامة، وخاصة الهدف الثاني المتعلق بالقضاء على الجوع، والهدف الثالث عشر المتعلق بمكافحة تغير المناخ. يتطلب ذلك تضمين مفاهيم الزراعة المستدامة، تقنيات الزراعة الذكية، و إدارة الموارد الطبيعية بشكل يساهم في تعزيز الأمن الغذائي في بيئات متنوعة. كما ينبغي أن تركز المناهج على تحقيق التنمية الريفية المستدامة وضمان استفادة المجتمعات المحلية من التقنيات الزراعية الحديثة، مما يدعم الأهداف الوطنية والدولية في مجال التنمية الزراعية. بالتالي، سيكون التعليم الزراعي أحد الأدوات الفعالة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة في العديد من الدول (United Nations, 2023).
- **تحفيز الريادة الزراعية والابتكار الطلابي**: من الضروري تضمين وحدات دراسية تركز على ريادة الأعمال الزراعية، بما في ذلك إدارة المشاريع الزراعية، وابتكار الحلول التكنولوجية، حيث تُحفّز هذه الوحدات الطلاب على التفكير بشكل إبداعي. كما يوصى بتأسيس حاضنات للمشاريع الطلابية التي تدعم تطوير المشاريع الريادية الزراعية من خلال توفير التدريب والدعم المالي والتوجيه من قبل القطاع الخاص والمؤسسات البحثية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تنظيم مسابقات ابتكار زراعي تشجع الطلاب على تطوير حلول رقمية وتقنيات جديدة لمشاكل الزراعة المستدامة. هذا النهج سيُسهم في تحفيز الابتكار والريادة بين الشباب، مما يعزز تطور القطاع الزراعي ويُسهم في تحقيق التنمية المستدامة (Anderson & Feder, 2020).

8. الخاتمة

يمثل تحديث المناهج الزراعية ركيزة محورية في التحول نحو نظم زراعية أكثر استدامة وذكاءً واستجابة للتغيرات البيئية والتكنولوجية والاجتماعية. لقد أبرز هذا الفصل أن إدماج التكنولوجيا والابتكار في التعليم الزراعي لم يعد مجرد تحسين

أكاديمي، بل أصبح ضرورة تنموية لضمان أمن غذائي مرن ومبني على أسس علمية قوية. فالتحديات المعاصرة – من تغيّر المناخ، إلى تدهور الموارد، إلى التحولات السريعة في سوق العمل الزراعي – تفرض على النظم التعليمية أن تكون مرنة، استباقية، ومتجددة.

لقد بيّنت الأدلة أن المناهج الزراعية التي تتبنى مفاهيم الزراعة الذكية، وتدمج أدوات التكنولوجيا الحديثة، وتعزز الشراكة بين التعليم والبحث والإنتاج، قادرة على تخريج كفاءات مهنية مؤهلة لقيادة الابتكار في الميدان. ويُعد التعليم الزراعي اليوم أكثر من مجرد تلقين معرفي؛ إنه منظومة لبناء قدرات المجتمعات الريفية، وتمكين المزارعين من التحول من مستخدمين للتكنولوجيا إلى مطورين لحلولهم المحلية.

كما خلص هذا الفصل إلى أن تطوير المناهج الزراعية لا ينبغي أن يتم في عزلة، بل ضمن أطر تشاركية مع القطاعات الحكومية والخاصة، والمؤسسات البحثية، والمجتمعات المستفيدة، مع تبني سياسات داعمة للتعلم المستمر، وتوفير بنية تحتية تكنولوجية حديثة، وتمويل مستدام للبرامج التعليمية.

إن الاستثمار في التعليم الزراعي الحديث هو استثمار في مستقبل الزراعة. وهو طريق ضروري لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، وتطوير اقتصاد أخضر، وتحقيق السيادة الغذائية في الدول النامية والمتقدمة على حد سواء. ويظل التحدي الأكبر هو في الانتقال من الرؤية إلى التنفيذ، ومن التنظير إلى التطبيق الميداني الفعّال، بما يضمن أن يكون لكل خريج زراعي دور حقيقي في بناء مستقبل أكثر ذكاءً وإنصافاً واستدامة.

9. المراجع

Aerni, P., Nichterlein, K., Rudgard, S., & Sonnino, A. (2021). *Making Agricultural Innovation Systems More Effective: An Innovation Systems Perspective*. Outlook on Agriculture, 50(1), 5–12.

African Union. (2023). *Integrating Smart Agriculture into Curricula: African Case Studies*. Addis Ababa: AU Commission.

Al-Farsi, H., Kumar, S., & El-Sayed, M. (2023). Integrating Smart Technologies in Agricultural Education: Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 29(1), 15-34.

Anderson, J. R., & Feder, G. (2020). *Technology and Agricultural Extension: Challenges and Opportunities*. Agricultural Economics, 51(4), 607–618.

Barrows, H. S. (2020). *Problem-Based Learning Applied to Agricultural Education*. University of Illinois Press.

CGIAR. (2023). *Partnering for Impact: Integrating Research and Education*. https://www.cgiar.org/

Chikaire, J., Ani, A. O., Atoma, C. N., & Nwakwasi, R. N. (2021). Agricultural Education and Technology Adoption: Bridging the Knowledge Gap. *International Journal of Agricultural Extension*, 9(1), 25-41.

FAO. (2021). *Digital Agricultural Education and Training: Emerging Trends*. Rome: Food and Agriculture Organization.

FAO. (2021). *Transforming Agricultural Education and Training in Africa*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2022). *Integrating Climate-Smart Agriculture into Curricula*. Rome: Food and Agriculture Organization.

GIZ. (2022). *Enhancing Agricultural Education through Teacher Training*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

GIZ. (2022). *Public-Private Partnerships in Agricultural Education*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

Gonzalez, R., & Martinez, L. (2024). Innovative Teaching Methods for Digital Agriculture. *International Journal of Agricultural Sciences*, 40(2), 88-105.

IFAD. (2023). *Investing in Agricultural Innovation and Learning Infrastructure*. Rome: International Fund for Agricultural Development.

IFAD. (2023). *Investing in Youth-Centered Agricultural Education*. Rome: International Fund for Agricultural Development.

Jong, M. S. Y., Lee, J. H. M., & Lee, H. C. (2021). The Effects of Augmented Reality on Agricultural Training. *Computers & Education*, 161, 104064.

Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the Game-Changing Technologies of Digitalization: Towards an Analytical Framework. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100313.

Llewellyn, R. S., *et al*. (2021). *Research-led Education for Smart Farming*. Agricultural Systems, 188, 103047.

Morris, M. L., Tripp, R., & Dankyi, A. A. (2020). *Building Research Capacity through University Curricula*. International Journal of Agricultural Education, 76(3), 321–336.

OECD. (2023). *Digitally Enabled Agricultural Education*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

OECD. (2023). *Future-Ready Teachers for Digital Agriculture*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

Smith, J., & Jones, A. (2022). The Role of Technology in Modern Agricultural Curricula. *Agricultural Science and Technology Review*, 18(4), 211-230.

Timmermann, C. (2022). *Knowledge Co-Production in Agricultural Curricula: The Research Imperative*. Journal of Rural Studies, 91, 17–25.

UNESCO. (2022). *Education for Sustainable Agriculture: A Curriculum Framework*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO. (2022). *Transforming Agricultural Education for Sustainable Development*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO. (2023). *Transforming Education for Sustainable Agriculture*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO. (2023). *Transforming Technical and Vocational Education in Agriculture*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

United Nations. (2023). *SDGs in Agricultural Education: A Framework for Action*. New York: United Nations.

World Bank. (2022). *Aligning Agricultural Curricula with Labor Market Needs*. Washington, DC: The World Bank.

World Bank. (2022). *Bridging the Skills Gap in Agricultural Value Chains*. Washington, DC: The World Bank.

World Bank. (2023). *Agricultural Skills and Digital Competencies for a Changing World*. Washington, DC: World Bank Group.

World Bank. (2023). *Digital Skills in Agricultural Education: A New Framework for Developing Countries*. Washington, DC: World Bank Group.

World Bank. (2023). *Innovation in Agricultural Learning Systems: Global Trends and Regional Priorities*. Washington, DC: World Bank.

الفصل 43 - تنمية المهارات الرقمية للمزارعين والمهندسين الزراعيين

المحتويات

1. المقدمة
2. المهارات الرقمية الأساسية والضرورية
3. برامج التدريب والتطوير المهني
4. تحديات تطوير المهارات الرقمية
5. نماذج ناجحة في تنمية المهارات الرقمية
6. توصيات لتسريع اكتساب المهارات الرقمية
7. الخاتمة
8. المراجع

1. المقدمة

يشهد القطاع الزراعي في العصر الرقمي تحوّلات متسارعة تُعيد تشكيل طبيعة العمل الزراعي وممارساته، مدفوعة بتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والاستشعار عن بُعد وأنظمة دعم القرار (Wolfert *et al*., 2017). وقد أدّى هذا التطور إلى ظهور فجوة رقمية واضحة بين المزارعين والمهندسين الزراعيين الذين يمتلكون المهارات اللازمة لتوظيف هذه التقنيات، وأولئك الذين يفتقرون إلى المعرفة والأدوات اللازمة لمواكبة هذا التحول. لذا، باتت تنمية المهارات الرقمية في القطاع الزراعي أولوية ملحّة لضمان تحقيق الاستدامة، وزيادة الكفاءة، وتعزيز الأمن الغذائي في مختلف السياقات الجغرافية والاقتصادية (Rose *et al*., 2021).

إن تطوير هذه المهارات لا يقتصر فقط على استخدام الحواسيب أو التطبيقات الرقمية، بل يشمل مجموعة واسعة من الكفاءات المرتبطة بفهم البيانات الزراعية، والتعامل مع منصات الزراعة الذكية، واستخدام الأدوات التقنية في الرصد والتحكم والقرار

(Bronson & Knezevic, 2016). كما يُعَدّ المهندس الزراعي ركيزة أساسية في هذه العملية، كونه يُعدّ حلقة الوصل بين البحث العلمي والتطبيق العملي، وبين التكنولوجيا وواقع الحقل الزراعي.

وفي الدول النامية، تبرز الحاجة بشكل أكبر إلى تبني برامج ممنهجة لتطوير المهارات الرقمية لدى العاملين في القطاع، نظراً للتحديات المرتبطة بالبنية التحتية، وضعف الخدمات التكنولوجية، ومحدودية الوصول إلى التدريب المناسب (World Bank, 2022). من هنا، يهدف هذا الفصل إلى استعراض الإطار المفاهيمي والعملي لتنمية المهارات الرقمية لدى المزارعين والمهندسين الزراعيين، من خلال تحليل المهارات الأساسية المطلوبة، واستعراض البرامج التدريبية الفاعلة، ورصد التحديات، وتسليط الضوء على النماذج الناجحة، وصولاً إلى تقديم توصيات قابلة للتنفيذ.

2. المهارات الرقمية الأساسية والضرورية

مع تطور الزراعة نحو نماذج تعتمد على البيانات والتقنيات المتقدمة، باتت المهارات الرقمية شرطاً أساسياً لفعالية العاملين في القطاع الزراعي. وتشمل هذه المهارات مجموعة مترابطة من المعارف والقدرات التقنية التي تمكّن المزارعين والمهندسين الزراعيين من استخدام الأدوات الرقمية بكفاءة في مجالات التخطيط والمراقبة والإدارة والتقييم الزراعي (Klerkx, Jakku, & Labarthe, 2019).

- **المعرفة بأساسيات تكنولوجيا المعلومات**

تشكل القدرة على استخدام الحاسوب، والهواتف الذكية، وتطبيقات الإنترنت حجر الأساس في المهارات الرقمية الزراعية. ويشمل ذلك التعامل مع البريد الإلكتروني، تصفح الإنترنت، استخدام تطبيقات المراسلة، وتطبيقات معالجة البيانات (FAO, 2021). إذ تتيح هذه المهارات الوصول إلى معلومات حديثة عن الطقس والأسواق والأمراض النباتية والتقنيات الزراعية.

- **التعامل مع المنصات الرقمية الزراعية**

تُعد منصات الزراعة الرقمية (مثل التطبيقات الخاصة بتتبع النمو، الأسواق الإلكترونية الزراعية، وأنظمة الري الذكي) أدوات مركزية في الزراعة الحديثة. لذلك، من الضروري أن يتقن المستخدمون كيفية إدخال البيانات، وقراءتها، وتفسير التوصيات التي تقدمها هذه المنصات (Rose *et al*., 2021). في هذا السياق، تبرز أهمية فهم نظم دعم القرار القائمة على تحليل البيانات الضخمة.

- **استخدام تقنيات الاستشعار والقياس عن بعد**

أصبحت أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار وأنظمة تحديد المواقع الجغرافية، أدواتً أساسية في جمع بيانات دقيقة عن صحة المحاصيل ورطوبة التربة والتوزيع المكاني للآفات (Zhang *et al*., 2019). ويتطلب استخدام هذه الأدوات مهارات في الإعداد والتشغيل وتحليل النتائج الميدانية، إلى جانب القدرة على استخدام البرمجيات المرتبطة بها.

- **إدارة البيانات وتحليلها**

يتزايد دور البيانات في الزراعة الذكية، مما يفرض على المزارعين والمهندسين القدرة على التعامل مع قواعد البيانات، جداول Excel، أدوات التحليل الإحصائي، وتفسير الرسوم البيانية والمؤشرات الرقمية المتعلقة بالإنتاجية أو الكفاءة أو الموارد الطبيعية (Wolfert *et al*., 2017).

- **الأمن السيبراني وحماية البيانات**

مع الرقمنة المتزايدة، يواجه العاملون في الزراعة تحديات تتعلق بسرية البيانات وحمايتها من الاستخدام غير المشروع. لذلك، يجب أن تشمل المهارات الرقمية أساسيات الأمن المعلوماتي، مثل إعداد كلمات مرور آمنة، والحذر من البرمجيات الخبيثة، وفهم مفاهيم الخصوصية الرقمية (European Commission, 2020).

- **مهارات التعلّم الذاتي والتكيّف مع التغيير**

في ظل التطور المستمر للتقنيات، تبرز الحاجة إلى مهارات التعلّم الذاتي، واستكشاف الأدوات الجديدة، والتكيف مع التحديثات التكنولوجية المتسارعة. وهي مهارات ضرورية لضمان استمرارية الاستفادة من التحول الرقمي دون الاعتماد الدائم على الدعم الخارجي (Knickel *et al*., 2018).

إن اكتساب هذه المهارات بشكل متكامل يعزز من قدرة المزارعين والمهندسين الزراعيين على التفاعل النشط مع التحول الرقمي، ويوسع من نطاق الفائدة التي يمكن أن تحققها الزراعة الذكية على مستوى الإنتاج والكفاءة والربحية والاستدامة البيئية.

3. برامج التدريب والتطوير المهني

إن بناء القدرات الرقمية في القطاع الزراعي لا يمكن أن يتحقق دون برامج تدريبية فعالة ومستمرة، مصممة لتلبية احتياجات المزارعين والمهندسين الزراعيين على اختلاف مستوياتهم التعليمية والتقنية. وتكمن أهمية هذه البرامج في دورها المحوري في سد الفجوة الرقمية، وتحفيز تبني التكنولوجيا، وتحسين كفاءة الممارسات الزراعية (FAO, 2021).

- **أنواع برامج التدريب**

تنقسم برامج التدريب الرقمي إلى عدة أنواع، تبعاً لمحتواها وطرق تنفيذها:

- **الورشات الميدانية**: تُنظم غالباً بالتعاون مع الجامعات أو مراكز البحوث، وتركز على التطبيقات العملية للتقنيات مثل أنظمة الري الذكي، و أجهزة الاستشعار .هذه الورشات تتيح للمزارعين فرصة تطبيق الأدوات التكنولوجية في بيئاتهم الزراعية الفعلية.

- **التدريب الإلكتروني (E-learning):** يشمل منصات تعليمية عبر الإنترنت توفر دورات مرئية، و محاكيات تفاعلية، و أدلة استخدام .يتيح هذا النوع من التدريب مرونة للمشاركين في التعلم عن بُعد من أي مكان، مما يوسع الوصول إلى التدريب في المناطق النائية.(World Bank, 2022)
- **برامج التدريب داخل المؤسسات**: موجهة للمهندسين الزراعيين العاملين في الوزارات، و الشركات الزراعية، وتشمل تدريباً على نظم إدارة البيانات، و البرمجيات الزراعية، والتخطيط المحوسب. هذه البرامج تهدف إلى تعزيز كفاءة العاملين في القطاع الزراعي وتحسين مهاراتهم الرقمية.
- **التدريب المعتمد بالشهادات**: برامج رسمية تمنح شهادات معترف بها دولياً في مجالات مثل الزراعة الدقيقة، و التحليل الرقمي للبيانات الزراعية .هذا النوع من التدريب يقدم مصداقية للمشاركين في مجالات متقدمة ويشجع على تبني معايير عالمية في القطاع الزراعي.

من خلال هذه البرامج، يمكن للمزارعين والمهندسين الزراعيين اكتساب المهارات الضرورية لتطبيق التقنيات الحديثة وزيادة الإنتاجية الزراعية بطرق أكثر استدامة وكفاءة.

- **تصميم البرامج التدريبية**

يتطلب تصميم برامج تدريبية فعالة في القطاع الزراعي الرقمي مراعاة عدة عوامل مثل الفروقات في الخلفية الرقمية واللغة ومستوى التعليم. إن تقديم تدريب موجه يلائم المستويات المتفاوتة من المعرفة الرقمية يُعد أساسياً لضمان استفادة شاملة لجميع الفئات. وقد أثبتت التجربة العملية أن الجمع بين المحتوى النظري والتطبيق العملي هو الأكثر فاعلية في ترسيخ المهارات الرقمية، مما يساعد المتدربين على تطبيق المعارف بشكل واقعي.

كما يُوصى بتضمين وحدات تدريبية متخصصة حول:

- **استخدام الهواتف الذكية في الزراعة**: تعليم المزارعين كيفية استخدام التطبيقات الزراعية مثل تتبع الطقس، ورصد المحاصيل، وتنظيم جدول الري عبر الهواتف الذكية.
- **منصات تتبع سلاسل الإمداد**: تدريس كيفية استخدام المنصات الرقمية التي تساعد على تتبع المنتجات الزراعية من المزرعة إلى السوق، وبالتالي ضمان الجودة والحد من الفاقد.
- **تحليل صور الطائرات المسيّرة**: تدريب على كيفية استخدام الطائرات بدون طيار لتحليل المحاصيل، ورصد الأمراض، وتحديد مستويات الرطوبة والتغذية.
- **الأمن الرقمي وحماية البيانات**: تعليم أساسيات حماية المعلومات الرقمية، وضمان أمان بيانات المزارعين في ظل التوسع الرقمي.

- **دور الجامعات ومراكز البحوث**

تلعب الجامعات دوراً محورياً في توفير التدريب الرقمي، من خلال تحديث مناهجها لتشمل وحدات تعليمية متخصصة في المجالات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية وإنترنت الأشياء في الزراعة (Sundmaeker *et al.*, 2016). كما أن مراكز البحوث الزراعية تقدم مساحات عملية لتدريب الطلاب والمهنيين على استخدام أدوات الزراعة الذكية، وتساهم في تأهيل المدربين المحليين لتوسيع نطاق التأثير.

- **المبادرات الحكومية والدولية**

على مستوى الدول النامية، أُطلقت العديد من المبادرات الوطنية للتدريب الرقمي الزراعي. مثال على ذلك، برنامج "Digital Agriculture Training

"Program في رواندا، الذي استهدف تدريب 5000 مزارع خلال عامين لتوسيع المهارات الرقمية لديهم وتحسين ممارسات الزراعة الذكية.

أما على المستوى الدولي، فدعم العديد من المنظمات الدولية مثل منظمة الأغذية والزراعة الصندوق الدولي للتنمية الزراعية (IFAD) مبادرات تهدف إلى بناء المهارات الرقمية للمزارعين عبر مشاريع (IFAD, 2023) مثل:

- **المدارس الحقلية الرقمية للمزارعين (Digital Farmer Field Schools)**: التي تقدم ورش تدريبية عبر الإنترنت لتحسين المهارات التقنية لدى المزارعين.
- **القرى الذكية (Smart Villages)**: وهي مبادرة تجمع بين التكنولوجيا الرقمية والمجتمعات الريفية بهدف تمكين المزارعين من استخدام الأدوات الرقمية بشكل فعال لتحسين إنتاجيتهم.

تُظهر هذه المبادرات أهمية التعاون بين الحكومات، الجامعات، ومنظمات التنمية الدولية في تعزيز التدريب الرقمي الزراعي لتحقيق التنمية المستدامة في المجتمعات الريفية.

- **تقنيات وأساليب تدريب مبتكرة**

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً ملحوظاً في تقنيات وأساليب التدريب الزراعي التي تعتمد على التكنولوجيا الرقمية. وقد ساهمت هذه التقنيات في تحسين فعالية التدريب وزيادة وصوله إلى المزارعين، خاصة في المناطق الريفية والنائية. من أبرز هذه الأساليب:

- **الواقع المعزز والواقع الافتراضي:** تُعد هذه التقنيات من أحدث الأدوات التي تسهم في تدريب المزارعين على التعامل مع الآلات الزراعية أو تحليل المحاصيل دون الحاجة إلى وجود ميداني دائم. يستطيع المزارعون عبر الواقع

الافتراضي التفاعل مع بيئات زراعية مُحاكاة، مما يعزز تجربتهم العملية. في حين يتيح الواقع المعزز عرض المعلومات بشكل تفاعلي أثناء عمل المزارع في الميدان، مثل التوجيه الفوري حول كيفية تطبيق تقنيات الري الذكي أو مكافحة الآفات.

- **التدريب عبر الرسائل القصيرة وتطبيقات الدردشة:** في المناطق ذات الاتصال الضعيف، يُعتبر التدريب عبر الرسائل القصيرة (SMS) وتطبيقات الدردشة الوسيلة الأكثر فاعلية لتوصيل الإرشادات التقنية. هذه التقنية توفر نصائح وتقارير فورية عن الطقس، الأمراض النباتية، أو أساليب الزراعة المبتكرة، مما يسهم في تقليل الفجوة الرقمية بين المزارعين في المناطق النائية.
- **التدريب بالمشاركة المجتمعية:** يتركز هذا النوع من التدريب على مفهوم التعلم المجتمعي، حيث يقوم المتدربون بعد انتهاء الدورة بتعليم أقرانهم المهارات الرقمية والتقنية التي تعلموها. هذه الطريقة التشاركية تسهم في تسريع نشر المهارات داخل المجتمعات الزراعية، وتعزز التفاعل الاجتماعي بين المزارعين، مما يؤدي إلى إثراء التجربة التعليمية وتعزيز الاستدامة في التعلم.

إن الاستثمار في برامج تدريب رقمية شاملة ومبتكرة لا يعزز فقط من أداء الأفراد، بل يسهم في تحسين أداء القطاع الزراعي ككل. كما يُسرّع وتيرة التحول الرقمي في الزراعة، مما يساهم في تحقيق الاستدامة الزراعية، وزيادة إنتاجية المحاصيل، وتحسين الوصول إلى الأسواق.

4. تحديات تطوير المهارات الرقمية

على الرغم من الأهمية المتزايدة لتنمية المهارات الرقمية في القطاع الزراعي، لا سيما في ظل التحول نحو الزراعة الذكية، إلا أن هناك مجموعة من التحديات الجوهرية التي تواجه جهود تطوير هذه المهارات، خصوصاً في الدول النامية. وتشمل أبرز هذه التحديات ما يلي:

- **محدودية الوصول إلى البنية التحتية الرقمية**

تعاني العديد من المناطق الريفية في الدول النامية من ضعف شبكات الإنترنت وبنية الاتصالات، مما يعوق قدرة المزارعين والمهندسين الزراعيين على المشاركة في برامج التدريب الرقمية، والوصول إلى الموارد التعليمية الإلكترونية. هذا التحدي يُصعب من انتشار المعرفة التقنية في المناطق النائية ويقلل من فرص التعلم عن بُعد. علاوة على ذلك، فإن قلة توفر الأجهزة الذكية مثل الهواتف الحديثة أو الحواسيب، تُشكل عائقاً إضافياً أمام المزارعين في استخدام التطبيقات الرقمية أو المشاركة في الدورات التدريبية عبر الإنترنت (World Bank, 2021). في بعض الحالات، تكون التكاليف المرتفعة للأجهزة الرقمية السبب الرئيسي في عدم قدرة المزارعين على تبني التقنيات الحديثة.

- **الفجوة المعرفية ومستوى التعليم**

تتفاوت مستويات التعليم و الثقافة الرقمية بين الفئات المستهدفة في القطاع الزراعي، حيث يفتقر الكثير من المزارعين إلى المهارات الأساسية في استخدام التكنولوجيا، مما يجعل من الصعب عليهم الاستفادة الكاملة من التدريب الرقمي أو تطبيق ما تعلموه في حقولهم الزراعية. كما أن قلة الخبرة مع التكنولوجيا قد تؤدي إلى مقاومة للتغيير في بعض المجتمعات الزراعية التقليدية (FAO, 2022).

بالإضافة إلى ذلك، يواجه العديد من المهندسين الزراعيين صعوبة في التكيف مع التقنيات الحديثة، لافتقادهم التدريب المتخصص في الزراعة الذكية، نظم المعلومات الجغرافية، و الذكاء الاصطناعي. هذه الفجوة المعرفية تؤثر سلباً على القدرة على تبني التقنيات الجديدة وتطويرها بشكل فعال في مشاريع الزراعة، مما يقلل من الإنتاجية وجودة المحاصيل.

التأثيرات المترتبة على هذه التحديات:

- **ضعف الابتكار**: مع تزايد هذه الفجوات، يجد المزارعون صعوبة في **تبني** تقنيات جديدة مثل الزراعة الدقيقة أو أنظمة الري الذكي.
- **تحديات كبيرة في تطبيق التكنولوجيا**: يُعد نقص التدريب الرقمي المتخصص أحد الأسباب الرئيسة التي تعوق تبني حلول تكنولوجية متقدمة، وتؤثر بشكل كبير على مخرجات القطاع الزراعي.

التركيز على تحسين البنية التحتية الرقمية، وتوفير دورات تدريبية متخصصة ومتاحة للجميع، بالإضافة إلى زيادة الوعي بأهمية التكنولوجيا، سيكون خطوة مهمة نحو سد الفجوة الرقمية وتفعيل تحول القطاع الزراعي في هذه البلدان.

- **ضعف المحتوى التدريبي المحلي والمناسب ثقافياً**

يعد نقص المحتوى التدريبي الذي يتماشى مع الواقع المحلي أحد أبرز التحديات في تطوير المهارات الرقمية في الزراعة. حيث أن العديد من البرامج التدريبية تكون مصممة باستخدام لغات ولهجات وأساليب تعليمية قد لا تكون مناسبة أو ملائمة لخصوصيات المجتمعات الريفية .غالباً ما تكون هذه البرامج مترجمة من مصادر دولية قد لا تعكس البيئة الزراعية المحلية أو تحدياتها الخاصة، مما يقلل من فعالية التدريب في تحسين الممارسات الزراعية.

تُظهر العديد من الدراسات أن المحتوى التدريبي الذي يتناسب مع احتياجات المزارعين المحليين ويحاكي الواقع الزراعي المحلي يكون أكثر فعالية. عدم ملاءمة المحتوى للتحديات اليومية التي يواجهها المزارعون مثل تقنيات الري الذكي في الأراضي الجافة أو استخدام الطائرات المسيرة لتحديد حالة المحاصيل، يمكن أن يؤدي إلى محدودية الاستفادة من برامج التدريب (IFAD, 2023). ومن أجل تجاوز هذه المشكلة، يجب أن يتم تصميم المحتوى بشكل يتوافق مع اللغة المحلية

والأساليب التعليمية المتعارف عليها في المجتمع الزراعي، وتقديم أمثلة عملية تتناسب مع التقاليد الزراعية و التقنيات المحلية.

- **المقاومة الثقافية والاجتماعية**

يرافق إدخال التكنولوجيا الحديثة في الزراعة أحياناً مقاومة ثقافية واجتماعية، وذلك بسبب الخوف من التغيير وفقدان الهوية التقليدية للزراعة. التخوف من التكنولوجيا قد يكون أكبر بين المزارعين كبار السن، الذين يفضلون الممارسات الزراعية القديمة ويشعرون أن التقنيات الجديدة قد تكون معقدة أو غير موثوقة (Sulaiman *et al.*, 2021). هذه المقاومة تأتي من عدم الوعي بفوائد الرقمنة، وأحياناً من الخوف من فقدان الوظائف التقليدية التي اعتادوا عليها.

قد تواجه المبادرات الرقمية رفضاً من بعض الفاعلين المحليين الذين يرون أن التحول الرقمي قد يهدد مصالحهم التقليدية، مثل تجار الأسمدة أو الممارسين المعتمدين على أساليب غير رقمية في الزراعة. في هذه الحالات، يصبح من الضروري زيادة الوعي لدى جميع الفئات الزراعية حول الفوائد المباشرة للتقنيات الرقمية، مثل تحسين إنتاجية المحاصيل وتقليل الفاقد والتحكم الأفضل في الموارد.

لذلك، من المهم تقديم نماذج نجاح محلية تبرهن على أن التقنيات الحديثة يمكن أن تحسن حياة المزارعين دون الإضرار بالتقاليد الزراعية. كما يجب أن يكون التحول الرقمي مصحوباً بدعم ثقافي واجتماعي لضمان قبول التكنولوجيا وتطبيقها بشكل فعال في المجتمعات الزراعية.

- **قلة الدعم المالي والسياسات المساندة**

في العديد من الدول النامية، يفتقر القطاع الزراعي إلى دعم مالي كافٍ لتمويل برامج التدريب الرقمي، مما يحد من قدرتها على التوسع والاستدامة. إذ غالباً ما تكون برامج التدريب الرقمي في هذه الدول عرضة للنقص في الموارد، مثل الأجهزة

والبرمجيات، ما يؤثر بشكل مباشر على جودة التدريب وكفاءته (World Bank, 2023). كما أن غياب السياسات الداعمة التي تروج للاستثمار في المهارات الرقمية الزراعية يعطل تطور القطاع.

غياب الحوافز الموجهة إلى القطاع الخاص والمجتمع المدني لمشاركة الموارد في بناء القدرات الرقمية يعتبر أحد المعوقات الكبيرة التي تواجه هذه البرامج. في ظل غموض المكاسب الاقتصادية التي قد يحققها القطاع الخاص من هذا التحول، فإن معظم الشركات لا تتحفز للاستثمار في هذه المجالات، مما يضعف من قدرة هذه البرامج على التوسع والانتشار.

لذلك، من الضروري إشراك القطاع الخاص في دعم البرامج التدريبية الرقمية من خلال حوافز مالية أو شراكات استثمارية. علاوة على ذلك، يجب أن يتم تطوير سياسات داعمة من قبل الحكومات لضمان أن تكون برامج التدريب مستدامة و مبنية على أسس تمويلية مستقرة.

- **تحديات متعلقة بالموارد البشرية**

يعد نقص المدربين المؤهلين في المجال الرقمي الزراعي أحد التحديات الرئيسية التي تواجه برامج التدريب في هذا المجال. فالأشخاص الذين يمتلكون مهارات رقمية متقدمة في الزراعة ليسوا كثيرين، مما يحد من نوعية التدريب و تأثيره في تعزيز قدرات المزارعين والمهندسين الزراعيين. في هذا السياق، يُعتبر تحديث مهارات المدربين بشكل دوري من أبرز العوامل التي تضمن استمرارية الجودة في التدريب الزراعي الرقمي (Sundmaeker *et al*., 2016).

الاستثمار في الكوادر البشرية في هذا القطاع أمر بالغ الأهمية. يحتاج المدربون إلى تدريب مستمر ليس فقط على التقنيات الزراعية الحديثة ولكن أيضاً على التقنيات الرقمية الجديدة مثل الذكاء الاصطناعي، الاستشعار عن بُعد، وتحليل البيانات

الكبيرة .كما ينبغي تطوير برامج تدريبية متخصصة تهدف إلى إعداد المدربين على أعلى مستوى، وذلك لتعزيز قدرتهم على تعليم المزارعين بشكل فعال.

التحديات المذكورة تتطلب استراتيجيات متكاملة تشمل:

- **استثمار في البنية التحتية** لتمكين البرامج التدريبية الرقمية من الوصول إلى أكبر عدد ممكن من المستفيدين.
- **إنتاج محتوى تعليمي ملائم** يتماشى مع الاحتياجات الثقافية والمجتمعية للزراعات المحلية.
- **دعم السياسات الحكومية** لتعزيز التحول الرقمي في الزراعة من خلال حوافز مالية وضمان استدامة التمويل.
- **تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص** لتوفير الموارد و التقنيات اللازمة لتحقيق التطور المستدام.

من خلال هذه الاستراتيجيات، يمكن تخطي هذه التحديات، وتمكين المزارعين والمهندسين الزراعيين في الدول النامية من التكيف مع التحولات الرقمية وتحقيق أمن غذائي مستدام.

5. نماذج ناجحة في تنمية المهارات الرقمية

شهدت العديد من الدول، خاصة في العالم النامي، مبادرات ناجحة لتعزيز المهارات الرقمية لدى المزارعين والمهندسين الزراعيين، والتي يمكن اعتبارها نماذج ملهمة لتطبيقها وتطويرها. نستعرض فيما يلي بعض أبرز هذه النماذج:

- **برنامج "مزارع المستقبل" في كينيا**

أطلق البرنامج "مزارع المستقبل" في كينيا بالشراكة بين الحكومة الكينية ومؤسسات دولية بارزة مثل برنامج الأغذية العالمي (WFP) ومنظمة الأغذية والزراعة (FAO)، بهدف تدريب المزارعين في المناطق الريفية على استخدام التطبيقات

الذكية لتحسين إدارة الزراعة. هذا البرنامج لا يقتصر فقط على توفير المعرفة حول الزراعة الذكية، بل يركز على تحسين الإنتاجية الزراعية من خلال أدوات رقمية متقدمة (Gakuru *et al*., 2020).

الخصائص الرئيسية للبرنامج:

- **التطبيقات الذكية**: يعتمد المزارعون على تطبيقات لتحديد مواعيد الزراعة، مراقبة صحة المحاصيل، وإدارة الري الذكي، مما يساعدهم في تحسين الكفاءة وتقليل الفاقد.
- **التدريب عبر مراكز متنقلة**: نظراً للتحديات الجغرافية في كينيا، يعتمد البرنامج على مراكز تدريب متنقلة للوصول إلى المجتمعات الريفية، وهو ما يجعل التدريب أكثر قوة وفعالية .يتم تقديم الدورات التدريبية بلغة اللغة المحلية لضمان وصول المعلومة بطريقة مفهومة للمزارعين.
- **الشراكة مع القطاع الخاص**: يستفيد البرنامج من التعاون مع الشركات الزراعية المحلية والدولية التي تساهم في توفير الأدوات الذكية والبرمجيات الضرورية.
- **النتائج والآثار** :أظهرت الدراسات أن المزارعين الذين شاركوا في البرنامج تمكنوا من زيادة إنتاجيتهم بنسبة تتراوح بين 20% إلى 40%، إضافة إلى تحسن ملحوظ في إدارة الموارد المائية من خلال تطبيق تقنيات الري الذكي.

التحديات والمستقبل:

- بالرغم من النجاح الكبير للبرنامج، فإن التحديات تشمل التوسع في المناطق النائية، حيث يصعب الوصول إلى كل المزارعين بسبب البنية التحتية المحدودة. ومع ذلك، يعتزم البرنامج التوسع من خلال زيادة الشراكات الدولية و تحسين البنية التحتية الرقمية لدعم المزيد من المزارعين في مختلف المناطق.

- **منصة "Kisan Suvidha" في الهند**

المنصة إلكترونية مبتكرة أطلقتها الحكومة الهندية في إطار برنامج التحول الرقمي للزراعة في البلاد. تعتبر المنصة من أفضل الأمثلة على دمج التكنولوجيا في دعم صغار المزارعين في الهند، وتوفير المعلومات الدقيقة والمحدثة بشكل فوري لتساعدهم على اتخاذ قرارات أفضل بشأن الزراعة (ICAR, 2023).

الخصائص الرئيسية للمنصة:

- **معلومات حيوية**: توفر منصة Kisan Suvidha معلومات فورية حول حالة الطقس، أسعار المحاصيل، ومواعيد الزراعة. كما تقدم نصائح حول أفضل الممارسات الزراعية التي تساعد المزارعين على تحسين الإنتاجية وتقليل المخاطر.
- **الورش الإلكترونية وبرامج التدريب**: بالتوازي مع توفير البيانات الزراعية، تنظّم الحكومة الهندية ورش عمل إلكترونية وبرامج تدريبية عبر الإنترنت للمزارعين.

- **مبادرة "التعليم الزراعي الرقمي" في رواندا**

أطلقت الحكومة الرواندية بالتعاون مع برنامج الأغذية العالمي (WFP) برنامج "الزراعة الذكية"، الذي يهدف إلى تعزيز إنتاجية الزراعة باستخدام التقنيات الرقمية المتقدمة. يسعى البرنامج إلى تحسين القدرة على التنبؤ بالأحوال الجوية والمخاطر الزراعية من خلال الاستفادة من البيانات الحية، بالإضافة إلى توفير إرشادات دقيقة للمزارعين عبر الهواتف المحمولة.

الخصائص الرئيسية للبرنامج:

- **إرشادات عبر الهواتف المحمولة**: يعتمد البرنامج على استخدام الهواتف المحمولة لتوفير إرشادات زراعية دقيقة في الوقت الفعلي للمزارعين، مما يساعدهم على اتخاذ قرارات سريعة بشأن الزراعة.
- **تحليل البيانات الزراعية**: يُدرّب المزارعون على كيفية استخدام البيانات الكبيرة ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل بيانات المحاصيل، مما يساعدهم على التنبؤ بحالات الطقس ومراقبة صحة المحاصيل بشكل دقيق.
- **التنبؤ بالأحوال الجوية والمخاطر الزراعية**: يتم استخدام البيانات لتحسين التنبؤات الخاصة بالطقس وتحليل المخاطر الزراعية، مما يمكن المزارعين من اتخاذ تدابير وقائية لتقليل الخسائر.
- **دورات تدريبية موجهة**: يشمل البرنامج دورات تدريبية تركز على استخدام أدوات الزراعة الذكية، مثل نظم GIS والبرمجيات المتخصصة في تحليل البيانات.

التحديات والفرص:

- تزداد أهمية البنية التحتية الرقمية في رواندا لتوسيع نطاق البرنامج ليشمل المزيد من المزارعين في المناطق النائية. ولكن البرنامج يواجه تحديات تتعلق بالوصول إلى الإنترنت في بعض المناطق الريفية.
- البرنامج يوفر فرصة كبيرة لزيادة الإنتاجية الزراعية في البلاد، فضلاً عن تحسين التنوع الاقتصادي للمزارعين.

التوسع في المستقبل:

- الحكومة الرواندية تخطط لتوسيع البرنامج ليشمل مناطق أخرى ذات كثافة زراعية مرتفعة، من خلال توفير المزيد من الدورات التدريبية وتطوير المحتوى الرقمي المحلي.
- سيتم التركيز على التكنولوجيا الرقمية كأداة أساسية لتعزيز قدرات المزارعين في مختلف أنحاء البلاد.

- **برنامج "AgriTech" في نيجيريا**

في نيجيريا، أُطلق برنامج "AgriTech" الذي يهدف إلى تسريع التحول الرقمي في قطاع الزراعة. يعتمد البرنامج على استخدام التقنيات الحديثة مثل الطائرات بدون طيار وتقنيات الاستشعار عن بُعد لمراقبة المحاصيل، وتقييم صحة الأراضي، وتحليل البيانات الزراعية.

الخصائص الرئيسية للبرنامج:

- **الطائرات بدون طيار**: يتم تدريب المزارعين على استخدام الطائرات بدون طيار لمراقبة صحة المحاصيل، مما يساعدهم في رصد الأمراض أو الآفات في وقت مبكر، وبالتالي يمكنهم اتخاذ الإجراءات اللازمة للحفاظ على المحاصيل.
- **تقنيات الاستشعار عن بُعد**: يستخدم البرنامج أجهزة الاستشعار عن بُعد لمراقبة الأراضي الزراعية وتحليل خصائص التربة ومستوى الرطوبة، مما يساعد المزارعين على تحديد أفضل ممارسات الري.
- **منصات تحليل البيانات الزراعية**: يركز البرنامج على تطوير مهارات المزارعين في إدارة المزارع الرقمية باستخدام منصات لتحليل البيانات

الزراعية. تتيح هذه المنصات تحليل البيانات بشكل فعال لتقديم توصيات حول أفضل الطرق لزيادة الإنتاجية الزراعية.

- **شراكة مع القطاع الخاص**: يشارك العديد من شركات التكنولوجيا الزراعية المحلية والدولية في تقديم الحلول الرقمية التي تدعم المزارعين في نيجيريا.

التحديات والفرص:

- بينما يحقق البرنامج تقدماً كبيراً في المدن الكبرى، فإنه يواجه تحديات كبيرة في المناطق الريفية بسبب نقص البنية التحتية الرقمية وضعف الوصول إلى الإنترنت.
- إلا أن شراكات القطاع الخاص تساعد في تسريع توفير الأدوات التقنية اللازمة وتوسيع نطاق الاستخدام، مما يساهم في تحقيق التنمية المستدامة في القطاع الزراعي.

التوسع في المستقبل:

- يعتزم البرنامج توسيع التغطية الجغرافية ليشمل المزيد من المناطق الريفية، مع التركيز على توفير تدريب مستمر للمهندسين الزراعيين والمزارعين في مختلف المجالات الرقمية، مثل الاستشعار عن بُعد وتحليل البيانات الزراعية.

- **مبادرة "الزراعة الذكية" في غانا**

أطلقت غانا مشروع "الزراعة الذكية" الذي يهدف إلى تعزيز المهارات الرقمية لدى المزارعين من خلال منصات التعليم الإلكتروني التي توفر دورات تدريبية متخصصة في الزراعة الدقيقة، إدارة سلاسل الإمداد الزراعي، وتحليل البيانات الزراعية. يتيح البرنامج للمزارعين التعرف على التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي والروبوتات الزراعية، مع تقديم دعم فني مستمر للمزارعين عبر الهواتف المحمولة.

وبفضل الشراكات بين الحكومة الغانية و الشركات التكنولوجية، حقق البرنامج نجاحاً كبيراً في تمكين المزارعين وزيادة إنتاجيتهم الزراعية (FAO, 2022).

دروس مستفادة من هذه النماذج

تظهر هذه المبادرات الناجحة في الدول النامية أنَّ هناك مجموعة من العوامل الأساسية التي تسهم في نجاح البرامج الرقمية الزراعية، أبرزها:

- **استخدام اللغة المحلية**: لضمان فهم المعلومات التقنية والتفاعل الفعّال مع المحتوى التدريبي.
- **التدريب الميداني المتنقل**: الوصول إلى المناطق الريفية التي تفتقر إلى البنية التحتية التقنية.
- **الشراكات بين الحكومة والقطاع الخاص**: لضمان التمويل المستدام وتوفير التكنولوجيا المتقدمة.
- **دعم البرامج الإلكترونية والورش التدريبية عبر الإنترنت**: لزيادة الوصول إلى أكبر عدد من المزارعين في الأماكن النائية.

من خلال الاستفادة من هذه النماذج الناجحة، يمكن للدول الأخرى تحسين التحول الرقمي الزراعي وتوسيع نطاق التقنيات الحديثة التي تعتمد على البيانات الكبيرة والاستشعار عن بُعد لتحسين كفاءة الإنتاج الزراعي.

6. 6. توصيات لتسريع اكتساب المهارات الرقمية

تسريع اكتساب المهارات الرقمية لدى المزارعين والمهندسين الزراعيين يتطلب تطوير استراتيجيات شاملة تأخذ في الحسبان التحديات البيئية، الثقافية، والتقنية التي يواجهها القطاع الزراعي. هذه التوصيات تهدف إلى بناء قدرات رقمية مستدامة تدعم التحول الرقمي في الزراعة:

- **تطوير برامج تدريب موجهة ومرنة**

من أجل تلبية احتياجات جميع الفئات، ينبغي أن تكون البرامج التدريبية مصممة بطريقة مرنة تراعي الفروقات في المستويات التعليمية والرقمية. يمكن اعتماد أساليب التعلم الهجين (Blended Learning)، التي تجمع بين التعليم التقليدي والتعلم الإلكتروني، لتمكين المزارعين في المناطق النائية من الوصول إلى المعرفة بسهولة أكبر (FAO, 2021):

- **التدريب المتخصص**: تطوير دورات تدريبية متخصصة في الزراعة الذكية، الذكاء الاصطناعي، الاستشعار عن بُعد، وغيرها من المواضيع الرقمية الأساسية.
- **التعلم على مدار الحياة**: إنشاء برامج تستمر في تطوير مهارات المزارعين على مدار حياتهم المهنية، من خلال منصات تعليمية مفتوحة ومتجددة.

- **تعزيز البنية التحتية الرقمية**

يعد تحسين البنية التحتية الرقمية شرطاً أساسياً لتسريع اكتساب المهارات الرقمية (World Bank, 2022). يجب أن تشمل هذه الجهود:

- **توفير الإنترنت عالي السرعة**: بناء شبكات الإنترنت في المناطق الريفية والنائية لتوسيع الوصول إلى البرامج التدريبية والموارد التعليمية.
- **توفير الأجهزة المناسبة**: تسهيل الحصول على أجهزة رقمية مثل الهواتف الذكية أو الحواسيب بأسعار معقولة، خصوصاً في المناطق التي تعاني من ضعف البنية التحتية.
- **إمكانية الوصول**: توفير الأجهزة والتقنيات الضرورية بأسعار معقولة تتيح للمزارعين الاستفادة من المنصات الرقمية.

- **دمج المهارات الرقمية في المناهج التعليمية الزراعية**

من الضروري تحديث المناهج في المؤسسات التعليمية الزراعية لتشمل المهارات الرقمية الأساسية (UNESCO, 2023). يجب أن يتعلم الجيل القادم من المهندسين الزراعيين كيفية التعامل مع التقنيات الحديثة التي أصبحت جزءاً أساسياً من الزراعة:

- **المناهج المحدثة**: تضمين البرمجيات الزراعية مثل نظم المعلومات الجغرافية والزراعة الدقيقة في الدورات الدراسية.
- **التدريب العملي**: التركيز على المهارات الرقمية من خلال التطبيقات العملية، مثل تحليل البيانات الزراعية باستخدام البرمجيات المتخصصة.
- **محتوى محلي وتخصصي**: تطوير برامج تعليمية تستند إلى التحديات المحلية، مثل الظروف المناخية في مناطق معينة أو نوع المحاصيل المحلية.

- **تشجيع التعاون والشراكات متعددة القطاعات:**

من الضروري تحفيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص، المؤسسات الأكاديمية، ومنظمات المجتمع المدني من أجل تبادل الخبرات والموارد وتطوير محتوى تدريبي محدث ومواكب للتطورات الرقمية في الزراعة. هذا التعاون يساعد على ضمان توافق المحتوى التدريبي مع احتياجات السوق الزراعي، حيث أن دمج التوجهات الرقمية في الزراعة يتطلب تفاعلاً وثيقاً بين الأطراف المختلفة. مثل هذه الشراكات تتيح للمزارعين الوصول إلى أحدث التقنيات الرقمية وتوسيع نطاق التدريب المهني.

المؤسسات الأكاديمية يمكنها تطوير مناهج تعليمية تركز على التقنيات الرقمية، بينما يوفر القطاع الخاص الدعم عبر الاستثمار في التكنولوجيا وتوفير برامج تدريب متخصصة. هذا التنسيق يعزز قدرة القطاع الزراعي على التكيف مع التغيرات الرقمية بشكل أسرع (IFAD, 2022).

- **توفير حوافز مالية ومعنوية**

من المهم أن يتم تقديم حوافز مالية ومعنوية لتحفيز المزارعين والمهندسين الزراعيين على تبني التقنيات الرقمية:

- **المنح الدراسية**: تقديم منح دراسية للطلاب المهتمين بالمجالات التقنية المتعلقة بالزراعة مثل الذكاء الاصطناعي، الزراعة الدقيقة، وتحليل البيانات.
- **دعم شراء الأجهزة الرقمية**: تقديم دعم مالي لشراء الأجهزة الرقمية الضرورية مثل الهواتف الذكية و الأجهزة اللوحية التي تسهم في تحسين ممارسات الزراعة.
- **تكريم المزارعين المبتكرين**: تكريم المزارعين الذين ينجحون في تطبيق التقنيات الرقمية في مزارعهم من خلال جوائز أو شهادات تقدير. هذه الحوافز تدفع الأفراد إلى تبني التقنيات الحديثة بشكل أكبر، مما يعزز نمو القطاع الزراعي الرقمي (World Economic Forum, 2023).

- **التوعية المجتمعية المستمرة**

تعتمد التوعية المجتمعية المستمرة على التواصل الفعّال مع المجتمعات الريفية لتعريفهم بأهمية المهارات الرقمية:

- **حملات توعوية**: إطلاق حملات توعية موجهة باستخدام وسائل الإعلام التقليدية مثل الراديو والتلفزيون، وكذلك الوسائل الرقمية مثل المنصات الاجتماعية واليوتيوب، لشرح فوائد التحول الرقمي في الزراعة.
- **الأنشطة المجتمعية**: تنظيم ورش عمل محلية في القرى والمدن الصغيرة لإظهار كيف يمكن أن تساعد التقنيات الرقمية في تحسين الإنتاجية الزراعية وجودة الحياة. استخدام اللغة المحلية في هذه الحملات يعزز من مستوى الفهم والقبول بين الفئات المستهدفة (FAO, 2021).

- **تطوير منصات تعليمية إلكترونية مخصصة**

تُعد المنصات التعليمية الإلكترونية من الأدوات الفعّالة التي يمكن أن تساعد المزارعين على اكتساب المهارات الرقمية:

- **التعليم الذاتي**: إنشاء منصات تفاعلية سهلة الاستخدام تتيح للمزارعين التعلم الذاتي وتقديم دورات تدريبية عن بعد تتناسب مع احتياجاتهم الفعلية.
- **المحتوى المخصص**: ينبغي أن يكون المحتوى التدريبي ملائماً للظروف البيئية والاجتماعية للمناطق الريفية، مع ترجمة المحتوى إلى اللغات المحلية وضمان تنسيقه بما يتناسب مع التحديات الزراعية المحلية.
- **تسهيل الوصول**: يمكن أن تُساعد المنصات الإلكترونية المزارعين في الحصول على دورات تدريبية حول التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي و الزراعة الذكية دون الحاجة للحضور الفعلي في الفصول الدراسية. هذه المنصات ستزيد من فرص الوصول إلى التدريب في المناطق النائية وتُسهم في نشر المهارات الرقمية على نطاق واسع (GIZ, 2022).

باتباع هذه التوصيات، ستتمكن الدول النامية من تسريع اكتساب المهارات الرقمية في القطاع الزراعي. كما أن توفير بنية تحتية محدثة، ودعم المبادرات التعليمية الرقمية، وتقديم حوافز مالية، سيؤدي إلى تحقيق الأمن الغذائي بشكل مستدام، ويسهم في زيادة الإنتاجية، ويدعم التحول الرقمي في الزراعة على المستوى المحلي والعالمي.

7. 7. الخاتمة

في ضوء التحولات المتسارعة التي يشهدها القطاع الزراعي العالمي نحو الرقمنة والذكاء الاصطناعي، أصبحت تنمية المهارات الرقمية للمزارعين والمهندسين الزراعيين ضرورة استراتيجية لا غنى عنها لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة. فقد

أظهر التحليل أن امتلاك هذه المهارات يُمكن الفاعلين الزراعيين من تحسين جودة الإنتاج، تعزيز كفاءة الموارد، والتكيف مع التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة (World Bank, 2022).

لقد برزت الفجوات الكبيرة في مستويات المهارات الرقمية بين الفئات المستهدفة، خصوصاً في الدول النامية، مما يستدعي تكثيف الجهود لتوفير برامج تدريبية موجهة، بنية تحتية رقمية ملائمة، وسياسات داعمة لتعزيز الكفاءة الرقمية. كما تبرز أهمية تكامل هذه الجهود مع استراتيجيات وطنية للتعليم الزراعي والتطوير المهني، تعزز التعاون بين الحكومات والقطاع الخاص والمؤسسات الأكاديمية والمجتمع المدني.

علاوة على ذلك، فإن تبني نهج تعليمي شامل يجمع بين المهارات التقنية والقدرات التحليلية والتفكير الابتكاري يعد عاملاً حاسماً لتمكين الجيل القادم من المزارعين والمهندسين الزراعيين من استثمار الفرص التقنية الجديدة وتحويلها إلى منافع عملية ومستدامة.

على الرغم من التقدم المحرز، لا تزال هناك عقبات تتعلق بالبنية التحتية الرقمية، ضعف الوعي، وعدم تكافؤ الفرص في بعض المناطق النائية، مما يحتم تطوير استراتيجيات أكثر شمولية تتضمن دعم البنية التحتية، تعزيز الوعي المجتمعي، وتقديم حوافز للمزارعين والمهندسين لتبني التقنيات الرقمية.

ختاماً، يمكن القول إن بناء القدرات الرقمية في المجال الزراعي هو استثمار استراتيجي يفتح آفاقاً جديدة للتنمية المستدامة، ويسهم في بناء منظومة زراعية حديثة وقادرة على مواجهة تحديات المستقبل بثقة وكفاءة.

8. 8. المراجع

Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big Data in food and agriculture. *Big Data & Society, 3*(1), 1-7.

Digital Green. (2021). *Annual report on digital agricultural extension*. https://www.digitalgreen.org/resources/

Embrapa. (2023). *Smart agriculture initiatives and training programs in Brazil*. Embrapa Publications.

European Commission. (2020). *Cybersecurity in agriculture: Guidelines and best practices*. European Union Publications.

FAO. (2021). *Digital technologies in agriculture: Opportunities and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/publications

FAO. (2022). *Digital literacy and capacity building in rural areas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gakuru, M., Winters, K., & Stepman, F. (2020). Mobile applications for agriculture and rural development. *World Bank Working Paper*. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0613-1

GIZ. (2022). *E-learning platforms for agricultural skill development*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

ICAR. (2023). *Kisan Suvidha: Enhancing farmer knowledge through digital tools*. Indian Council of Agricultural Research.

IFAD. (2022). *Multi-sector partnerships for rural development: Enhancing digital skills*. International Fund for Agricultural Development.

IFAD. (2023). *Digital agriculture and farmer field schools: Innovations and impacts*. International Fund for Agricultural Development.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91*, 100315.

Knickel, K., Rios, I., & Frelih-Larsen, A. (2018). Digital skills for agriculture: Concepts and best practices. *European Journal of Rural Studies, 45*(2), 125-139.

Rose, D. C., *et al*. (2021). The future of digital agriculture: Lessons from practice. *Agricultural Systems, 190*, 103087.

Sulaiman, R., Hall, A., & Bijman, J. (2021). Overcoming resistance to digital agriculture in rural communities. *Journal of Rural Studies, 85*, 282-291.

Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., & Pérez Freire, L. (2016). Internet of Things in agriculture – Status and perspectives. *European Commission Joint Research Centre*.

UNESCO. (2023). *Integrating digital skills in agricultural education: Framework and guidelines*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems, 153*, 69-80.

World Bank. (2021). *Bridging the digital divide in rural agriculture*. World Bank Group. https://documents.World bank. borg

World Bank. (2022). *Digital skills training for rural development: Case studies and lessons learned*. World Bank Group.

World Bank. (2023). *Funding digital agricultural transformation in developing countries*. World Bank Group.

World Economic Forum. (2023). *Incentivizing digital adoption in agriculture*. WEF Reports.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2019). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture, 36*(2-3), 113-132.

المحور الثامن: التحديات، السياسات، ومستقبل الزراعة الذكية

الفصل 44 - التحديات في تبني الزراعة الذكية

المحتويات

1. المقدمة
2. التحديات التقنية واللوجستية
3. فجوة المعرفة والتدريب بين المزارعين
4. محدودية البنية التحتية الرقمية
5. التكاليف الاقتصادية والاستثمارية
6. مقترحات لتخفيف العبء الاستثماري
7. التحديات الاجتماعية والثقافية
8. التفاوت بين الدول النامية والمتقدمة
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

شهدت الزراعة الذكية تطوراً ملحوظاً خلال العقدين الماضيين، حيث أصبحت تمثل مستقبل الزراعة الحديثة من خلال دمج تقنيات المعلومات والاتصالات مع الأساليب الزراعية التقليدية لزيادة الإنتاجية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز الاستدامة البيئية (Liakos *et al.*, 2018). ورغم هذه الفوائد العديدة، فإن تبني الزراعة الذكية يواجه العديد من التحديات التي تعيق تحقيق كامل إمكاناتها على نطاق واسع، خاصة في الدول النامية والريفية.

تتراوح هذه التحديات بين التقنية، والاقتصادية، والاجتماعية، والثقافية، مما يجعل من الضروري دراسة هذه العوائق بدقة لفهم كيفية التغلب عليها وضمان نشر واعتماد أوسع للتقنيات الذكية في المجال الزراعي (Wolfert *et al.*, 2017). كما تلعب الفجوة في البنية التحتية الرقمية ومستوى المعرفة والتدريب بين المزارعين دوراً كبيراً في تعقيد عملية الانتقال إلى الزراعة الذكية.

في هذا الفصل، سيتم استعراض أبرز التحديات التي تواجه تبني الزراعة الذكية، مع التركيز على الجوانب التقنية، اللوجستية، الاجتماعية، الاقتصادية، والاختلافات بين الدول المتقدمة والنامية. كما سيتم تقديم مقترحات عملية لمواجهة هذه التحديات، بهدف دعم صانعي القرار والمزارعين على حد سواء في تحقيق تحول ناجح ومستدام في القطاع الزراعي.

2. التحديات التقنية واللوجستية

تُعد التحديات التقنية واللوجستية من أبرز العقبات التي تواجه تطبيق الزراعة الذكية على أرض الواقع. فعلى الرغم من التطور السريع في تكنولوجيا المعلومات وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي، إلا أن دمج هذه التقنيات في المنظومة الزراعية يتطلب بنية تحتية قوية ومتطورة، وهو أمر غير متاح في كثير من المناطق الزراعية، خاصة الريفية منها (Kamilaris *et al*., 2017).

تشمل التحديات التقنية صعوبة الوصول إلى تقنيات حديثة مثل أجهزة الاستشعار الذكية، والطائرات بدون طيار، وأنظمة التحكم الآلي، والتي تحتاج إلى كفاءات فنية لصيانتها وتشغيلها بكفاءة. كما أن التكامل بين مختلف الأجهزة والبرمجيات المستخدمة يمثل تحدياً إضافياً، إذ تتطلب أنظمة الزراعة الذكية تنسيقاً معقداً بين الأجهزة والبيانات لضمان دقة وموثوقية النتائج (Verdouw *et al*., 2016).

أما التحديات اللوجستية فتتمثل في صعوبة تغطية المناطق الزراعية الواسعة بأنظمة الاتصال السريعة والموثوقة، إضافة إلى مشاكل نقل وصيانة المعدات التكنولوجية في ظروف بيئية قاسية، مثل درجات الحرارة المرتفعة أو الرطوبة العالية، مما قد يؤثر على عمر الأجهزة وأدائها. كذلك تتطلب عمليات تركيب هذه الأنظمة جهداً لوجستياً كبيراً يشمل تدريب الكوادر وتوفير خدمات الدعم الفني المستمر (Rose *et al*., 2020).

باختصار، تتطلب التحديات التقنية واللوجستية استثمارات ضخمة في البنية التحتية والتدريب، بالإضافة إلى تطوير حلول محلية تتناسب مع ظروف كل منطقة زراعية لضمان الاستفادة القصوى من الزراعة الذكية.

3. فجوة المعرفة والتدريب بين المزارعين

تُعد فجوة المعرفة والتدريب واحدة من أهم التحديات التي تعيق تبني الزراعة الذكية، إذ يواجه العديد من المزارعين صعوبة في فهم واستخدام التقنيات الحديثة بسبب نقص التدريب والمهارات التقنية (Wolfert *et al*., 2017). من أهم هذه الفجوات:

- يتميز قطاع الزراعة، خاصة في الدول النامية، بوجود عدد كبير من المزارعين التقليديين الذين يعتمدون على الممارسات الزراعية التقليدية، وليس لديهم خبرة أو اطلاع على الأدوات الرقمية الحديثة مثل أنظمة الاستشعار والروبوتات الزراعية أو البرمجيات التحليلية التي توفرها الزراعة الذكية (Gebbers & Adamchuk, 2010).
- يرتبط نقص المعرفة بشكل وثيق بالتدريب غير الكافي أو غيابه، حيث تعاني كثير من المجتمعات الزراعية من ندرة البرامج التدريبية المتخصصة التي تدمج بين الجوانب التقنية والزراعية، أو من ضعف جودة هذه البرامج. وهذا يحد من قدرة المزارعين على فهم كيفية تشغيل الأجهزة، تحليل البيانات، واتخاذ القرارات المبنية على المعلومات الرقمية (Rose *et al*., 2020).
- هناك مشكلة تتعلق بالتواصل بين الباحثين والمزارعين؛ فغالباً ما تُطوَّر التقنيات بشكل منفصل في بيئات البحث والتطوير دون مشاركة فعالة للمزارعين في مراحل التصميم والتنفيذ، مما يخلق فجوة بين ما يتم تطويره واحتياجات المزارعين الفعلية (Wolfert *et al*., 2017).
- **رابعاً**، يجب مراعاة التنوع في مستوى التعليم والثقافة الرقمية بين الفئات العمرية المختلفة من المزارعين، إذ يواجه كبار السن منهم تحديات أكبر في استخدام

التكنولوجيا مقارنة بالشباب، مما يفاقم من فجوة التبني (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- لحل هذه المشكلة، ينبغي الاستثمار في برامج تدريبية مستدامة ومتنوعة تدمج التعلم النظري مع التطبيق العملي، كما يجب تطوير مواد تعليمية سهلة الفهم وباللغات المحلية، بالإضافة إلى إنشاء مراكز دعم فني متخصصة. كذلك، يُنصح بإشراك المزارعين بشكل فعال في عملية تطوير التكنولوجيا لضمان ملاءمتها لاحتياجاتهم وظروفهم(Kamilaris *et al*., 2017) .

4. محدودية البنية التحتية الرقمية

تُعتبر البنية التحتية الرقمية من الدعائم الأساسية لتطبيق أنظمة الزراعة الذكية، إذ تعتمد هذه الأنظمة على شبكة اتصال قوية، وأجهزة استشعار متطورة، ومنصات معالجة وتحليل بيانات ضخمة. غير أن العديد من المناطق الريفية، خاصة في الدول النامية، تعاني من محدودية شديدة في هذه البنية، مما يشكل عقبة رئيسية أمام تبني الزراعة الذكية (Wolfert *et al*., 2017):

- **أولاً**، تفتقر الكثير من المناطق الزراعية إلى تغطية جيدة لشبكات الإنترنت عالية السرعة (مثل الجيل الرابع G 4 والجيل الخامس G5)، وهذا يقيد إمكانية نقل البيانات في الوقت الحقيقي بين الحقول الزراعية ومراكز التحليل أو التحكم (Kamilaris *et al*., 2017).
- **ثانياً**، هناك نقص في الأجهزة والمعدات التكنولوجية، بما في ذلك أجهزة الاستشعار الذكية، والكاميرات، والطائرات بدون طيار، وأجهزة القياس عن بُعد، نتيجة لقلة الموارد المالية وصعوبة الوصول لهذه المعدات في الأسواق المحلية (Rose *et al*., 2020).
- **ثالثاً**، تعتمد الزراعة الذكية على وجود مراكز بيانات متطورة وبنى تحتية سحابية (Cloud Infrastructure) لتخزين وتحليل البيانات الكبيرة، وغالباً ما تفتقر الدول

النامية إلى هذه المراكز أو تمتلكها بمستوى محدود لا يسمح بمعالجة البيانات بكفاءة (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- **رابعاً**، ضعف الدعم الفني وصعوبة الصيانة الدورية للأجهزة الرقمية يُعد من العقبات الإضافية، حيث تندر وجود فنيين متخصصين يمكنهم صيانة أو تحديث هذه الأنظمة بشكل مستمر، ما يؤدي إلى تعطل الأجهزة وتأخر الخدمة (Wolfert *et al*., 2017).

ولتجاوز هذه التحديات، من الضروري:

- تحسين البنية التحتية للاتصالات في المناطق الريفية عبر شراكات بين القطاعين العام والخاص، مع التركيز على توفير خدمات الإنترنت السريع بتكلفة معقولة.
- دعم برامج تمويلية لتوفير الأجهزة الرقمية الحديثة للمزارعين، مع تسهيل استيرادها أو تصنيعها محلياً.
- تطوير مراكز بيانات سحابية وطنية أو إقليمية لخدمة القطاع الزراعي.
- تدريب الكوادر الفنية المختصة للصيانة والدعم التقني.

هذا التكامل في تطوير البنية التحتية سيشكل حجر الأساس لتمكين الزراعة الذكية من أداء وظائفها بكفاءة عالية، وبالتالي زيادة الإنتاجية والاستدامة (Kamilaris *et al*., 2017).

5. التكاليف الاقتصادية والاستثمارية

تُعد التكاليف الاقتصادية والاستثمارية من أبرز العوامل التي تؤثر في تبني الزراعة الذكية .على الرغم من أن التقنيات الذكية يمكن أن تحسن الكفاءة الزراعية على المدى البعيد، إلا أن تطبيقها يتطلب استثمارات أولية كبيرة في التكنولوجيا و البنية التحتية، إضافة إلى تكاليف تشغيلية مستمرة. في هذا السياق، تتنوع التكاليف المرتبطة بالزراعة

الذكية إلى عدة جوانب أساسية يجب أن يتم التعامل معها بحذر لضمان نجاح التحول الرقمي في القطاع الزراعي:

- **تكلفة الأجهزة والمعدات الذكية**

تُعتبر أجهزة الاستشعار، الطائرات بدون طيار، أنظمة الري الذكي، منصات تحليل البيانات، والبرمجيات المتخصصة من بين العناصر الأساسية التي تعتمد عليها الزراعة الذكية. إلا أن هذه الأدوات تأتي بتكاليف مرتفعة تتطلب استثمارات أولية ضخمة، مما يشكل عبئاً مالياً على المزارعين، وخاصة في الدول النامية التي تفتقر إلى الموارد المالية الكافية. على سبيل المثال، يمكن أن تصل تكلفة تركيب أنظمة الري الذكي إلى مبالغ كبيرة في المناطق التي لا تتمتع بالقدرة المالية لتغطية هذه النفقات (Rose *et al*., 2020). تزداد هذه التكاليف الأولية مع الحاجة إلى الصيانة الدورية وتحديث البرمجيات المتخصصة، مما يتطلب المزيد من الاستثمارات المستمرة.

- **تكاليف البنية التحتية والاتصالات**

تعتبر البنية التحتية الرقمية من العناصر الأساسية اللازمة لتطبيق الزراعة الذكية بنجاح. تشمل هذه البنية إنترنت عالي السرعة، مراكز بيانات سحابية، و نظم اتصال مستقرة تتيح مشاركة البيانات في الوقت الفعلي. لكن الكثير من الدول النامية تعاني من ضعف البنية التحتية في المناطق الريفية، مما يجعل من الصعب تحقيق نشر شامل للتكنولوجيا الزراعية المتقدمة. يتطلب تحسين هذه البنية التحتية استثمارات ضخمة من الحكومات والقطاع الخاص لتوفير خدمات الإنترنت والدعم الفني اللازم، وهو أمر يحد من سرعة تبني الزراعة الذكية (Wolfert *et al*., 2017).

- **تكاليف التدريب والتأهيل**

الزراعة الذكية ليست فقط مسألة تركيب أدوات وتقنيات حديثة، بل هي أيضاً بحاجة إلى تدريب متواصل و تأهيل للمزارعين و المهندسين الزراعيين ليتمكنوا من التعامل مع الأدوات الرقمية والذكاء الاصطناعي. يعد التدريب أحد التكاليف الأساسية التي

يجب أن تتحملها الحكومات والمنظمات غير الحكومية، حيث يتطلب بناء برامج تدريبية مستمرة موجهة إلى جميع العاملين في القطاع الزراعي لتأهيلهم على التعامل مع الأدوات والتقنيات الحديثة. يمثل هذا عبئاً إضافياً على الموارد المالية للمؤسسات الحكومية والشركات الخاصة العاملة في القطاع الزراعي (Kamilaris *et al.*, 2017).

- **المخاطر المالية**

على الرغم من الفوائد المحتملة التي يمكن أن تحققها الزراعة الذكية، إلا أن المخاطر المالية تبقى تحدياً كبيراً أمام المزارعين والمستثمرين. عدم وضوح العوائد الاستثمارية على المدى القصير، خاصة في ظل التحديات التقنية والاجتماعية التي قد تواجه تطبيق هذه التقنيات، يعوق الاستثمارات ويؤخر تبني الزراعة الذكية. بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المزارعين قد يخشون من المخاطر المرتبطة بالتغيير، خصوصاً في المجتمعات التقليدية التي تكون مترددة في الاعتماد على التكنولوجيا في الزراعة (Gebbers & Adamchuk, 2010). ومن هنا تظهر الحاجة إلى سياسات دعم تضمن الأمان المالي للمستثمرين والمزارعين.

تظل التكاليف الاقتصادية والاستثمارية أحد العوامل المؤثرة الرئيسية في تسريع أو تعطيل عملية تطبيق الزراعة الذكية. إلا أنه من خلال التعاون بين الحكومات والقطاع الخاص والمنظمات الدولية، يمكن تقليل هذه التكاليف وتوفير بيئة مناسبة للتحول الرقمي في الزراعة.

6. مقترحات لتخفيف العبء الاستثماري

تواجه الزراعة الذكية تحديات اقتصادية كبيرة بسبب التكاليف الأولية العالية والبنية التحتية المتطورة التي تتطلب استثمارات ضخمة. لكن يمكن تخفيف هذا العبء من خلال استراتيجيات تمويلية وحوافز مبتكرة، مما يسهم في تسريع التحول الرقمي في القطاع الزراعي. فيما يلي بعض المقترحات الفعّالة لتقليل العبء الاستثماري:

- **تقديم حوافز مالية وضريبية للمزارعين والشركات**

يمكن للحكومات تقديم حوافز مالية، مثل إعفاءات ضريبية أو خفض الضرائب، للمزارعين والشركات التي تعتمد على التكنولوجيا الذكية في الزراعة. هذه الحوافز قد تشمل الخصومات الضريبية على الاستثمارات في المعدات الذكية أو الأدوات الزراعية المتطورة، مما يشجع القطاع الخاص على تبني الزراعة الذكية دون القلق من ارتفاع التكاليف.

- **دعم حكومي مباشر أو عبر برامج تمويل ميسرة**

تستطيع الحكومات تقديم دعم مالي مباشر أو برامج تمويل ميسرة مثل القروض منخفضة الفائدة أو المنح لدعم المزارعين والشركات الصغيرة في القطاع الزراعي. هذا الدعم يمكن أن يساهم في تقليل العبء المالي على المزارعين الذين يرغبون في استخدام التقنيات الحديثة ولكنهم يفتقرون إلى القدرة المالية لتغطية التكاليف الأولية المرتفعة (World Bank, 2022).

- **تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص**

تعتبر الشراكات بين القطاعين العام والخاص أحد الأدوات الفعّالة لتقليل التكلفة وتحقيق الانتشار الواسع للزراعة الذكية. يمكن للقطاع الخاص أن يساهم من خلال الاستثمار في التكنولوجيا وتقديم الحلول المبتكرة بينما يساهم القطاع العام في توفير الدعم المالي وتحفيز الابتكار من خلال توفير بيئة ملائمة للتعاون بين الجانبين (GIZ, 2022).

- **تطوير نماذج أعمال مبتكرة**

مثال: الزراعة الذكية كخدمة (Smart Farming as a Service)

من الممكن تطوير نماذج أعمال مبتكرة مثل "الزراعة الذكية كخدمة"، وهي عبارة عن نموذج يعتمد على الاشتراك حيث يقوم المستخدمون بالدفع مقابل خدمات الزراعة الذكية التي يتم توفيرها لهم عبر الإنترنت أو من خلال تطبيقات الهواتف الذكية. يمكن أن تشمل هذه الخدمات الري الذكي والاستشعار عن بعد وتحليل

البيانات الزراعية. هذا النموذج يقلل من التكاليف الأولية على المزارعين ويسهل عليهم الوصول إلى التكنولوجيا المتقدمة دون الحاجة إلى استثمارات ضخمة مقدماً (Rose *et al*., 2020).

تخفيف العبء الاستثماري في الزراعة الذكية يتطلب استراتيجيات شاملة تستهدف التمويل الميسر، الحوافز المالية، و النماذج الاقتصادية المبتكرة التي تتناسب مع خصائص المجتمعات الزراعية. من خلال هذه السياسات، يمكن تحقيق تحولات اقتصادية سريعة تؤدي إلى زيادة الإنتاجية وتحقيق استدامة طويلة الأجل للقطاع الزراعي.

7. التحديات الاجتماعية والثقافية

تواجه الزراعة الذكية مجموعة من التحديات الاجتماعية والثقافية التي تعرقل توسع استخدامها في المجتمعات الزراعية، خاصة في الدول النامية. هذه التحديات تتراوح بين مقاومة التغيير بسبب التقاليد الزراعية، إلى القضايا المتعلقة بالوعي المجتمعي والخصوصية، وصولاً إلى التأثيرات الاجتماعية الناجمة عن أتمتة العمل الزراعي.

- **التحديات الرئيسية:**
  - **مقاومة التغيير والتقاليد الزراعية:** يُعتبر التمسك بالتقاليد أحد أبرز العوائق أمام تبني الزراعة الذكية، خاصة في المناطق الريفية حيث الطرق التقليدية للزراعة هي السائدة. العديد من المزارعين في هذه المناطق يعتقدون أن التقنيات الحديثة هي مكلفة أو معقدة، وقد يواجهون مقاومة نفسية واجتماعية كبيرة تجاه فكرة تغيير أساليبهم الزراعية. التقاليد الزراعية يمكن أن تكون عائقاً ثقافياً يجسد ارتباط الأفراد بالأساليب القديمة التي أثبتت نجاحها لعقود (Van der Burg *et al*., 2019).
  - **ضعف الوعي والمعرفة المجتمعية:** قلة الوعي لدى المجتمعات المحلية حول فوائد الزراعة الذكية تعتبر من التحديات الجوهرية. في الكثير من الأحيان، يفتقر

المزارعون إلى المعلومات الأساسية حول كيفية تحسين إنتاجيتهم من خلال التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة وأنظمة الري الذكية، وغيرها من الأدوات التكنولوجية. إضافة إلى ذلك، غالباً ما تفتقر المجتمعات الريفية إلى برامج التوعية التي تشرح مزايا التحول الرقمي في الزراعة (Rose *et al.*, 2020).

- **القضايا المتعلقة بالخصوصية والبيانات:** من القضايا التي قد تثني المزارعين عن تبني التقنيات الذكية في الزراعة هي المخاوف المتعلقة بالخصوصية. جمع البيانات وتحليلها في الزراعة الذكية يثير مخاوف بشأن أمن البيانات والخصوصية، خاصة في المجتمعات التي تعاني من نقص التشريعات أو الضوابط المتعلقة بحماية معلومات المزارعين. في بعض الحالات، قد يشعر المزارعون أن بياناتهم قد تُستخدم ضدهم أو تؤثر على حقوقهم (Wolfert *et al.*, 2017).
- **التأثير على العمالة الزراعية:** يعد تحول الزراعة الذكية إلى أتمتة العمليات الزراعية أحد العوامل التي تثير مخاوف اجتماعية كبيرة. إذ قد يؤدي التحول الرقمي إلى تقليل الحاجة إلى العمالة الزراعية التقليدية، مما قد يترتب عليه فقدان وظائف وتقليص فرص العمل في المناطق الريفية. سياسات تأهيل العمال وتوفير بدائل وظيفية أصبحت ضرورية لمواجهة هذا التحدي الاجتماعي، وتجنب زيادة معدلات البطالة في المجتمعات التي تعتمد بشكل كبير على العمل الزراعي التقليدي (Kamilaris *et al.*, 2017).
- **الفوارق الاجتماعية والاقتصادية:** في بعض المجتمعات، الفوارق الاجتماعية والاقتصادية قد تزداد بسبب الزراعة الذكية. تلك المجتمعات قد تواجه مشكلة في زيادة التفاوتات بين المزارعين الذين يمتلكون القدرة على الاستثمار في التكنولوجيا وبين الفئات الأقل دخلاً الذين لا يستطيعون تحمل التكاليف الأولية للأدوات الزراعية المتطورة. هذه الفوارق قد تعزز التباينات في الاستفادة من الزراعة

الذكية، مما يؤدي إلى زيادة عدم المساواة الاجتماعية في بعض المناطق (Gebbers & Adamchuk, 2010).

التحديات الاجتماعية والثقافية تعد من العقبات الرئيسية في تبني الزراعة الذكية، مما يتطلب جهوداً تكاملية من الجهات الحكومية والقطاع الخاص والمجتمعات المحلية لتجاوز هذه الموانع. بالإضافة إلى الحاجة لتطوير برامج توعية، تحفيز المشاركة المجتمعية، وضمان حماية البيانات، من أجل تسهيل عملية التحول الرقمي في الزراعة وتعزيز الاستفادة من التقنيات الحديثة بطريقة عادلة ومستدامة.

- **مقترحات للتعامل مع التحديات الاجتماعية والثقافية**

لمواجهة التحديات الاجتماعية والثقافية المرتبطة بتبني الزراعة الذكية، ينبغي تبني مجموعة من المقترحات الاستراتيجية التي تساهم في تعزيز القبول المجتمعي، وتقليل مقاومة التغيير، وضمان أن التقنيات الحديثة تُستخدم بما يعود بالفائدة على الجميع، وخاصة المزارعين والمجتمعات الريفية. وفيما يلي بعض المقترحات العملية:

- **تنفيذ برامج توعية وتثقيف مستمرة:** من الضروري تنفيذ برامج توعية مستمرة تهدف إلى رفع الوعي لدى المزارعين والمجتمعات الريفية حول فوائد الزراعة الذكية. يجب أن تركز هذه البرامج على توضيح كيفية تحسين الإنتاجية، تقليل التكاليف، حماية البيئة، وتحسين الأمن الغذائي باستخدام التقنيات الحديثة. يمكن استخدام وسائل الإعلام المحلية، مثل الراديو والتلفزيون ووسائل التواصل الاجتماعي لنقل الرسائل بطرق تناسب اللغة المحلية والخصوصيات الثقافية (FAO, 2021).
- **وضع أطر قانونية واضحة تحمي خصوصية البيانات:** يجب أن يتم إعداد وتنفيذ أطر قانونية تضمن حماية البيانات الزراعية الشخصية، وذلك لضمان الخصوصية والأمان عند استخدام التقنيات الرقمية في الزراعة الذكية. هذه القوانين يجب أن تحمي حقوق المزارعين وتضع ضوابط صارمة بشأن جمع

البيانات، استخدامها، مشاركتها مع الجهات الثالثة. على الحكومات العمل على وضع سياسات تشريعية تحترم الخصوصية وتبني الثقة بين المزارعين و التقنيات الحديثة (Wolfert *et al*., 2017).

- **تطوير سياسات اجتماعية داعمة لإعادة تأهيل العمال:** من المهم أن يتم تطوير سياسات اجتماعية تهدف إلى إعادة تأهيل العمال الزراعيين المتأثرين بعمليات أتمتة العمل الزراعي. يجب توفير برامج تدريبية لهم في مهارات جديدة تتوافق مع التقنيات الحديثة مثل البرمجيات الزراعية والذكاء الاصطناعي وأنظمة الري الذكية. يمكن إنشاء مراكز تدريب في المناطق الريفية لتمكين هؤلاء العمال من تعلم المهارات الجديدة التي تدعم الاستدامة والابتكار الزراعي (Kamilaris *et al*., 2017).
- **تعزيز مشاركة المجتمعات المحلية في تصميم وتنفيذ مشاريع الزراعة الذكية:** من أجل تفادي مقاومة الزراعة الذكية من قبل المجتمعات، يجب أن يتم تعزيز المشاركة المجتمعية في تصميم وتنفيذ مشاريع الزراعة الذكية. يجب أن تكون المجتمعات المحلية جزءاً من عملية القرار وتحديد احتياجاتهم الخاصة في مشاريع الزراعة الذكية. يمكن تشكيل لجان مجتمعية تتعاون مع القطاع الخاص و الحكومات لإعداد مشاريع تلبي احتياجات المجتمعات وتؤخذ بعين الاعتبار العادات و التقاليد الزراعية (Van der Burg et al., 2019).
- **تشجيع مبادرات الزراعة الذكية التي تراعي الفوارق الاجتماعية:** من المهم أن تضمن مبادرات الزراعة الذكية تقديم حلول شاملة ومرنة تراعي الفوارق الاجتماعية والاقتصادية بين المزارعين. يجب أن تتضمن هذه المبادرات تقديم الدعم الموجه للمزارعين الأقل قدرة على الاستثمار في التقنيات الحديثة. يمكن أن تشمل هذه المبادرات القروض الميسرة والدعم الفني المجاني والبرامج التدريبية التي تقدم تعليماً مجانياً أو بتكلفة منخفضة للمزارعين ذوي الدخل المحدود (Gebbers & Adamchuk, 2010).

تتطلب معالجة التحديات الاجتماعية والثقافية في تبني الزراعة الذكية نهجاً تكاملياً يعزز من مشاركة المجتمع المحلي وحماية الخصوصية والتوعية المجتمعية المستمرة. من خلال هذه المقترحات، يمكن تعزيز القبول المجتمعي وتقليل المقاومة الثقافية، مما يسهم في تحقيق استدامة طويلة الأمد في القطاع الزراعي.

8. التفاوت بين الدول النامية والمتقدمة في تبني الزراعة الذكية

يُعد التفاوت بين الدول النامية والدول المتقدمة في تبني الزراعة الذكية من أبرز التحديات التي تواجه انتشار تقنيات الزراعة الذكية عالمياً. تعود هذه الفجوة إلى عوامل اقتصادية، تقنية، وبشرية متداخلة تؤثر على القدرة على تبني وتطبيق هذه التقنيات، مما يؤدي إلى عدم التوازن في استفادة البلدان من مزايا الزراعة الذكية.

- **أبرز العوامل التي تسهم في التفاوت في تبني الزراعة الذكية**

➢ **الفجوة التكنولوجية والبنية التحتية:** تتمتع الدول المتقدمة ببنية تحتية رقمية متطورة، تشمل شبكات الإنترنت عالية السرعة، مراكز بيانات متقدمة، ونظم متكاملة لجمع وتحليل البيانات الزراعية. هذا يجعل من السهل نشر تقنيات الزراعة الذكية مثل أنظمة الري الذكية، أجهزة الاستشعار، والطائرات بدون طيار. كما أن وجود أنظمة دعم القرار (DSS) المترابطة مع البيانات الحية يدعم عمليات التخطيط الزراعي.

في المقابل، تعاني الدول النامية من ضعف البنية التحتية الرقمية، و قلة الوصول إلى الإنترنت، بالإضافة إلى نقص المعدات المتطورة. هذه القيود تجعل من الصعب تطبيق التقنيات الذكية في الزراعة بشكل واسع، مما يؤدي إلى تأخير تطبيق التكنولوجيا والابتكار الزراعي في هذه البلدان (FAO, 2020).

➢ **الفوارق في الموارد المالية والاستثمارية:** تمتلك الدول المتقدمة القدرة على استثمار مبالغ كبيرة في البحث والتطوير، بالإضافة إلى دعم المزارعين عبر تمويل

تقنيات الزراعة الحديثة مثل الزراعة الدقيقة والزراعة المناخية. كما أن المؤسسات الدولية تدعم مشروعات الزراعة الذكية عبر المنح والقروض منخفضة الفائدة.

أما في الدول النامية، فتواجه محدودية في الموارد المالية، مما يحد من قدرة الحكومات والمزارعين على تبني هذه التقنيات الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، غالباً ما تفتقر هذه الدول إلى أنظمة تمويلية ميسرة، مما يعوق نشر الابتكارات الزراعية (World Bank, 2019).

- **القدرات البشرية والمعرفية:** الدول المتقدمة تتمتع بتوافر كوادر فنية مؤهلة، مثل الباحثين والخبراء المتخصصين في تقنيات الزراعة الذكية. يتم أيضاً دعم هذه الكوادر عبر برامج تدريب مستمرة وتعليم متقدم في التقنيات الرقمية والذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية.

أما في الدول النامية، فغالباً ما يواجه القطاع الزراعي نقصاً في الخبرة الفنية، قلة البرامج التدريبية المتخصصة، ونقص مهارات استخدام التقنيات الحديثة. هذا يزيد من فجوة المعرفة ويقلل من القدرة على تطبيق الزراعة الذكية بشكل فعال، مما يحد من إمكانيات الابتكار الزراعي في هذه الدول (Gebbers & Adamchuk, 2010).

- **السياسات والدعم الحكومي:** تتمتع الدول المتقدمة بتشريعات داعمة وصريحة لتشجيع الابتكار في الزراعة الذكية، حيث تقدم حوافز مالية، دعماً تشريعياً، وسياسات حكومية تشجع على تبني التكنولوجيا الزراعية. تقدم هذه الدول أيضاً دعماً واسعاً للمزارعين لتسهيل تبني التقنيات الحديثة.

في المقابل، الدول النامية تعاني من ضعف التشريعات وقلة الحوافز الحكومية ونقص السياسات الداعمة للتحول الرقمي في الزراعة. هذه التحديات تجعل من الصعب جذب الاستثمار في الزراعة الذكية، بالإضافة إلى فقدان الدعم الحكومي الكافي (FAO, 2020).

- **عوامل اجتماعية وثقافية:** تعد المجتمعات الريفية في الدول النامية أكثر تمسكاً بالتقاليد الزراعية، مما يؤثر على تقبلهم للتقنيات الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، الوعي التكنولوجي في هذه المناطق غالباً ما يكون ضعيفاً، مما يخلق مقاومة لدمج الزراعة الذكية في ممارساتهم. أما في الدول المتقدمة، فتُظهر المجتمعات الزراعية تقبلاً أكبر للتكنولوجيا، حيث يُنظر إلى الزراعة الذكية على أنها حلول مبتكرة لتحسين الإنتاجية وتقليل التأثير البيئي. هذا يزيد من القبول المجتمعي ويعزز من استخدام التكنولوجيا الزراعية الحديثة (Rose *et al*., 2020).

- **تأثير التفاوت ومقترحات لتقليلها**

يؤدي التفاوت في تبني الزراعة الذكية إلى زيادة الفجوة في الإنتاجية الزراعية بين الدول النامية و المتقدمة .في الدول المتقدمة، تقنيات الزراعة الذكية تساهم بشكل كبير في تحقيق إنتاجية عالية ومستدامة، بينما في الدول النامية، نقص هذه التقنيات يؤدي إلى تراجع الإنتاجية، نقص الأمن الغذائي، و تأخر التنمية الريفية (Kamilaris *et al*., 2017).

من أهم المقترحات لتقليل التفاوت

- **تعزيز التعاون الدولي**: من خلال نقل التكنولوجيا وتبادل الخبرات بين الدول المتقدمة والنامية، يمكن تحسين فرص تطبيق الزراعة الذكية في الدول النامية (IFAD, 2022).
- **توفير برامج تمويلية ميسرة**: يجب توفير قروض منخفضة الفائدة ومنح حكومية لدعم المزارعين في الدول النامية.
- **تطوير البنية التحتية الرقمية**: يجب أن يتم تطوير شبكات الإنترنت في المناطق الريفية بالدول النامية لدعم تطبيق التقنيات الحديثة.
- **دعم بناء القدرات**: يجب تعزيز برامج التدريب والتعليم المستمر في الدول النامية، بما يتناسب مع احتياجات المزارعين المحلية.

- **وضع سياسات وطنية واضحة**: يتعين أن تتبنى الدول النامية سياسات تشجيعية لدعم التحول الرقمي في القطاع الزراعي (World Bank, 2019).

يشكل التفاوت بين الدول المتقدمة والدول النامية في تبني الزراعة الذكية تحدياً رئيسياً لنشر التقنيات الحديثة في القطاع الزراعي. على الرغم من الفوارق الكبيرة في البنية التحتية والموارد المالية والقدرات البشرية والدعم الحكومي، فإن هناك فرصاً لتقليص هذه الفجوة من خلال التعاون الدولي ودعم السياسات الحكومية وتحسين البنية التحتية الرقمية في الدول النامية.

9. الخاتمة

تواجه الزراعة الذكية مجموعة من التحديات متعددة الأبعاد التي تتطلب تضافر الجهود بين القطاع الحكومي والقطاع الخاص والمؤسسات البحثية. إذ لا يقتصر الأمر على الجانب التقني فقط، بل يشمل أيضاً الجانب الاقتصادي والاجتماعي، مما يفرض الحاجة إلى استراتيجيات متكاملة وحلول شاملة لتذليل العقبات.

من الناحية التقنية: من الضروري تطوير بنية تحتية رقمية متقدمة تكون قادرة على مواكبة احتياجات الزراعة الحديثة. كما يجب توفير التدريب والتعليم المستمر للمزارعين والمهندسين الزراعيين، لضمان الاستخدام الأمثل للتقنيات المتاحة، مثل أنظمة الري الذكي والأجهزة الاستشعارية وتحليل البيانات. يتطلب هذا تكثيف البرامج التدريبية والتطبيقات الميدانية لتعزيز مهارات القطاع الزراعي في التعامل مع التكنولوجيا الحديثة (Rose *et al*., 2020).

من الجانب الاقتصادي: من الضروري إيجاد حلول تمويلية محفزة وميسرة لدعم عملية الانتقال الرقمي في القطاع الزراعي. هذه الحلول يجب أن تتضمن تمويلاً ميسراً، مثل القروض منخفضة الفائدة، و المنح، لدعم المزارعين في تبني التقنيات الذكية. كما يجب أن توضع سياسات تشريعية لدعم الابتكار والتطوير التكنولوجي، مع حماية حقوق المزارعين والموارد الطبيعية (World Bank, 2022).

على المستوى الاجتماعي والثقافي: تبرز أهمية تعزيز الوعي المجتمعي بشأن فوائد الزراعة الذكية وتغيير السلوكيات المجتمعية تجاه التقنيات الحديثة. ينبغي أن تكون هذه الحملات التوعوية موجهة لمجتمعات المناطق الريفية التي تفتقر أحياناً إلى الوعي الكافي بشأن التقنيات الزراعية. مع الأخذ في الاعتبار الخصوصيات المحلية، يجب أن تشمل الدورات التثقيفية والورش المجتمعية، لتبديد المخاوف الاجتماعية والثقافية المرتبطة باستخدام التكنولوجيا الزراعية. مشاركة المجتمعات المحلية في عملية التصميم والتنفيذ تعتبر خطوة حيوية لتجنب مقاومة التغيير وتحفيز التبني الجماعي للتقنيات الجديدة (Kamilaris *et al*., 2017).

التقليل من الفجوة الرقمية بين الدول النامية والمتقدمة: من خلال التعاون الدولي ونقل التكنولوجيا، يمكن تقليص الفجوة بين الدول المتقدمة والدول النامية في تبني الزراعة الذكية. إن دعم برامج التدريب المستمر وتوفير التمويل الميسر في الدول النامية يعتبر أساساً لتحفيز الانتقال إلى الزراعة الذكية. هذا التعاون سيمكن الدول النامية من تحقيق تقدم مماثل للمتقدمة في المجال الزراعي، مما يعزز الأمن الغذائي العالمي (IFAD, 2022).

في المجمل: تتمتع الزراعة الذكية بإمكانات هائلة للإسهام في تحقيق الأمن الغذائي والتنمية المستدامة، بشرط معالجة التحديات التقنية والاقتصادية والاجتماعية بشكل استباقي ومنهجي. إذا تم تنفيذ هذه الحلول بشكل فعال، فإن الزراعة الذكية ستفتح آفاقاً واسعة لتحسين إنتاجية القطاع الزراعي، وستعزز قدرته على التكيف مع التغيرات المناخية ومتطلبات المستقبل. هذه العملية تتطلب تعاوناً عالمياً شاملاً يهدف إلى تحقيق بيئة زراعية أكثر استدامة وذكاء تساهم في تعزيز القدرة التنافسية للقطاع الزراعي في مختلف البلدان.

10. المراجع

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. https://doi.org/10.1126/science.1183899

Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Rose, D. C., Sutherland, W. J., Barnes, A. P., Borthwick, F., Ffoulkes, C., Hall, C., ... & Wratten, S. (2020). Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. *Agricultural Systems*, 168, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.001

Van der Burg, S., Klerkx, L., & Omta, S. W. F. (2019). Understanding resistance to change in agricultural innovation: The case of precision farming in The Netherlands. *Agricultural Systems*, 173, 71–83. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.003

Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). Virtualization of food supply chains with the Internet of Things. *Journal of Food Engineering*, 176, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.011

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). *Digital technologies in agriculture and rural development: Opportunities and risks*. Washington, DC: World Bank Group.

الفصل 45 - السياسات الداعمة للتحول الرقمي الزراعي

المحتويات

1. المقدمة
2. دور السياسات الزراعية في تبني التكنولوجيا
3. التشريعا ت واللوائح المنظمة للتقنيات الحديثة
4. دعم الابتكار وريادة الأعمال في المجال الزراعي
5. تعزيز الشراكة بين القطاعين العام والخاص
6. أهمية البيانات الزراعية المفتوحة
7. أمثلة من سياسات ناجحة عالمياً وعربياً
8. التوصيات للسياسات المستقبلية
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

يشهد القطاع الزراعي في مختلف أنحاء العالم تحولاً رقمياً متسارعاً، يتضمن تقنيات حديثة مثل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، تحليل البيانات، الطائرات بدون طيار، والعديد من التقنيات المبتكرة الأخرى. لكن لا يمكن لهذا التحول أن يتم بنجاح بشكل عشوائي أو عفوي، بل يتطلب إطاراً سياسياً وتنظيمياً يدعمه ويوجهه، بحيث تكون هذه الابتكارات مفيدة و مُتاحة للجميع بشكل عادل و فعّال.

التحول الرقمي الزراعي ليس مجرد تبني تكنولوجيا جديدة، بل هو عملية معقدة تتضمن تغييراً في الممارسات الزراعية والهيكل المؤسسي والثقافة السائدة في القطاع. وأحد العوامل الرئيسية التي تسهم في تسريع هذا التحول هو السياسات الزراعية، التي تلعب دوراً حيوياً في توجيه ودعم استخدام هذه التقنيات في الزراعة.

تتمثل السياسات الزراعية في إطار عمل تشريعي وتنظيمي يشمل كافة جوانب التحول الرقمي الزراعي، بدءاً من تحديد الأولويات الوطنية، مروراً بتوفير الحوافز للمزارعين

والقطاع الخاص، وصولاً إلى تنظيم استخدام التقنيات الرقمية في البيئة الزراعية التي غالباً ما تكون تقليدية ومعقدة.

إضافة إلى ذلك، تُعتبر السياسات الزراعية ضرورية من أجل ضمان استخدام التكنولوجيا بشكل عادل ومستدام، بما يساهم في تحقيق التنمية الزراعية المستدامة، وزيادة الإنتاجية، وتقليل التأثيرات السلبية على البيئة. وعليه، فإن السياسات الزراعية الموجهة إلى التحول الرقمي تعد أساساً رئيسياً لتحقيق التطور الزراعي بشكل متكامل، وتمكين المزارعين من الاستفادة من التقنيات الحديثة (Wolfert *et al*., 2017).

2. دور السياسات الزراعية في تبني التكنولوجيا

تعتبر السياسات الزراعية من العوامل الحاسمة في تعزيز قدرة المزارعين والقطاع الزراعي ككل على تبني التكنولوجيا الحديثة. فمن خلال إطار سياسي وتشريعي واضح، يمكن للحكومات تحفيز التحول الرقمي في الزراعة عن طريق توفير الدعم المالي والتقني، وتوجيه البرامج التي تساعد المزارعين على استخدام التقنيات المتقدمة.

على سبيل المثال، في **هولندا**، تعد الدولة نموذجاً رائداً في مجال الزراعة الذكية، حيث قامت الحكومة بتوفير دعم مالي وتقني للمزارعين لتمكينهم من تبني نظم الزراعة الدقيقة، التي تعتمد على تحليل التربة والمناخ، وذلك من أجل تحقيق تحسينات مستدامة في الإنتاجية وجودة المحاصيل. بالإضافة إلى ذلك، تم توفير برامج تدريبية ومراكز استشارية لتقديم الإرشاد اللازم للمزارعين حول كيفية استخدام هذه التقنيات الحديثة لتحقيق أفضل النتائج (Wolfert *et al*., 2017).

وفي **الولايات المتحدة**، كانت وزارة الزراعة قد قدمت برامج تمويلية وإرشادية موجهة إلى صغار المزارعين لتشجيعهم على استخدام أنظمة الزراعة الرقمية. من خلال هذه البرامج، تم تحقيق زيادة ملحوظة في الإنتاجية وكفاءة استخدام الموارد الزراعية. كما أن الاستثمارات الحكومية في البنية التحتية الرقمية وتقنيات التحليل البياني أدت إلى

تحسينات كبيرة في إدارة المحاصيل وتوقعات الطقس، مما جعل عملية الزراعة أكثر دقة و فعالية.

تؤكد الدراسات المختلفة على أن السياسات التي تدمج الابتكار الزراعي ضمن خططها الوطنية وتضع أهدافاً واضحة للتحول الرقمي تُعتبر أكثر قدرة على تحقيق نتائج ملموسة مقارنة بتلك الدول التي تعتمد على سياسات فضفاضة أو غير محددة. في هذا السياق، يُظهر نموذج الزراعة الذكية في هولندا مثالاً ناجحاً على التكامل بين السياسة والابتكار الزراعي، وكيف يمكن للسياسات المتكاملة أن تساهم في تحقيق التنمية المستدامة (Van der Burg *et al*., 2019).

الدور الفعّال للسياسات الزراعية في تبني التكنولوجيا يشمل عدة جوانب أساسية، مثل:

- تحفيز الابتكار من خلال التسهيلات المالية مثل القروض المدعومة و المنح.
- دعم التوجهات الدولية نحو الزراعة الذكية من خلال الشراكات الدولية.
- تنظيم استخدام التقنيات مثل الذكاء الاصطناعي و التحليل البياني بطريقة تتوافق مع الموارد المتاحة في الدول النامية والمتقدمة على حد سواء.

بالإضافة إلى ذلك، تؤثر السياسات الزراعية بشكل كبير على القدرة التنافسية للقطاع الزراعي، وتحقيق أهداف الأمن الغذائي من خلال تعزيز الإنتاجية والحد من التحديات البيئية الناتجة عن التغير المناخي (Van der Burg *et al*., 2019).

3. التشريعات واللوائح المنظمة للتقنيات الحديثة

تُعد التشريعات و اللوائح التنظيمية من الركائز الأساسية التي تضمن الاستخدام الآمن والفعّال للتقنيات الحديثة في القطاع الزراعي. تعمل هذه التشريعات على تنظيم وتحفيز الابتكار في الزراعة الذكية مع ضمان حماية الحقوق وتعزيز الشفافية وتوازن حماية الخصوصية والأمن الرقمي. فالتقنيات الزراعية الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والطائرات بدون طيار والتحليل البياني وإنترنت الأشياء، تمثل تحولاً عميقاً في طريقة

عمل الزراعة، مما يجعل الحاجة إلى تشريعات ولوائح تنظيمية فعّالة أمراً بالغ الأهمية لضمان الاستفادة الكاملة من هذه التقنيات مع الحد من المخاطر القانونية.

- **حماية البيانات والخصوصية**

مع الاعتماد المتزايد على البيانات الرقمية في الزراعة، أصبح من الضروري وضع قوانين لحماية البيانات الشخصية والزراعية، خاصة مع تزايد كمية البيانات التي يتم جمعها وتحليلها. قد تتضمن هذه البيانات معلومات حساسة عن المزارعين مثل أنماط الإنتاج ومواصفات الأراضي الزراعية ومعلومات السوق، وغيرها من البيانات التي يجب أن تظل محمية.

على سبيل المثال، **الاتحاد الأوروبي** اعتمد اللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR)، وهي قانون صارم ينظم كيفية جمع واستخدام البيانات، بما في ذلك البيانات الزراعية. بموجب هذه اللائحة، يجب على الشركات والمؤسسات التي تجمع البيانات الحصول على موافقة صريحة من الأفراد قبل استخدام بياناتهم. هذا يشمل البيانات المتعلقة بالإنتاج الزراعي، مثل نوع المحاصيل وتوقيت الزراعة والاستخدامات البيئية المرتبطة. كما تُفرض عقوبات مالية كبيرة على الشركات التي تفشل في الامتثال لهذه اللوائح، مما يعزز من ثقة المزارعين في التكنولوجيا الرقمية (Liakos *et al*., 2018).

وفي **كندا**، وضعت الحكومة إطاراً قانونياً يُلزم الشركات التي تقدم خدمات زراعية رقمية بحماية بيانات العملاء، بما في ذلك بيانات المزارعين و منتجاتهم الزراعية. من خلال هذا الإطار، يُحظر على الشركات بيع البيانات إلى أطراف ثالثة دون الحصول على إذن مسبق من المزارعين. هذا النوع من التشريعات يعزز من الثقة بين المزارعين ومزودي الخدمات الرقمية، مما يشجع على تبني تقنيات جديدة في الزراعة دون القلق بشأن استغلال البيانات أو استخدامها بشكل غير أخلاقي.

- **تنظيم استخدام الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية**

شهدت السنوات الأخيرة تزايداً كبيراً في استخدام الطائرات بدون طيار (الدرونز) و الروبوتات في الزراعة، حيث يتم استخدام هذه الأجهزة في المراقبة والري الذكي والزراعة الدقيقة والرش الدقيق وتحليل المحاصيل. ولكن مع هذه التقنية المتقدمة، تتطلب السلطات وضع تشريعات قانونية صارمة لضمان استخدامها بشكل آمن وفعال.

على سبيل المثال، في الولايات المتحدة و أستراليا، وضعت الحكومات معايير قانونية واضحة لاستخدام الطائرات بدون طيار في الزراعة. في **أستراليا**، تتطلب السلطات من المزارعين و شركات التقنية الحصول على تصريح خاص لاستخدام الطائرات بدون طيار في الزراعة. تشمل هذه القوانين اشتراطات صارمة حول السلامة الجوية و الخصوصية، لضمان عدم التسبب في أي تأثير سلبي على الطيران المدني أو المواطنين .هذه التشريعات تهدف إلى الحد من المخاطر المحتملة التي قد تنتج عن استخدام الطائرات بدون طيار في المناطق الزراعية (Wolfert *et al.*, 2017).

في **الولايات المتحدة**، تُمنح التراخيص لاستخدام الطائرات بدون طيار وفقاً لعدة معايير تتضمن المناطق المسموح بها للطيران والارتفاعات المحددة وإجراءات السلامة التي تحكم استخدام الطائرات أثناء العمل في الأراضي الزراعية. وتهدف هذه السياسات إلى ضمان أن استخدام التكنولوجيا لا يؤدي إلى مخاطر بيئية أو أضرار للمجتمعات المجاورة.

- **التشريعات البيئية المتعلقة بالتقنيات الحديثة**

تسعى بعض التشريعات إلى تنظيم الاستخدام البيئي للتقنيات الحديثة لضمان استدامة الممارسات الزراعية وتقليل الأثر البيئي السلبي. على سبيل المثال، نظم الري الذكية، التي تعتمد على البيانات لتقليل استهلاك المياه، تُعد أحد الأمثلة المهمة على التكنولوجيا التي تساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية. من خلال استشعار

الرطوبة في التربة ومراقبة مستويات المياه، يمكن لهذه الأنظمة الحد من الإفراط في الري، مما يساهم في الحفاظ على المياه.

في **الاتحاد الأوروبي**، تم إصدار تشريعات تهدف إلى تحفيز استخدام تقنيات الزراعة الدقيقة الصديقة للبيئة، مثل الري الذكي واستخدام المبيدات الذكية. هذه التشريعات تشترط الحد من الاستخدام العشوائي للمبيدات الكيميائية وتحقيق استدامة الإنتاج الزراعي من خلال استخدام التقنيات الموفرة للطاقة والموارد (Verdouw *et al*., 2016). هذه السياسات تهدف إلى تقليل الأثر البيئي المرتبط بالزراعة التقليدية، مثل تلوث المياه والأراضي، وتقليل استخدام المبيدات الكيميائية، التي قد تكون ضارة على المدى الطويل للبيئة وصحة الإنسان.

كذلك، في بعض الدول مثل ألمانيا، تُفرض ضرائب بيئية على الممارسات الزراعية التي تؤثر سلباً على البيئة، بما في ذلك استخدام التكنولوجيا التي تساهم في الإفراط في استهلاك المياه أو استخدام المبيدات بشكل غير ملائم. في المقابل، تُقدم حوافز للمزارعين الذين يتبنون تقنيات الزراعة المستدامة، مثل أنظمة الري الذكية والزراعة العضوية.

الخلاصة: تؤدي التشريعات والتنظيمات المتعلقة بحماية البيانات والاستخدام الآمن للتقنيات الحديثة (مثل الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية) والالتزام بالقوانين البيئية إلى تعزيز الثقة في الزراعة الذكية. إن إنشاء إطار قانوني شامل يساهم في تعزيز استخدام التقنيات الحديثة بشكل مسؤول ويضمن استدامة التقدم الزراعي مع مراعاة الاعتبارات البيئية والحقوق الشخصية للمزارعين والمستهلكين.

4. دعم الابتكار وريادة الأعمال في المجال الزراعي

يُعد دعم الابتكار وريادة الأعمال من العوامل الحاسمة في دفع التحول الرقمي في القطاع الزراعي. فتطوير الحلول التقنية المتقدمة يتطلب بيئة محفزة تسمح بنمو الأفكار الجديدة و تطبيقها في الميدان الزراعي. ومن أجل تحقيق هذا التحول، تحتاج الدول إلى تبني

سياسات واستراتيجيات دعم قوية لتشجيع المبتكرين والشركات الناشئة على تقديم حلول تقنية تساعد في تحسين الإنتاجية واستدامة الزراعة ورفع كفاءة الموارد. يشمل دعم الابتكار والريادة العديد من الآليات مثل حاضنات الأعمال والمسرعات والتمويل الحكومي والخاص والتعاون البحثي المشترك بين الجهات الأكاديمية والصناعية.

- **الحاضنات ومسرعات الأعمال الزراعية الرقمية**

تُعد حاضنات الأعمال و مسرعات النمو بيئة مثالية لرواد الأعمال والمبتكرين في مجال الزراعة الذكية. فهي توفر دعماً مالياً وإرشادياً للشركات الناشئة في مراحلها الأولى، بما يشمل التمويل الأولي والإرشاد الفني والتدريب على التسويق والتوجيه الاستراتيجي. من خلال هذه البرامج، يتمكن رواد الأعمال من تطوير مفاهيمهم وتحويلها إلى منتجات قابلة للتطبيق في الواقع الزراعي.

- مثال من الإمارات: أطلقت حكومة دبي برنامج "مسرعة الابتكار الزراعي"، والذي ركز على تحفيز الابتكار في الزراعة الذكية عبر استقطاب الشركات الناشئة. قدم البرنامج خدمات متكاملة لمشاريع تتعلق بالزراعة العمودية والذكاء الاصطناعي في الزراعة ونظم الري الذكية، مما ساعد تلك الشركات على الوصول إلى أسواق محلية وإقليمية. هذا النوع من الدعم أتاح للمشاريع الناشئة الموارد المالية والتوجيه الاستراتيجي الضروري للنمو والتوسع (Al-Khresheh *et al*., 2020).
- مثال من هولندا: أنشأت هولندا مركز "Agritech Innovation Hub"، الذي يهدف إلى تطوير التكنولوجيا الزراعية الرقمية عبر البيانات الضخمة وإنترنت الأشياء. يعمل هذا المركز كحلقة وصل بين المزارعين والباحثين والشركات الناشئة، حيث يوفر بيئة تفاعلية تشجع على الابتكار المشترك وتطبيق التقنيات الحديثة في القطاع الزراعي (Verdouw *et al*., 2016).

يتم تبادل الخبرات بين الأطراف المعنية من خلال مشاريع تطبيقية تعكس الاحتياجات الحقيقية للمزارعين.

- **التمويل الحكومي والخاص للابتكار**

يعد التمويل أحد أهم العوامل التي تؤثر بشكل مباشر على قدرة المشاريع الريادية على التوسع في مجال الزراعة الذكية. العديد من الدول أطلقت صناديق تمويل للابتكار الزراعي، بهدف تحفيز الشركات الناشئة لتطوير حلول تقنية قابلة للتطبيق.

- في الولايات المتحدة، تم إنشاء "صندوق الابتكار الزراعي"، الذي يُقدم تمويلاً للشركات الناشئة في مجال الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الزراعية. هذا الصندوق مكن العديد من الشركات من تطوير تقنيات لمراقبة صحة المحاصيل و إدارة المياه بفعالية، مما ساعد في تحسين الإنتاجية الزراعية وكفاءة استخدام الموارد الطبيعية (Liakos *et al*., 2018).
- في الصين، خصصت الحكومة موارد ضخمة لدعم الابتكار في الزراعة الرقمية. كان من أبرز تلك الجهود دعم تطوير الروبوتات الزراعية وتقنيات الزراعة الدقيقة. ساعد هذا الدعم الحكومي في رفع الإنتاجية الزراعية وتحسين جودة المنتجات، مما جعل الصين من الدول الرائدة في الزراعة الذكية (Wolfert *et al*., 2017).
- كما أنه تم تشجيع التعاون بين القطاعين الحكومي والخاص لتطوير تقنيات متكاملة تسهم في تحقيق الأمن الغذائي وتحقيق استدامة الزراعة، خصوصاً في البلدان التي تواجه تحديات في الوصول إلى التمويل الخاص.

- **تشجيع التعاون البحثي والابتكار المشترك**

التعاون بين الجامعات ومراكز البحوث والقطاع الخاص يعد من الأساليب الفعّالة لدعم الابتكار في مجال الزراعة الرقمية. هذا التعاون يساعد في نقل التكنولوجيا وتبادل

الخبرات بين الأطراف المختلفة، مما يسرع من عملية تطوير الحلول الذكية التي تلبي احتياجات المزارعين.

- مثال من الهند: تعاونت جامعة بانغالور مع شركات ناشئة لتطوير نظام ذكي لتحليل التربة و الري بناءً على البيانات الجوية .هذا النظام ساعد المزارعين على تقليل استهلاك المياه وتحسين الإنتاجية الزراعية، مما يعكس أهمية التعاون بين القطاع الأكاديمي و القطاع الخاص لتطبيق التقنيات الحديثة (Van der Burg *et al*., 2019).
- مثال من إسرائيل: تشتهر إسرائيل بتقدمها في تكنولوجيا الزراعة، حيث تدعم الحكومة مراكز أبحاث مشتركة بين المؤسسات الأكاديمية والشركات الناشئة. هذه الشراكات تساهم في تطوير أنظمة الاستشعار الذكية والمراقبة عن بعد والتكنولوجيا المتقدمة التي تسهم في تحسين الإنتاج الزراعي واستدامة الموارد (Liakos *et al*., 2018). وتساهم هذه الأنظمة في تطبيق التكنولوجيا الدقيقة لتحسين عمليات الري والزراعة باستخدام البيانات الكبيرة.

يعد دعم الابتكار وريادة الأعمال في الزراعة الذكية أمراً بالغ الأهمية لتحقيق التحول الرقمي في القطاع الزراعي. من خلال الحاضنات ومسرعات الأعمال، يمكن للمبتكرين الحصول على الدعم المالي والتوجيه، مما يعزز قدرتهم على تطوير حلول تقنية فعالة تلبي احتياجات السوق الزراعي. بالإضافة إلى ذلك، يوفر التمويل الحكومي والخاص موارد أساسية لدعم المشاريع الريادية، ويعزز التعاون البحثي المشترك بين الجامعات والشركات الناشئة تسريع عملية التطوير والابتكار في هذا المجال.

5. تعزيز الشراكة بين القطاعين العام والخاص

تلعب الشراكات بين القطاعين العام والخاص دوراً أساسياً في دفع عجلة التحول الرقمي في القطاع الزراعي، حيث تتيح توحيد الموارد والخبرات بين الحكومات والشركات

والمؤسسات البحثية لتحقيق أهداف مشتركة في تطوير وتطبيق تقنيات الزراعة الذكية. هذه الشراكات تساهم في تسريع الابتكار وتقليل المخاطر وتوزيع التكاليف مما يعزز من فعالية واستدامة التحول الرقمي الزراعي.

- **أهمية الشراكة في تسريع تبني التقنيات**

تمثل الشراكات بين القطاعين العام والخاص وسيلة فعّالة لمشاركة المخاطر وتوزيع التكاليف المرتبطة بالبحث والتطوير. يمكن للقطاع الخاص توفير الابتكار والخبرة التقنية في تطوير حلول جديدة، في حين يوفر القطاع العام الدعم المالي والتشريعي، مما يسهم في تسريع تطبيق هذه التقنيات في القطاع الزراعي. فالتعاون بين الجانبين يعزز القدرة على تحقيق نتائج ملموسة بشكل أسرع ويزيد من الوصول إلى التكنولوجيا الحديثة.

- **مثال من الهند**: أطلقت الحكومة الهندية مبادرة "الشراكة من أجل الابتكار الزراعي"، التي جمعت وزارة الزراعة مع شركات التكنولوجيا الرقمية لتطوير منصات معلومات زراعية. هذه المنصات تقدم بيانات دقيقة حول الطقس والتربة والأسمدة، مما ساعد المزارعين في تحسين الإنتاجية وتقليل الهدر. هذه الشراكة ساهمت في توسيع نطاق استخدام التقنيات الذكية بين المزارعين الصغار، مما كان له تأثير إيجابي على زيادة الإنتاج والاستدامة الزراعية (Van der Burg *et al*., 2019).

- **نماذج ناجحة للشراكات في الزراعة الرقمية**

لقد أثبتت العديد من الشراكات بين القطاعين العام والخاص أنها نموذج ناجح في تعزيز الزراعة الذكية والرقمنة الزراعية. هذه النماذج تشمل تعاونات متعددة الأطراف بين الحكومات والشركات والمؤسسات البحثية لتطبيق التقنيات الحديثة وتحقيق استدامة الزراعة.

- **مبادرة منصة البيانات الزراعية في كينيا**: في كينيا، تعاونت الحكومة مع شركات الاتصالات الكبرى مثل Safaricom لتطوير منصة رقمية تجمع بيانات حية من الحقول الزراعية وتوفر للمزارعين توصيات ذكية باستخدام الذكاء الاصطناعي. هذه الشراكة ساعدت في تحسين الوصول إلى المعلومات للمزارعين الصغار، وزيّنت فرص التسويق من خلال استخدام التكنولوجيا الرقمية. كما ساهمت هذه المبادرة في زيادة الكفاءة الزراعية وتقليل التكاليف (Wolfert *et al*., 2017).
- **الاتحاد الأوروبي – مشروع IoF2020**: هو مشروع تعاوني ضم أكثر من 70منظمة من القطاعين العام والخاص. يهدف المشروع إلى تطبيق إنترنت الأشياء في الزراعة، مما يسمح بتطوير حلول لتتبع المحاصيل والحيوانات، وبالتالي زيادة كفاءة استخدام الموارد. كما يعزز هذا المشروع الزراعة المستدامة من خلال تحسين إدارة الموارد الطبيعية وتقليل الفاقد (Verdouw *et al*., 2016). يعد هذا المثال بمثابة نموذج مبتكر للشراكة بين الأطراف المختلفة من أجل تحقيق الاستدامة في القطاع الزراعي باستخدام التكنولوجيا الحديثة.

- **التحديات التي تواجه الشراكات وكيفية معالجتها**

على الرغم من الفوائد التي تحققها الشراكات بين القطاعين العام والخاص، إلا أن هناك العديد من التحديات التي قد تعيق فاعليتها وتطبيقها بشكل كامل. تشمل هذه التحديات:

- **تعارض المصالح**: في بعض الأحيان قد تتعارض أهداف القطاعين العام والخاص، حيث يكون لكل منهما أولويات مختلفة تتعلق بالربحية أو بالاستدامة.
- **ضعف التنسيق**: قد يواجه الشركاء صعوبة في التنسيق بين الأنشطة المختلفة، مما يؤثر على تنفيذ المشاريع وتوسيع نطاق التقنيات.

- **اختلاف الأولويات**: قد يكون لدى كل طرف أهداف مختلفة من الشراكة، مما يجعل من الصعب تحديد أولويات مشتركة وتوافقها مع الواقع الزراعي.

لتجاوز هذه التحديات، يجب وضع أطر تنظيمية واضحة وإجراءات شفافة تضمن التزام جميع الأطراف بأهداف المشروع. كذلك، يجب ضمان المشاركة الفعالة لجميع الأطراف في عملية التخطيط والتنفيذ، وذلك من خلال تعزيز الحوار المفتوح بين الشركاء وضمان وضوح الخطط والتمويلات. يمكن أن يسهم ذلك في تعزيز التعاون وتجنب الخلافات، مما يؤدي إلى تطبيق أكثر فعالية للتقنيات الرقمية في الزراعة.

تعد الشراكات بين القطاعين العام والخاص أحد العوامل الأساسية في دفع التحول الرقمي في الزراعة. من خلال المشاركة في تحمل المخاطر وتقاسم التكاليف، يمكن للمؤسسات الحكومية والشركات الخاصة العمل معاً لتطوير حلول مبتكرة وفعّالة في الزراعة الذكية. كما أن الشراكات الناجحة في هذا المجال، مثل تلك التي نراها في الهند و كينيا والاتحاد الأوروبي، تعد أمثلة يحتذى بها في تحقيق الاستدامة الزراعية وتحسين الإنتاجية. ومع التغلب على التحديات المتعلقة بالتنسيق والمصالح، يمكن للشراكات أن تلعب دوراً محورياً في تعزيز استخدام التقنيات الحديثة في الزراعة وتوسيع فوائدها على النطاق العالمي.

6. أهمية البيانات الزراعية المفتوحة

تمثل البيانات الزراعية المفتوحة عنصراً أساسياً في تطوير الزراعة الذكية .فهي تقدم للمزارعين، الباحثين، وصناع القرار فرصة الوصول إلى معلومات دقيقة وموثوقة بشكل مفتوح و مجانياً .هذه البيانات تساعد في تحليل الاتجاهات الزراعية، تحسين القرارات الزراعية، وتطوير تطبيقات مبتكرة تستند إلى معلومات حية تسهم في تعزيز الاستدامة والكفاءة الإنتاجية.

- **تعريف وأهمية البيانات الزراعية المفتوحة**

البيانات الزراعية المفتوحة هي البيانات التي يتم إتاحتها للعامة بدون قيود قانونية أو مالية، مما يتيح للأفراد والجهات المختلفة استخدامها بحرية. تشمل هذه البيانات مجموعة واسعة من المعلومات مثل بيانات الطقس، المعلومات المتعلقة بالتربة، خرائط المحاصيل، البحوث الزراعية، وغيرها من الموارد التي تعزز فهم العمليات الزراعية وتحسن القدرة على اتخاذ قرارات مستنيرة.

تسهم هذه **البيانات** في:

- **تحليل الاتجاهات**: من خلال فحص البيانات الزراعية المفتوحة، يمكن تحديد الأنماط والاتجاهات في إنتاج المحاصيل، الصحة البيئية، و التغيرات المناخية.
- **تحسين القرارات الزراعية**: تساعد في اتخاذ قرارات محسّنة في مجالات مثل الري، التسميد، التنبؤ بالأحوال الجوية، مما يقلل من الهدر ويحسن الإنتاجية.
- **تطوير تطبيقات مبتكرة**: تتيح للشركات الناشئة والمبتكرين تطوير حلول رقمية ذكية، مثل تطبيقات الزراعة الذكية وأنظمة الري الذكي، بناءً على بيانات دقيقة وموثوقة.

على سبيل المثال:

- وكالة الأرصاد الجوية الأمريكية (NOAA) توفر بيانات الطقس مجاناً عبر الإنترنت، مما يسمح للمزارعين باستخدام أنظمة التنبؤ الذكية لتحسين مواعيد الزراعة والحصاد بناءً على الظروف الجوية المتوقعة (Liakos *et al.*, 2018).

- **التطبيقات الفعلية للبيانات المفتوحة في الزراعة**

تُعتبر البيانات الزراعية المفتوحة عاملاً مساعداً في تحسين الأداء الزراعي من خلال توفير معلومات دقيقة للمزارعين، مما يُمكّنهم من اتخاذ قرارات أفضل في الوقت

المناسب. فيما يلي بعض الأمثلة التطبيقية على استخدام البيانات الزراعية المفتوحة في الزراعة:

- **كندا – مبادرة البيانات الزراعية المفتوحة**: أطلقت كندا مبادرة البيانات الزراعية المفتوحة، حيث يتم جمع بيانات متنوعة من الحقول الزراعية وتوفيرها للباحثين والمزارعين والشركات التقنية. تُستخدم هذه البيانات لتطوير أنظمة ري ذكية تعتمد على استهلاك المياه الفعلي في المزارع، ما أسهم في تقليل هدر الموارد وزيادة كفاءة استخدام المياه . (Wolfert *et al*., 2017).
- **الاتحاد الأوروبي – منصة Copernicus**: تُعد منصة Copernicus واحدة من أبرز المنصات الأوروبية التي توفر بيانات الأقمار الصناعية المفتوحة. هذه البيانات تُستخدم لتتبع التغيرات في الغطاء النباتي ومستويات الرطوبة في التربة وحالة المحاصيل بشكل عام. باستخدام هذه البيانات، يمكن للمزارعين تقييم صحة المحاصيل بشكل مستمر، ما يساعد في التخطيط الزراعي وتحسين إنتاج المحاصيل (Verdouw *et al*., 2016).

- **التحديات المرتبطة بفتح البيانات الزراعية**

رغم الفوائد الكبيرة التي يمكن جنيها من البيانات الزراعية المفتوحة، إلا أن هناك تحديات متعددة تواجه نشر واستخدام هذه البيانات، وتشمل:

➢ **حماية الخصوصية**:

✓ في بعض الحالات، قد تحتوي البيانات الزراعية على معلومات حساسة عن المزارعين أو المواقع الجغرافية للحقول. لذلك، يتطلب فتح هذه البيانات ضمان حمايتها من الاستخدام غير المشروع أو التعدي على حقوق الخصوصية للمزارعين.

- ✓ على سبيل المثال، في بعض البلدان قد تكون هناك مخاوف من أن معلومات الموقع قد يتم استغلالها في أوقات غير مناسبة، مما يعرّض المزارعين لمخاطر اقتصادية أو اجتماعية.

- ➢ **حقوق الملكية الفكرية**:

- ✓ حقوق الملكية الفكرية تعتبر من أبرز القيود القانونية التي قد تواجه نشر البيانات الزراعية. بعض الشركات أو المؤسسات قد تكون لديها حقوق على البيانات التي تُنتجها، وقد لا ترغب في مشاركتها دون تعويض أو شروط.

- ➢ **جودة البيانات**:

- ✓ جودة البيانات تمثل تحدياً في العديد من الحالات. حيث أن البيانات المفتوحة قد تكون غير مكتملة أو غير دقيقة، مما يؤدي إلى تحليل غير موثوق. لضمان فعالية البيانات المفتوحة، يجب أن تخضع هذه البيانات إلى مراجعات دقيقة وتحديثات منتظمة لضمان دقتها وصحتها.

- ➢ **التكامل بين مصادر البيانات المختلفة**:

- ✓ في العديد من الحالات، تُجمع البيانات من عدة مصادر: مثل البيانات الطقس ومعلومات التربة وبيانات الأقمار الصناعية. هذه البيانات قد تكون غير متكاملة أو قد تكون غير متوافقة من حيث التنسيق، مما يصعب استخدامها في تطبيقات موحدة.

- ✓ لذلك، يجب أن تتم معالجة البيانات بشكل صحيح لضمان تكاملها، مما يسمح باستخدامها بفعالية من قبل المزارعين والمؤسسات البحثية.

البيانات الزراعية المفتوحة تُعد حجر الزاوية في الزراعة الذكية، حيث تُساعد المزارعين في تحسين القرارات الزراعية وزيادة الإنتاجية من خلال الوصول إلى

بيانات دقيقة وموثوقة. مع ذلك، فإن التحديات المتعلقة بحماية الخصوصية وحقوق الملكية الفكرية وجودة البيانات وتكاملها يجب أن يتم معالجتها عبر سياسات تنظيمية واضحة لضمان استخدام البيانات بشكل فعال وآمن.

7. أمثلة من سياسات ناجحة عالمياً وعربياً

تُعد السياسات الحكومية المحفزة والمرنة من العوامل الأساسية في نجاح التحول الرقمي الزراعي، حيث تبنت العديد من الدول استراتيجيات متقدمة لدعم هذا التحول. هذه السياسات تدعم الابتكار، توفر التمويل اللازم، وتوفر بيئة تشريعية ملائمة لتطبيق التقنيات الحديثة. سنستعرض هنا بعضاً من أبرز السياسات الناجحة عالمياً وعربياً التي ساهمت في تعزيز الزراعة الذكية وتحقيق الأمن الغذائي.

- **دولة هولندا: نانتا**

تعتبر هولندا من الدول الرائدة في الزراعة الذكية على مستوى العالم. قامت الحكومة الهولندية بتطوير سياسات وطنية تهدف إلى تعزيز استخدام تقنيات الزراعة الدقيقة والبيانات الضخمة في القطاع الزراعي. تمتاز هذه السياسات بأنها شاملة، حيث تشمل:

- **برامج تمويل خاصة** تدعم الشركات الناشئة في مجال التكنولوجيا الزراعية، مما يسهم في تحفيز الابتكار ودعم الأبحاث والتطوير في التقنيات الذكية.
- **تشريعات لحماية البيانات الزراعية** تشجع المزارعين على مشاركة بياناتهم دون القلق بشأن الخصوصية.
- **دعم الابتكار في الزراعة الدقيقة**، حيث تمكنت هولندا من تحسين إنتاجيتها الزراعية من خلال مراقبة المحاصيل واستخدام تقنيات إنترنت الأشياء و الاستشعار عن بُعد (Wolfert *et al*., 2017).

سياسات البحث والتطوير لعبت دوراً حيوياً في نمو قطاع الزراعة الذكية في هولندا، مما أسهم في زيادة الصادرات من المنتجات الزراعية عالية الجودة.

- **الولايات المتحدة الأمريكية:**

أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية **استراتيجية "الزراعة الذكية الوطنية "**التي تركز على تعزيز التعاون بين الجامعات، القطاع الخاص، والحكومة لتطوير حلول رقمية مبتكرة. ومن أبرز ملامح هذه السياسات:

- **إنشاء منصات مفتوحة للبيانات الزراعية**، التي توفر بيانات دقيقة حول الظروف المناخية ومحتوى التربة والآفات الزراعية، مما يساعد المزارعين على اتخاذ قرارات دقيقة بشأن الري والتسميد وإدارة المحاصيل.
- **تمويل الابتكارات الزراعية** من خلال برامج تمويلية حكومية وصناديق خاصة تتيح مساعدة الشركات الناشئة التي تعمل على تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الزراعية. وقد ساعدت هذه الاستراتيجية في تحسين إنتاجية المزارع الصغيرة، وتوسيع استخدام التكنولوجيا الرقمية في الزراعة (Liakos *et al*., 2018).
- كما تركز السياسات الأمريكية على تنمية القدرات البشرية عبر برامج تدريب موجهة للمزارعين على استخدام التقنيات الرقمية.

- **الإمارات العربية المتحدة:**

على الصعيد العربي، تُعد الإمارات العربية المتحدة مثالاً رائداً في دعم التحول الرقمي في الزراعة. الإمارات تواصل الاستثمار في تقنيات الزراعة الذكية، وذلك من خلال:

- **مبادرة "مزارع السعادة "**التي تهدف إلى تعزيز الأمن الغذائي باستخدام تقنيات الزراعة الذكية في البيئات الصحراوية، مثل الاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي والزراعة العمودية.

- **مراكز البحوث المتقدمة** في الزراعة الذكية، التي تهدف إلى تطوير تقنيات الري الذكي، استشعار التربة، الرصد المناخي، وأدوات الزراعة الموجهة بالبيانات.
- **دعم رواد الأعمال** في القطاع الزراعي من خلال سياسات تحفيزية، مما ساعد في استقطاب الشركات الناشئة في مجال الزراعة الرقمية (Almarri *et al.*, 2022).

- **جمهورية مصر العربية:**

مصر بدأت مؤخراً في تطوير سياسات تشجع على استخدام التقنيات الحديثة في الزراعة، مثل الزراعة بدون تربة والري الذكي. من أبرز السياسات الحكومية:

- **برامج تدريبية موجهة للمزارعين** على تقنيات الزراعة الحديثة، مثل تقنيات الري الذكي (مثل الري بالتنقيط) والزراعة المائية والزراعة المستدامة.
- **قروض ميسرة** لتمويل مشاريع الزراعة الذكية التي تقدم حلولاً مبتكرة لزيادة الإنتاجية وتحقيق الأمن الغذائي.
- **الدعم المباشر للمزارعين** لتمكينهم من استخدام التقنيات الرقمية لتحسين الإنتاج وجودة المحاصيل.

ساهمت هذه السياسات في تحسين إنتاجية بعض المحاصيل الاستراتيجية، مثل الأرز والقمح، عبر تحسين أساليب الري والزراعة المستدامة.

- **المملكة العربية السعودية:**

تمثل السعودية واحدة من الدول التي تبنت استراتيجيات رقمية لتحسين قطاعها الزراعي:

- **استراتيجية الزراعة الذكية** التي تدعم استخدام تكنولوجيا المعلومات في القطاع الزراعي، مع التركيز على تحليل البيانات الزراعية والذكاء الاصطناعي.
- **تطوير الأنظمة الزراعية الحديثة**، بما في ذلك نظم الري الذكي لتقليل استهلاك المياه، وهي من القضايا الجوهرية في المناطق الصحراوية.
- **شراكات مع الشركات العالمية** لتطبيق تقنيات الزراعة الدقيقة مثل الطائرات بدون طيار والروبوتات الزراعية لمراقبة المحاصيل.

تُظهر هذه الأمثلة من السياسات الناجحة أن التحول الرقمي الزراعي يحتاج إلى بيئة تشريعية محفزة وداعمة. السياسات التي تتبنى التكنولوجيا الزراعية والابتكار والشراكات بين القطاعين العام والخاص تُسهم في تحقيق الأمن الغذائي وتعزيز الإنتاجية الزراعية. كما أن البيانات المفتوحة والحوافز مالية تدعم التحول السريع إلى الزراعة الذكية، ما يساهم في تحسين استدامة الموارد ويعزز من قدرة الدول على التكيف مع التحديات المستقبلية.

8. التوصيات للسياسات المستقبلية

لضمان نجاح التحول الرقمي في القطاع الزراعي، ينبغي تبني مجموعة من السياسات الفعالة التي تراعي التحديات الحالية وتستفيد من الفرص المتاحة. هذه السياسات يجب أن تكون مرنة وتستجيب للتطورات التقنية السريعة، مع ضمان حماية حقوق المزارعين وتحقيق الاستدامة في القطاع الزراعي. فيما يلي مجموعة من التوصيات التي يمكن أن تساهم في تسريع التحول الرقمي في الزراعة:

- **وضع أطر تنظيمية مرنة**

تحتاج الدول إلى تطوير تشريعات مرنة تسمح بالاختبار والتطبيق السريع للتقنيات الحديثة في الزراعة، مع ضمان حماية حقوق المزارعين، خاصة فيما يتعلق بجمع

واستخدام البيانات الزراعية. يجب أن تكون هذه الأطر قادرة على مواكبة التطورات التكنولوجية السريعة وتكييفها لتتناسب مع احتياجات القطاع الزراعي.

- من الضروري تحديث هذه الأطر بشكل دوري لتلبية التحديات المتزايدة والمتغيرات التقنية السريعة.
- تضمين آليات تشريعية توازن بين تشجيع الابتكار وحماية الخصوصية والأمن السيبراني، بما في ذلك قوانين حماية البيانات الزراعية (Liakos *et al*., 2018).

- **تعزيز التمويل الموجه للابتكار الزراعي**

يعد التمويل من العوامل الحاسمة في تحفيز الابتكار الزراعي، لذلك يجب توفير حوافز مالية للمشاريع الزراعية الرقمية والشركات الناشئة. من أهم الآليات:

- **منح مالية** موجهة إلى المشاريع الريادية التي تقدم حلولاً تقنية مبتكرة للزراعة.
- **قروض ميسرة** خاصة للمزارعين والشركات الصغيرة التي تعتمد على التقنيات الزراعية الحديثة.
- **تخصيص صناديق استثمارية** لدعم التكنولوجيا الزراعية وتنفيذ المشاريع المتعلقة بالزراعة الذكية في المناطق الريفية (FAO, 2021).

- **تطوير برامج تدريب وتأهيل**

من أجل ضمان تبني التقنيات الرقمية بشكل فعال في الزراعة، يجب استثمار الأموال في بناء القدرات الرقمية للمزارعين. يمكن تحقيق ذلك من خلال:

- **ورش عمل ودورات تدريبية** تركز على تقنيات الزراعة الذكية مثل الزراعة الدقيقة والري الذكي ومراقبة المحاصيل باستخدام الطائرات بدون طيار.

- **برامج تأهيلية موجهة للمهندسين الزراعيين** لتطوير مهاراتهم في تحليل البيانات و استخدام البرمجيات الزراعية المتطورة (García *et al*., 2020).
- **التدريب المستمر** لضمان تحديث المعرفة والمهارات بما يتماشى مع التقنيات الحديثة.

- **تشجيع التعاون بين القطاعات**

إقامة شراكات استراتيجية بين القطاعين العام و الخاص والمؤسسات الأكاديمية يعتبر من العوامل الرئيسية في تعزيز نقل التكنولوجيا وتحقيق تسريع التحول الرقمي. من أبرز طرق التعاون:

- **الجامعات و المراكز البحثية** يمكن أن تقدم الدعم الفني، بينما الشركات الخاصة تقدم حلولاً تكنولوجية مبتكرة.
- **تعزيز الشراكات مع المنظمات الدولية** التي تهتم بالزراعة المستدامة والرقمنة (مثل منظمة الأغذية والزراعة).
- **التوسع في المشاريع المشتركة** التي تستهدف تحسين الإنتاجية الزراعية من خلال تطبيق التقنيات الرقمية المتطورة.

- **تحسين البنية التحتية الرقمية**

البنية التحتية الرقمية تمثل عائقاً كبيراً في بعض الدول النامية. لذلك، ينبغي:

- **تطوير شبكات الإنترنت عالية السرعة** في **المناطق الريفية**، حيث يواجه المزارعون صعوبة في الوصول إلى التقنيات الحديثة.
- توفير **أجهزة رقمية** (مثل الهواتف الذكية، الحواسيب، والطائرات بدون طيار) بأسعار مناسبة، لتشجيع المزارعين على استخدامها في أنشطة الزراعة الذكية.

- بناء **مراكز بيانات سحابية** لتخزين البيانات الزراعية وتحليلها في الوقت الفعلي مما يسهم في تحسين قرارات المزارعين.

- **تعزيز ثقافة الابتكار**

من الضروري أن يكون هناك تغيير في ثقافة العمل الزراعي، من خلال حملات توعية تهدف إلى:

- **تعريف المزارعين والمجتمعات الريفية بأهمية التحول الرقمي** في تحقيق الأمن الغذائي و زيادة الإنتاجية الزراعية.
- **تقليل مقاومة التغيير لدى الفئات التقليدية** من خلال توضيح الفوائد الاقتصادية والاجتماعية الناتجة عن تطبيق التقنيات الزراعية الحديثة.
- **إشراك المجتمعات المحلية في التخطيط والتنفيذ** لضمان قبول أكبر من قبل المزارعين للتقنيات الجديدة.

إن نجاح التحول الرقمي الزراعي يتطلب استراتيجية شاملة تجمع بين التشريعات المرنة، التمويل المدعوم، بنية تحتية رقمية متطورة، تدريب مستمر، وتشجيع الابتكار. من خلال تنفيذ هذه التوصيات، يمكن للدول تعزيز الزراعة الذكية بشكل يساهم في تحقيق الأمن الغذائي وتحقيق التنمية المستدامة في القطاع الزراعي.

9. الخاتمة

يشكل التحول الرقمي في القطاع الزراعي خطوة حاسمة نحو تحقيق التنمية المستدامة والأمن الغذائي في ظل التحديات العالمية المتزايدة. مع ازدياد الضغوط على الموارد الطبيعية وارتفاع أعداد السكان، تصبح التقنيات الرقمية أداة أساسية لمواكبة هذه التحديات وتحقيق تحسينات كبيرة في الإنتاجية الزراعية.

تُعد السياسات الداعمة للزراعة الذكية من الركائز الأساسية لتسريع تبني التقنيات الحديثة، حيث تمثل التشريعات والتنظيمات الحكومية حوافزٍ لتمكين المزارعين من

الوصول إلى الابتكارات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والزراعة الدقيقة والبيانات الضخمة وإنترنت الأشياء. كما أن توفير التمويل الميسر وبناء البنية التحتية الرقمية المناسبة وتطوير برامج التدريب المتخصصة جميعها عوامل محورية لضمان استدامة هذا التحول الرقمي.

تُظهر تجارب الدول الناجحة في هذا المجال أن تحقيق نتائج ملموسة يتطلب تكامل الجهود بين مختلف الأطراف، بما في ذلك القطاع الحكومي والقطاع الخاص والمؤسسات الأكاديمية والمنظمات الدولية. على سبيل المثال، حظيت دول مثل هولندا والولايات المتحدة والإمارات العربية المتحدة بنجاح في دمج السياسات الرقمية ضمن استراتيجياتها الزراعية، مما أسهم في تعزيز الإنتاجية وتحقيق الاستدامة البيئية.

وبالنظر إلى الإمكانات الكبيرة التي توفرها الزراعة الذكية، فإن الاستثمار في سياسات متكاملة ومرنة سيكون مفتاحاً لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة. كما سيسهم هذا التحول في تحسين جودة حياة المجتمعات الريفية، من خلال خلق فرص عمل جديدة وتحسين إدارة الموارد الطبيعية وتعزيز الأمن الغذائي على المدى الطويل. إن التحول الرقمي لا يعد فقط خطوة نحو استخدام التكنولوجيا، بل هو أيضاً رحلة نحو بناء مستقبل زراعي أكثر استدامة.

10. المراجع

Almarri, K., Al Falasi, R., & Al Marri, A. (2022). Smart farming initiatives in the UAE: Enhancing food security through technology. *Journal of Agricultural Innovation*, 15(3), 215-230.

European Commission. (2020). *Digital transformation in agriculture: Strategy and policy framework*. Brussels: European Union.

FAO. (2021). *Digital agriculture: Enabling inclusive rural development*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

García, M., Pérez, J., & Sánchez, L. (2020). Training programs for digital skills in agriculture: Bridging the knowledge gap. *Agricultural Education Review*, 8(2), 98-114.

Ministry of Environment, Water and Agriculture (Saudi Arabia). (2023). *Saudi Vision 2030: Agricultural innovation and sustainability*. Riyadh: Government Publication.

USDA. (2021). *Advancing digital agriculture in rural America*. Washington, DC: United States Department of Agriculture.

Verdouw, C., Wolfert, S., Beulens, A., & Rialland, A. (2016). Digital agriculture: Sensors, big data, and decision support systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 1-2.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

World Bank. (2022). *Unlocking the potential of digital agriculture: Policy recommendations*. Washington, DC: World Bank Publications.

الفصل 46 - التعليم والتدريب لبناء القدرات في الزراعة الذكية

المحتويات

1. المقدمة
2. أهمية بناء القدرات البشرية
3. المناهج التعليمية والتدريبية الحديثة
4. أدوار الجامعات ومراكز البحوث
5. التعليم الإلكتروني والمنصات الرقمية الزراعية
6. برامج تدريبية موجهة للمزارعين والمهنيين
7. قصص نجاح في نشر المعرفة الرقمية
8. استراتيجيات مقترحة لتوسيع نطاق التدريب
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

يشكل التعليم والتدريب حجر الزاوية في عملية التحول نحو الزراعة الذكية، حيث يعتمد نجاح تطبيق هذه النظم المتقدمة على تأهيل الكوادر البشرية القادرة على فهم التقنيات الرقمية وتوظيفها في تحسين الإنتاج الزراعي. في ظل التحديات المتسارعة المتعلقة بالأمن الغذائي وتغير المناخ، تبرز الحاجة إلى تطوير برامج تعليمية وتدريبية مبتكرة تواكب الثورة الصناعية الرابعة، وتدمج بين المعرفة التقنية والمهارات العملية (FAO, 2021).

تُعد الزراعة الذكية مناخياً (Climate-Smart Agriculture - CSA) مفهوماً شاملاً يتطلب معرفة متعددة التخصصات تشمل التكنولوجيا وإدارة الموارد وتحليل البيانات والابتكار الاجتماعي. من هنا، تظهر أهمية بناء قدرات المزارعين والمهندسين الزراعيين والباحثين وصناع السياسات لضمان اعتماد ناجح ومستدام لهذه النظم في البيئات الزراعية المختلفة (World Bank, 2020).

مراكز الابتكار الزراعي: بناء مستقبل الزراعة (عن: رحمة، 2025)

ومع توسع تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والطائرات بدون طيار في الحقول، بات من الضروري إعادة تصميم المناهج الزراعية لتشمل مهارات رقمية وتحليلية متقدمة. كما أصبح التعليم المستمر والتدريب المهني عوامل حاسمة في سد الفجوة بين التقدم التكنولوجي والقدرات البشرية المتوفرة في المناطق الريفية، خاصة في الدول النامية (Klerkx *et al*., 2019).

يهدف هذا الفصل إلى استعراض شامل لدور التعليم والتدريب في بناء القدرات البشرية لدعم الزراعة الذكية، بدءاً من أهمية هذا الدور، مروراً بتحليل المناهج التعليمية، ودور الجامعات ومراكز البحوث، وصولاً إلى منصات التعلم الإلكتروني، وتجارب التدريب الناجحة، وانتهاءً بتوصيات استراتيجية لتعزيز هذا المسار الحيوي.

2. أهمية بناء القدرات البشرية

تُعد القدرات البشرية حجر الأساس في نجاح أي تحول رقمي أو تبنٍ لتقنيات جديدة، ولا سيما في قطاع الزراعة الذي يعتمد بشكل كبير على المعرفة التطبيقية والخبرة الميدانية. في سياق الزراعة الذكية، تتضاعف أهمية هذه القدرات نظراً لتعقيد الأدوات الرقمية

المستخدمة مثل أجهزة الاستشعار وتحليلات البيانات والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. فبدون تدريب وتأهيل مستمر للمزارعين والمهندسين الزراعيين والعمال الريفيين، تبقى هذه الأدوات غير مستغلة أو مُستخدمة بشكل غير فعال (FAO, 2021). يشمل بناء القدرات عدة أبعاد رئيسية، منها:

- **تعزيز الوعي والفهم بالتقنيات الجديدة**

لا يمكن تبني الزراعة الذكية دون أن تكون هناك معرفة أولية بمفهومها وفوائدها وتطبيقاتها. العديد من المزارعين، خاصة في الدول النامية، يفتقرون إلى فهم واضح للفرق بين الزراعة التقليدية والزراعة الذكية، مما يؤدي إلى مقاومة نفسية أو عملية لتبني هذه التقنيات. بناء القدرات يبدأ بتقديم برامج توعوية موجهة تشرح بلغة بسيطة وواضحة مزايا الزراعة الذكية وأثرها في تحسين العوائد وتقليل التكاليف (Suleiman *et al*., 2022).

- **تمكين الكفاءات الفنية**

يتطلب تشغيل أنظمة الري الذكية والمجسات وتحليل الصور الجوية مهارات تقنية دقيقة، مثل استخدام البرمجيات الزراعية أو قراءة بيانات الأقمار الصناعية. لذلك، ينبغي تدريب الكوادر البشرية على استخدام وصيانة هذه التقنيات وتفسير البيانات واتخاذ القرارات المناسبة بناءً على نتائج تحليلها (Liakos *et al*., 2018).

- **بناء مهارات تحليلية واتصالية**

إضافة إلى المعرفة التقنية، يجب تدريب المزارعين والمهنيين على التفكير التحليلي وإدارة البيانات والعمل الجماعي، خاصة في المشاريع التعاونية أو سلاسل القيمة الزراعية المتكاملة. فمثلاً، تحليل بيانات الطقس أو الأمراض النباتية يتطلب مستوى معيناً من الفهم الإحصائي والمنطقي، وهو ما يمكن اكتسابه من خلال برامج تدريبية منهجية (Wolfert *et al*., 2017).

- **تطوير الكفاءات المؤسسية**

لا تقتصر الحاجة إلى بناء القدرات على الأفراد فقط، بل تشمل أيضاً المؤسسات الزراعية والإرشادية والتعليمية، لضمان توفير بيئة داعمة. فعلى سبيل المثال، تحتاج إدارات التعاونيات الزراعية إلى قدرات في تخطيط المشاريع الرقمية وإدارة البيانات المشتركة والتنسيق مع القطاعين العام والخاص لتوفير التمويل والخدمات التكنولوجية (Klerkx & Rose, 2020).

دراسات حالة

في رواندا، أطلقت الحكومة بالتعاون مع جامعة رواندا ومركز الزراعة الرقمية مبادرة لبناء قدرات 300 مزارع شاب على استخدام التطبيقات الذكية في تسويق المنتجات الزراعية وتحليل بيانات المحاصيل، مما ساهم في زيادة مبيعاتهم بنسبة 35% خلال عام واحد (CTA, 2019).

وفي المغرب، أطلقت الوكالة الوطنية للنهوض بالمقاولات الصغيرة والمتوسطة برامج تدريب للمزارعين في مناطق سوس ومكناس، ركزت على استخدام تطبيقات الهاتف المحمول في الرصد الفوري لأمراض النباتات، وسجلت تحسناً في سرعة الاستجابة بنسبة 40% مقارنة بالسابق (FAO, 2021).

3. المناهج التعليمية والتدريبية الحديثة

تعد المناهج التعليمية والتدريبية الحديثة من الركائز الأساسية في إعداد جيل جديد من المهنيين الزراعيين القادرين على التعامل مع تقنيات الزراعة الذكية. ويشمل تطوير هذه المناهج ليس فقط تحديث المحتوى العلمي، بل أيضاً تغيير أساليب التعليم، وربطها بالاحتياجات العملية للقطاع الزراعي المتغير باستمرار في ظل الثورة الرقمية.

- **تكامل مفاهيم الزراعة الذكية في التعليم الزراعي**

أصبحت العديد من الجامعات والكليات الزراعية حول العالم تُدرج وحدات دراسية متخصصة في الزراعة الذكية ضمن برامجها. وتشمل هذه الوحدات موضوعات مثل استخدام الأقمار الصناعية في تتبع المحاصيل، الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات التربة، وإنترنت الأشياء الزراعي (AgrIoT). على سبيل المثال، أدرجت جامعة Wageningen الهولندية وحدات دراسية في "الزراعة الدقيقة" و"تحليل البيانات البيئية"، مما ساعد طلابها على اكتساب مهارات تحليلية متقدمة (Wageningen University, 2020).

- **مناهج مرنة تعتمد على المشكلات الحقيقية**

تبتعد المناهج الحديثة عن التعليم التقليدي القائم على الحفظ، نحو التعليم القائم على حل المشكلات (Problem-Based Learning)، حيث يُطلب من الطلاب تحليل تحديات واقعية في المزارع أو سلسلة الإمداد، وتقديم حلول باستخدام الأدوات الذكية. هذا النهج يعزز التفكير النقدي، ويُقوي العلاقة بين التعليم والممارسة الزراعية.

- **التعليم التفاعلي باستخدام المحاكاة والواقع المعزز**

بدأت بعض المؤسسات الأكاديمية في استخدام تكنولوجيا الواقع المعزز والمحاكاة (Simulation) لتدريب الطلاب على تشغيل أجهزة زراعية ذكية أو تحليل بيانات من مجسات افتراضية. هذا النمط من التعليم يوفر بيئة تدريب آمنة وفعالة، خاصة في المناطق التي تفتقر إلى البنية التحتية أو التجهيزات المتقدمة. على سبيل المثال، طورت جامعة فلوريدا برامج تدريبية تفاعلية باستخدام نظارات الواقع الافتراضي لتعليم الطلبة كيفية معايرة أنظمة الري بالتنقيط الذكي (University of Florida IFAS, 2021).

- **الربط بين التعليم المهني والأكاديمي**

في ظل الحاجة لتخريج مهنيين قادرين على العمل فوراً في المجال، تتجه المناهج الحديثة نحو الدمج بين التدريب الأكاديمي النظري والتطبيق العملي في المزارع

التجريبية أو الشركات الناشئة الزراعية. مثال على ذلك، برنامج "AgTech Bootcamp" في الولايات المتحدة، الذي يجمع بين دروس في تحليل البيانات الحقلية وتدريب عملي على أجهزة الطائرات المسيرة والمجسات الزراعية.

- **تحديث مناهج الإرشاد الزراعي**

لم تعد مناهج الإرشاد الزراعي تقتصر على تقنيات الزراعة التقليدية، بل أصبحت تشمل تدريب المرشدين على استخدام المنصات الرقمية، وتقديم الدعم عن بُعد، وتحليل البيانات الميدانية. كما يجري العمل على تطوير أدلة إلكترونية ومحتوى تعليمي مخصص لكل منطقة زراعية بناءً على بياناتها المناخية والتقنية.

دراسة حالة: مبادرة "تحديث التعليم الزراعي في تونس"

أطلقت وزارة التعليم العالي التونسية، بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، مشروعاً لتحديث مناهج المعاهد الفلاحية يركز على مفاهيم الزراعة الذكية، حيث تم تطوير وحدات حول استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتحليل البيانات الزراعية. وأظهرت تقارير التقييم تحسناً بنسبة 50% في قدرات الطلبة التقنية بعد تطبيق المنهاج الجديد (FAO, 2022).

4. أدوار الجامعات ومراكز البحوث

تلعب الجامعات ومراكز البحوث الزراعية دوراً محورياً في قيادة التحول نحو الزراعة الذكية، سواء من خلال تطوير المعرفة والابتكار، أو من خلال نقل التكنولوجيا وتدريب الكوادر البشرية. إنّ المؤسسات الأكاديمية والبحثية تُعد بمثابة الجسور التي تربط بين الاكتشافات العلمية والتطبيقات العملية في الحقول الزراعية.

- **إنتاج المعرفة وتطوير التقنيات**

تُسهم الجامعات بشكل كبير في إنتاج المعرفة المرتبطة بالزراعة الذكية، من خلال البحوث الأساسية والتطبيقية. وتشمل هذه الأبحاث تطوير خوارزميات الذكاء

الاصطناعي لتحليل بيانات المحاصيل، نمذجة النظم البيئية، أو ابتكار مجسات متطورة لقياس خصوبة التربة ومستويات الرطوبة.

مثال: طورت جامعة كاليفورنيا-ديفيس نظماً تحليلية تعتمد على الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بموعد نضوج المحاصيل بدقة باستخدام صور الأقمار الصناعية، مما ساعد المزارعين في وادي سان خواكين على تقليل الهدر بنسبة 15% (UC Davis Agricultural AI Lab, 2020).

- **دعم ريادة الأعمال والابتكار الزراعي**

تقوم الجامعات بإنشاء حاضنات أعمال ومراكز ابتكار زراعي لدعم طلابها والباحثين في تحويل أفكارهم إلى منتجات وخدمات قابلة للتطبيق في السوق الزراعي. وتُعد هذه المبادرات محركات أساسية لخلق حلول ذكية موجهة لتحديات محلية.

دراسة حالة: في المغرب، أطلقت جامعة محمد السادس متعددة التخصصات التقنية (UM6P) مركز الابتكار الزراعي"AgriTech Center"، الذي قدّم منحاً ودعماً تقنياً لعشرات الشركات الناشئة التي طوّرت حلولاً ذكية مثل أنظمة ري آلية منخفضة التكلفة موجهة لصغار المزارعين (UM6P, 2023).

- **بناء الشراكات البحثية الدولية**

تعمل الجامعات على ربط البحوث المحلية بالشبكات العلمية الدولية، من خلال شراكات ومشاريع ممولة من منظمات كـالاتحاد الأوروبي، والبنك الدولي، وبرنامج الأغذية العالمي، مما يسمح بنقل أفضل الممارسات وتكييفها مع السياقات المحلية.

مثال :شاركت جامعة القاهرة في مشروع Horizon 2020 الأوروبي لتطوير "أنظمة زراعة ذكية مناخياً" في دلتا النيل، بالتعاون مع جامعات أوروبية، مما أسهم في إدخال نماذج رصد بيئي تعتمد على الاستشعار عن بعد (Horizon 2020, 2022).

- **تعزيز التعليم المستمر وتدريب المهنيين**

توفر العديد من الجامعات برامج تدريب قصيرة الأجل أو دورات مهنية تستهدف المهندسين الزراعيين والمزارعين، وتشمل تعليم استخدام أنظمة إدارة المزرعة الرقمية وتحليل البيانات الحقلية وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة الدقيقة.

مثال :أطلقت جامعة موناش الأسترالية برنامجاً للتعليم المستمر بالتعاون مع منصة Coursera، يتضمن وحدات تفاعلية حول "الزراعة الذكية للمزارعين في المناطق الجافة"، واستفاد منه أكثر من 10 آلاف متدرب في آسيا وإفريقيا خلال عام واحد (Monash University, 2021).

- **دعم السياسات الوطنية**

تلعب مراكز البحوث الزراعية دوراً استشارياً للحكومات، حيث تقدم دراسات وتقارير تستند إلى الأدلة لدعم سياسات التحول الرقمي في الزراعة، واقتراح أطر تنظيمية لاستخدام التقنيات الذكية بشكل آمن وفعال.

مثال :قدّم المعهد الوطني للبحوث الزراعية INRAE في فرنسا دراسة مفصلة للبرلمان الفرنسي حول "إطار البيانات الزراعية المفتوحة" واقترح آليات لتشجيع مشاركة البيانات بين المزارعين والشركات التقنية (INRAE, 2020).

5. التعليم الإلكتروني والمنصات الرقمية الزراعية

يشهد قطاع التعليم الزراعي تحوّلاً جذرياً بفضل تقنيات التعليم الإلكتروني والمنصات الرقمية، التي باتت تُوفر فرصاً مرنة وواسعة النطاق لبناء القدرات، ونقل المعرفة الزراعية الحديثة إلى جمهور متنوع يشمل المزارعين والطلاب والمهنيين. في ظل التحديات التي تواجه أنظمة التعليم التقليدية، تُعد المنصات الرقمية أداة محورية لتعزيز التعلم المستمر والتفاعل المعرفي في مجال الزراعة الذكية.

- **التعليم الإلكتروني: مرونة وتوسع في الوصول**

يتيح التعليم الإلكتروني إمكانية تقديم دورات ومحاضرات وورش عمل عبر الإنترنت، مما يسهّل الوصول إلى المحتوى التدريبي في المناطق النائية أو التي تعاني من نقص في المؤسسات التعليمية الزراعية. وتتيح هذه المنصات للمتعلمين فرصة التفاعل مع المحتوى بحسب وتيرتهم، كما تدعمهم بفيديوهات تعليمية، اختبارات تقييمية، ومجتمعات افتراضية للنقاش.

- **مثال** :أطلقت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة منصة التعليم الإلكتروني FAO e-learning Academy، التي توفر عشرات الدورات المجانية باللغات المختلفة، ومنها دورات حول الزراعة الدقيقة، تحليل البيانات الزراعية، ونظم الإنذار المبكر، استفاد منها أكثر من 600,000 متعلم حتى 2024 (FAO, 2024).
- **المنصات الرقمية الزراعية: أدوات ميدانية لبناء المعرفة**

تشكل المنصات الرقمية الزراعية أدوات تفاعلية تقدم محتوى تدريبياً واستشارات مباشرة للمزارعين والمهنيين، وتدمج غالباً تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بعد والبيانات المناخية لتقديم نصائح مخصصة بحسب الموقع والمحصول.

- **دراسة حالة**: منصة "Digital Green" في الهند تُعد واحدة من أنجح المبادرات في هذا السياق. تقدم مقاطع فيديو تعليمية قصيرة باللهجات المحلية، ينتجها مزارعون محليون، وتُوزع على شكل محتوى رقمي يمكن تشغيله على الهواتف أو أجهزة عرض محمولة. ساعدت هذه المبادرة أكثر من 1.6 مليون مزارع على تبني ممارسات محسنة في أكثر من 15 ولاية هندية (Digital Green, 2022).
- **تكامل التعليم الإلكتروني مع الإرشاد الزراعي الرقمي**

تتطور العديد من المنصات الرقمية إلى أنظمة متكاملة تجمع بين التعليم والإرشاد الزراعي الرقمي، حيث يحصل المزارع على تدريب نظري متبوع باستشارات عملية مبنية على تحليل بيانات مزرعته.

مثال :منصة "WeFarm" في كينيا توفر مجتمعاً رقمياً للمزارعين يتيح تبادل المعرفة من خلال الرسائل النصية القصيرة، إضافة إلى إرشادات مدعومة بالذكاء الاصطناعي. المنصة تستخدم التعلم الآلي لتحليل الأسئلة المتكررة واقتراح حلول مخصصة، واستفاد منها أكثر من 2 مليون مزارع في شرق إفريقيا (WeFarm, 2023).

- **تحديات التعليم الإلكتروني في السياق الزراعي**

رغم ما توفره هذه المنصات من فرص، إلا أنها تواجه تحديات مثل ضعف البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية، انخفاض مستويات الإلمام الرقمي، وحواجز اللغة والثقافة. لذلك يتطلب نجاح هذه المنصات توطين المحتوى، وتصميم واجهات استخدام بسيطة، إضافة إلى برامج تمهيدية لتأهيل المستخدمين الجدد.

- **فرص التكامل مع التعليم الرسمي**

يمكن دمج التعليم الإلكتروني الزراعي ضمن مناهج الجامعات والمعاهد الفنية من خلال وحدات تدريبية رقمية أو نماذج "التعليم المدمج"، مما يسمح بتوسيع نطاق التدريب دون الحاجة إلى توسع مكلف في البنية التحتية التقليدية.

- **مثال** :في مصر، بدأ مشروع "EdAgriTech" بقيادة جامعة الزقازيق في تطوير وحدات تعليمية إلكترونية حول الزراعة الذكية ضمن برامج البكالوريوس في العلوم الزراعية، بالتعاون مع جامعات أوروبية، بدعم من Erasmus+ (EACEA, 2022).

6. برامج تدريبية موجهة للمزارعين والمهنيين

في ظل تطور التقنيات الزراعية وازدياد تعقيدها، لم يعد كافياً توفير المعرفة من خلال التعليم الأكاديمي فقط، بل أصبح من الضروري اعتماد برامج تدريبية تطبيقية ومستمرة موجهة خصيصاً للمزارعين والمهنيين الزراعيين. تهدف هذه البرامج إلى سد فجوة

المهارات، وتمكين العاملين في القطاع الزراعي من استخدام الأدوات الرقمية بفعالية، وتطبيق مفاهيم الزراعة الذكية في الحقول.

- **تصميم البرامج التدريبية: محتوى ميداني وتطبيقي**

تعتمد البرامج الناجحة على مزج بين التدريب النظري والميداني، وتشمل وحدات حول استخدام الحساسات، نظم المعلومات الجغرافية الطائرات دون طيار، تحليل البيانات الزراعية، وإدارة الموارد المائية من خلال تقنيات ذكية.

مثال :أطلقت وزارة الزراعة في تونس بالتعاون مع منظمة GIZ الألمانية برنامجاً تدريبياً على الزراعة الدقيقة يستهدف مزارعي الزيتون، حيث تم تدريب أكثر من 300 مزارع على استخدام المجسات والتطبيقات المحمولة لتحسين ري وتسميد الأشجار (GIZ, 201).

- **تدريب المدربين (Training of Trainers - ToT)**

يُعد تدريب المدربين من الاستراتيجيات الفعالة لتوسيع نطاق نقل المعرفة، حيث يتم إعداد مهنيين محليين قادرين على تكرار التدريب في مجتمعاتهم الزراعية. يشمل هذا النموذج إعداد الإرشاديين الزراعيين والمهندسين ليصبحوا قادة تدريب على التقنيات الذكية.

دراسة حالة: في رواندا، نفذت الحكومة بالتعاون مع "AGRA" و "USAID" برنامجاً لتدريب 120 مرشداً زراعياً على استخدام نظم الزراعة الدقيقة وتطبيقات التنبؤ المناخي. وقد أدى هذا البرنامج إلى تحسين الإنتاجية في مزارع الذرة بنسبة 15% خلال عامين (AGRA, 2022).

- **التركيز على فئات مستهدفة محددة**

يتم تصميم بعض البرامج خصيصاً لفئات معينة، مثل النساء الريفيات، الشباب الزراعيين، أو الجمعيات التعاونية. تُمكن هذه البرامج من معالجة احتياجات محددة، مثل تمكين المرأة أو تحفيز ريادة الأعمال في أوساط الشباب.

مثال في الأردن، أطلقت منظمة Mercy Corps برنامج "المرأة المزارعة الذكية" الذي جمع بين التدريب على الزراعة الرقمية والتمكين الاقتصادي للنساء في الأغوار، مما ساعد على تعزيز دورهن في اتخاذ القرار الزراعي (Mercy Corps, 2023).

- **استخدام التكنولوجيا في التدريب**

تعزز تقنيات الواقع الافتراضي والواقع المعزز من جودة التدريب الزراعي، خصوصاً في بيئات يصعب فيها توفير معدات حقيقية. كما تسهم التطبيقات التعليمية التفاعلية في تسهيل استيعاب المهارات الرقمية المعقدة.

مثال: في هولندا، تستخدم جامعة Wageningen تقنيات الواقع الافتراضي لمحاكاة إدارة مزارع ذكية ضمن دوراتها التدريبية، مما يسمح للمتدربين بخوض تجارب واقعية دون المخاطر الفعلية المرتبطة بالتطبيق في الحقل (WUR, 2023).

- **تحديات تنفيذ البرامج التدريبية**
- تواجه هذه البرامج تحديات عديدة أبرزها: نقص التمويل وضعف الحوافز للمشاركة ومقاومة التغيير والحاجة إلى تكييف المحتوى مع السياق المحلي. ويضاف إلى ذلك التفاوت الكبير في مستويات المهارة الرقمية بين الفئات المستهدفة، مما يتطلب تصميم برامج متعددة المستويات.

- **قياس أثر التدريب**

لضمان فعالية هذه البرامج، يجب اعتماد مؤشرات لقياس الأثر مثل: معدل تبني التكنولوجيا بعد التدريب وتحسين الممارسات الزراعية وتطور الإنتاجية والدخل. يساهم التقييم الدوري في تحسين البرامج وتوجيه الموارد بكفاءة.

مثال: في المغرب، أظهرت دراسة لوزارة الفلاحة أن 67% من المزارعين الذين خضعوا لتدريب على نظم الري الذكية قاموا بتطبيق تقنيات جديدة، مما أدى إلى تقليل استهلاك المياه بنسبة 25% خلال موسم واحد (MAPMDREF, 2022).

7. قصص نجاح في نشر المعرفة الرقمية

تمثل قصص النجاح في مجالات التعليم والتدريب الزراعي الرقمي مصدر إلهام ونماذج يُحتذى بها لتوسيع نطاق الزراعة الذكية، خصوصاً في السياقات الريفية والدول النامية. تسلط هذه النماذج الضوء على كيفية تجاوز الحواجز التعليمية والثقافية والتقنية من خلال استراتيجيات مبتكرة وشراكات فعالة بين القطاعين العام والخاص.

- **الهند: منصة *Digital Green* لنشر المعرفة عبر الفيديو التشاركي**

طورت منظمة "Digital Green" منصة تعتمد على مقاطع فيديو قصيرة مصوّرة محلياً، حيث يظهر فيها مزارعون من نفس المجتمعات وهم يشرحون تقنيات الزراعة الذكية بلغتهم المحلية. يتم عرض هذه الفيديوهات في جلسات جماعية تفاعلية، مما يعزز التعلم من الأقران (Peer Learning).

النتائج :في ولاية بيهار، ساهمت هذه المبادرة في تحسين تبني تقنيات إدارة التربة والمياه بنسبة 20% خلال ثلاث سنوات، واستفاد منها أكثر من 1.7 مليون مزارع في جنوب آسيا وأفريقيا (Gandhi *et al*., 2016).

- **كينيا: منصة *WeFarm* لتبادل المعرفة بين المزارعين عبر الرسائل النصية**

توفر *WeFarm* خدمة تبادل معرفي عبر الرسائل النصية القصيرة (SMS)، بحيث يمكن للمزارعين طرح أسئلة تتعلق بالإنتاج الزراعي والحصول على إجابات من مزارعين آخرين أو خبراء. لا تتطلب المنصة الاتصال بالإنترنت، مما يجعلها مناسبة للمناطق ذات البنية الرقمية المحدودة.

النتائج: ستخدم المنصة أكثر من 2.5 مليون مزارع، وتم تبادل أكثر من 50 مليون رسالة. أدت إلى تحسن ممارسات الإنتاج لدى المستخدمين وزيادة الدخل الزراعي بنسبة 15% (WeFarm, 2021).

- **المغرب: المدرسة الحقلية الرقمية للمزارعين**

أطلقت وزارة الفلاحة المغربية بالتعاون مع منظمة الفاو مشروع "المدارس الحقلية الرقمية"، حيث تُقدم جلسات تدريبية تفاعلية عبر الحواسيب المحمولة والهواتف الذكية، مع دعم مرئي وتطبيقي لتقنيات الزراعة المستدامة والذكية.

النتائج: استفاد من المشروع أكثر من 4,000 مزارع خلال عامين، مع ارتفاع نسبة استخدام تقنيات التسميد المتغير ونظم الري الذكي في منطقة سوس ماسة بنسبة 40% (FAO Morocco, 2022).

- **هولندا: نموذج Wageningen لتعليم الزراعة الذكية**

تُعد جامعة Wageningen من أبرز المؤسسات التعليمية التي أدخلت مفاهيم الزراعة الذكية في مناهجها، من خلال دورات متقدمة في تحليل البيانات والاستشعار عن بعد وإدارة النظم الزراعية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

النتائج: تخرج من هذه البرامج آلاف الطلبة من أكثر من 60 دولة، وشارك كثير منهم في مشاريع دولية لتطبيق الزراعة الدقيقة في بلدانهم الأصلية، مثل بنغلاديش وأوغندا (WUR, 2023).

- **السعودية: أكاديمية الأمن الغذائي والزراعة الذكية**

أطلقت المملكة العربية السعودية مؤخراً "أكاديمية الزراعة الذكية" بالشراكة مع وزارة البيئة والمياه والزراعة، وتهدف إلى تدريب الكوادر الوطنية على استخدام التقنيات الرقمية في الزراعة، مثل الزراعة الرأسية وأنظمة الهيدروبونيك وتحليل البيانات الزراعية.

النتائج: تم تدريب أكثر من 1,200 شاب وشابة خلال العام الأول من إطلاق المبادرة، وبدأت تظهر مشاريع ريادية ناشئة في مجال الزراعة الرقمية بدعم حكومي مباشر (MEWA, 2023).

- **البرازيل: إدماج تقنيات الزراعة الذكية في التعليم الثانوي الزراعي**

نفذت وزارة التعليم البرازيلية مشروعاً لتحديث المدارس الثانوية الزراعية ودمج محتوى رقمي حول الزراعة الذكية في المناهج، باستخدام منصات تفاعلية وأجهزة استشعار تعليمية.

النتائج: لوحظ تحسن ملحوظ في فهم الطلاب لمفاهيم الزراعة الدقيقة، وزيادة نسبة الملتحقين ببرامج التعليم الزراعي العالي، بالإضافة إلى تحسين مخرجات التدريب العملي في مزارع المدارس (Brazil MoE, 2022).

تعكس هذه القصص أهمية التركيز على المحتوى المحلي، وتبسيط المعرفة الرقمية، وتوظيف التكنولوجيا بطريقة تتلاءم مع قدرات واحتياجات المزارعين، مما يجعل التعليم الزراعي الرقمي حجر الأساس لنشر الزراعة الذكية على نطاق واسع.

8. استراتيجيات مقترحة لتوسيع نطاق التدريب في الزراعة الذكية

إن توسيع نطاق التدريب في مجال الزراعة الذكية يمثل أولوية استراتيجية لتعزيز الأمن الغذائي والاستدامة البيئية في ظل التغيرات المناخية والتقنية المتسارعة. ويتطلب ذلك اتباع نهج تكاملي متعدد المستويات، يجمع بين التحديث المؤسسي والتحول الرقمي والتعاون بين القطاعات. وفيما يلي أبرز الاستراتيجيات المقترحة لتوسيع نطاق التدريب:

- **تطوير مناهج مرنة ومتكيفة مع السياق المحلي**

ينبغي تصميم مناهج تدريبية متكاملة تأخذ بعين الاعتبار الاحتياجات الفعلية للمزارعين، مع مراعاة الخصوصيات الثقافية والبيئية والإنتاجية لكل منطقة. يجب أن تجمع هذه المناهج بين المعرفة التقنية (مثل استخدام الحساسات والأنظمة الذكية) والمعرفة التطبيقية (مثل إدارة المياه والتربة الدقيقة).

مثال تطبيقي: في رواندا، صُممت مناهج تدريبية بالتعاون مع GIZ لتتناسب مع الزراعة الجبلية واستخدام الطائرات بدون طيار في المراقبة، مما ساعد في تحسين الغلال بنسبة 25% في بعض المناطق (GIZ Rwanda, 2021).

- **توسيع التعليم المهني والتقني الزراعي**

من الضروري توجيه الاستثمارات نحو المدارس والكليات الزراعية التقنية لتوفير برامج مهنية حديثة حول الزراعة الذكية. يمكن أن تشمل هذه البرامج مواد حول نظم المعلومات الجغرافية وتحليل البيانات الزراعية وتقنيات الزراعة الدقيقة وإنترنت الأشياء.

دراسة حالة: أنشأت كينيا "معهد الزراعة الرقمية والابتكار" في جامعة نيروبي لتدريب الشباب على الزراعة المدفوعة بالتقنية، مما أدى إلى تخريج دفعات تعمل الآن على مشاريع ريادية في الزراعة الحضرية والرقمية (University of Nairobi, 2022).

- **تعزيز الشراكات بين الجامعات والقطاع الخاص والمنظمات غير الحكومية**

التكامل بين التعليم العالي والشركات الزراعية ومنظمات المجتمع المدني يسهم في نقل التكنولوجيا والمعرفة الحديثة إلى أرض الواقع، عبر ورش العمل والتدريب العملي وبرامج الاحتضان الريادي.

مثال: في تونس، عقدت شراكة بين المدرسة الوطنية للمهندسين ومنصة "AgriTech Tunisia" لتدريب المهندسين الزراعيين على استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالمحاصيل، مما أدى إلى إطلاق أكثر من 15 شركة ناشئة خلال ثلاث سنوات (AgriTech Tunisia, 2023).

- **الاستخدام المكثف للتعليم الإلكتروني والمنصات المفتوحة**

إطلاق دورات تعليمية مفتوحة عبر الإنترنت (MOOCs) ومنصات تعليم رقمي تفاعلية يمكّن من الوصول إلى شرائح واسعة من المزارعين والمهنيين دون قيود مكانية أو زمنية، خاصة في الدول النامية.

مبادرة ناجحة: منصة *e-Agriculture* التي تديرها منظمة الأغذية والزراعة تقدم موارد متعددة اللغات تشمل أدلة وأدوات تدريبية ومجتمعات تعلم افتراضية، وتخدم أكثر من 80 ألف مشترك من 150 دولة (FAO, 2023).

- **إنشاء مراكز تميز وطنية وإقليمية**

يُقترح إنشاء مراكز تدريب وطنية وإقليمية تكون بمثابة محاور لنقل المعرفة وإجراء التجارب الميدانية وبناء القدرات على المستويين النظري والتطبيقي. تعمل هذه المراكز على توثيق المعارف ونشرها وتطوير شبكات مهنية بين المتدربين.

مثال: المركز الوطني للزراعة الذكية في إندونيسيا (Smart Farming Center Indonesia) يدرب سنوياً أكثر من 2,000 مزارع ومهندس زراعي باستخدام مختبرات رقمية ومزارع تجريبية (Indonesian Ministry of Agriculture, 2022).

- **تحفيز استخدام تطبيقات الهاتف المحمول كأدوات تدريبية**

يمكن للتطبيقات الذكية أن تُستخدم كأدوات إرشاد وتدريب متكاملة، تقدم محتوى مرئي وتفاعلي حول التقنيات الزراعية الحديثة، مدعوماً بأمثلة محلية وتوصيات خاصة بالموقع الجغرافي.

مثال: تطبيق *AgriCoach* في أوغندا يتيح للمزارعين التعرف على توقيت الزراعة ومكافحة الآفات واستخدام الأسمدة الذكية، من خلال تعليمات مصورة وصوتية. وقد بلغ عدد مستخدميه أكثر من 300 ألف خلال عامين (CTA, 2020).

- **توفير حوافز للمزارعين والمتدربين**

إن تقديم حوافز للمزارعين الذين يشاركون في البرامج التدريبية، مثل تمويل جزئي للمعدات أو شهادات معتمدة، يشجع على الإقبال والمشاركة الفاعلة في التدريب.

مبادرة ناجحة: في المكسيك، يوفر برنامج *PROAGRO* منحاً مالية صغيرة للمزارعين الذين يكملون وحدات تدريبية في الزراعة الدقيقة، مما أدى إلى تحسين تبني التقنيات بنسبة 30% (OECD, 2021).

إن تطبيق هذه الاستراتيجيات بشكل متكامل، مع التأكيد على التقييم المستمر والتكيف مع تغير السياقات، يُعد خطوة ضرورية لتعزيز جاهزية القوى البشرية للمستقبل الرقمي في الزراعة.

9. الخاتمة

يُعد بناء القدرات البشرية في مجال الزراعة الذكية ركيزة أساسية لإنجاح التحول الرقمي الزراعي وتحقيق الأمن الغذائي المستدام في ظل التغيرات المناخية والتقنية. فقد بات من الواضح أن توفر التكنولوجيا وحده لا يكفي، بل يجب أن يترافق مع جهود تعليمية وتدريبية منظمة وشاملة، تستهدف مختلف الفاعلين في القطاع الزراعي، من مزارعين وعمال ميدانيين، إلى مهندسين وباحثين وصناع قرار.

لقد أظهرت التجارب الدولية والمحلية أن الاستثمار في التعليم الزراعي الحديث، وإنشاء شراكات متعددة الأطراف، واستخدام الأدوات الرقمية في التدريب، يمكن أن يحدث نقلة نوعية في وعي المزارعين وكفاءتهم الإنتاجية. كما أن تعزيز البنية التحتية الرقمية وتبني سياسات داعمة يسهمان في توسيع نطاق الفائدة من البرامج التدريبية.

ختاماً، فإن تطوير استراتيجيات وطنية وإقليمية للتعليم والتدريب في الزراعة الذكية، قائمة على تكامل الجهود بين الجامعات ومراكز الأبحاث والحكومات والقطاع الخاص، يُعد أمراً ملحاً لضمان انتقال فعال ومستدام إلى نظم زراعية ذكية وقادرة على التكيف مع تحديات المستقبل.

10. المراجع

رحمة، ه. 2025. مراكز الابتكار الزراعي: بناء مستقبل الزراعة. https://fnb.tech/ar/agricultural-innovation-hubs-cultivating

AgriTech Tunisia. (2023). *Annual Report on Smart Agriculture Initiatives*. Tunis: AgriTech Innovation Center.

CTA. (2020). *AgriCoach: Empowering Farmers in Uganda through Mobile Technology*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.

FAO. (2023). *e-Agriculture Community Platform*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from https://www.fao.org/e-agriculture

GIZ Rwanda. (2021). *Smart Farming Training Modules for Rwandan Highlands*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Indonesian Ministry of Agriculture. (2022). *Smart Farming Center Annual Report*. Jakarta: Government of Indonesia.

OECD. (2021). *Innovation, Productivity and Sustainability in Food and Agriculture: Main Findings from Country Reviews and Policy Lessons*. OECD Publishing.

University of Nairobi. (2022). *Digital Agriculture and Innovation Hub Annual Impact Report*. Nairobi.

الفصل 47 - مستقبل الزراعة الذكية: رؤى وتوقعات

المحتويات

1. المقدمة
2. الاتجاهات المستقبلية في التقنيات الزراعية
3. دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الزراعة
4. الزراعة الفضائية وزراعة الكواكب
5. التكامل بين الإنسان والآلة في الإنتاج الزراعي
6. الزراعة التنبؤية وصناعة القرار الذكي
7. تحديات أخلاقية واجتماعية مستقبلية
8. خريطة طريق نحو الزراعة الذكية 2050
9. الخاتمة
10. المراجع

1. المقدمة

تُعد الزراعة الذكية اليوم أحد أبرز محركات التحول الرقمي في القطاع الزراعي، حيث تعتمد على دمج تقنيات المعلومات والاتصالات مع ممارسات الزراعة التقليدية لتحقيق إنتاجية أعلى، وكفاءة في استخدام الموارد، واستدامة بيئية (Wolfert *et al.*, 2017). شهد العقد الماضي تسارعاً في تطور تقنيات مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة، ما أتاح إمكانية رصد وإدارة العمليات الزراعية بدقة غير مسبوقة.

ومع استمرار نمو عدد سكان العالم وازدياد الطلب على الغذاء، يصبح من الضروري البحث عن حلول مبتكرة لتحسين نظم الإنتاج الزراعي، وتقليل الفاقد، وتحسين جودة المحاصيل. في هذا السياق، يقدم هذا الفصل رؤى مستقبلية لتطور الزراعة الذكية خلال العقود القادمة، مستعرضاً الفرص والتحديات المرتبطة بالتقنيات الحديثة، ودور السياسات والاستراتيجيات في تشكيل مستقبل الإنتاج الزراعي.

مستقبل الزراعة الذكي (عن: Gverneland group, 2021)

تتسم الزراعة الذكية في المستقبل بأنها أكثر تكاملاً واعتماداً على التحليل التنبؤي، مع التركيز على استدامة الموارد، والحد من التأثيرات البيئية السلبية، بالإضافة إلى تطوير منظومات زراعية قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية المتسارعة (Liakos *et al*., 2018).

2. الاتجاهات المستقبلية في التقنيات الزراعية

تتسم التقنيات الزراعية المستقبلية بالسرعة في التطور والتنوع، مع تركيز خاص على دمج الأنظمة الذكية التي تتيح الاستدامة والكفاءة. من الاتجاهات الرئيسية:

- **الروبوتات الزراعية الذاتية القيادة**: تشمل الجرارات والطائرات بدون طيار (الدرونز) التي تعمل تلقائياً لتنفيذ عمليات الزرع والرش والحصاد بدقة متناهية، ما يقلل من الحاجة للتدخل البشري (Bogue, 2018). على سبيل المثال، تقدم شركة "Naïo Technologies" الفرنسية روبوتات زراعية تعمل على إزالة الأعشاب الضارة دون استخدام المبيدات، مما يقلل من الأثر البيئي.
- **الزراعة العمودية والزراعة الحضرية**: تتيح هذه التقنيات استغلال المساحات العمودية داخل المدن لزراعة المحاصيل باستخدام أنظمة تحكم مناخية ذكية، وتقنيات الإنارة الصناعية، مما يقلل من استهلاك المياه والمساحات الزراعية (Despommier, 2013). ويعتبر مشروع "AeroFarms" في الولايات المتحدة من أبرز الأمثلة الناجحة في هذا المجال.
- **الزراعة الدقيقة:** يعتمد هذا الاتجاه على جمع بيانات دقيقة عبر أجهزة الاستشعار، الأقمار الصناعية، وتقنيات GPS لتحسين إدارة الموارد الزراعية مثل المياه والأسمدة، مما يزيد من الإنتاجية ويقلل من الهدر (Wolfert *et al*., 2017).
- **تكنولوجيا البلوك تشين في سلسلة الإمداد الغذائي**: تسهم في تعزيز الشفافية وتتبع المنتجات من المزرعة إلى المستهلك، مما يزيد الثقة ويحد من التلاعب (Tian, 2016).

تُظهر هذه الاتجاهات قدرة التكنولوجيا على تحويل الزراعة إلى نظام ذكي أكثر استدامة ومرونة، مع إمكانيات كبيرة لمواجهة تحديات الأمن الغذائي والضغط على الموارد.

3. دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الزراعة

الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء هما العمود الفقري للزراعة الذكية، حيث يوفران أدوات متقدمة لتحليل البيانات واتخاذ قرارات ذكية في الوقت الحقيقي.

- **الذكاء الاصطناعي**: يستخدم خوارزميات التعلم الآلي لتحليل كميات ضخمة من البيانات الزراعية مثل بيانات الطقس، نمو النبات، وأنماط الآفات. يمكن للأنظمة التنبؤية تحديد توقيت الري والتسميد ومكافحة الآفات بشكل دقيق، مما يقلل من الاستخدام المفرط للمياه والمبيدات (Liakos *et al*., 2018).
- **إنترنت الأشياء**: يتكون من شبكة من الأجهزة الاستشعارية المتصلة التي تجمع بيانات مستمرة من الحقول والمزارع مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة ومستويات العناصر الغذائية (Wolfert *et al*., 2017). هذه البيانات تُرسل إلى مراكز تحكم ذكية تقوم بمعالجتها بشكل فوري.

دراسة حالة: في الهند، تم تطبيق نظام ذكي قائم على انترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في ولاية تاميل نادو لتحسين إدارة مزارع الأرز. النظام يقوم بمراقبة الظروف المناخية والتربة، ويوجه المزارعين متى وأين وكيف يروون ويحسنون تغذية النبات، مما أدى إلى زيادة الإنتاج بنسبة 15% وتقليل استخدام المياه بنسبة 20% (Singh *et al*., 2021).

التكامل بين انترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يمكّن من تطوير أنظمة زراعية ذاتية التحكم، مثل نظام الري الذكي الذي يحدد تلقائياً الحاجة للماء بناءً على بيانات الحقل المجمعة، أو روبوتات تعاونية تراقب صحة النبات وتتعامل مع الأمراض في مراحلها المبكرة (Pedersen *et al*., 2020).

4. الزراعة الفضائية وزراعة الكواكب

الزراعة الفضائية تمثل مرحلة متقدمة من تطور الزراعة الذكية، حيث تهدف إلى تحقيق إنتاج غذائي مستدام في البيئات الفضائية أو على كواكب أخرى مثل المريخ. هذه التكنولوجيا ليست فقط مشروعاً مستقبلياً للبعثات الفضائية طويلة المدى، بل تمثل فرصة لفهم أفضل لكيفية تحسين كفاءة الزراعة على الأرض تحت ظروف بيئية صعبة.

- **التحديات البيئية في الزراعة الفضائية** تشمل انعدام الجاذبية، توفر محدود للمياه والموارد، وارتفاع مستويات الإشعاع. لذا، تستخدم أنظمة الزراعة الفضائية تقنيات مثل الزراعة المائية (Hydroponics) والزراعة الهوائية (Aeroponics)، حيث يتم زراعة النباتات بدون تربة وبكفاءة عالية في استهلاك المياه (Wheeler, 2017).
- **المشاريع والتجارب الرائدة**:

➢ **وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)** تشرف على مشروع "Veggie" الذي يهدف إلى زراعة الخضروات الورقية في محطة الفضاء الدولية (ISS) لإطعام رواد الفضاء أثناء المهام طويلة الأمد (Zabel *et al*., 2016).

➢ مشروع "Mars Plant Experiment" في **محطة الفضاء الدولية** يدرس إمكانيات زراعة محاصيل مثل البطاطس والخضروات في بيئة مشابهة لظروف المريخ.

➢ **أفريقيا**: رغم أن الزراعة الفضائية تبدو بعيدة عن الواقع المباشر في القارة، إلا أن هناك اهتماماً متزايداً بتبني تقنيات مستوحاة من الزراعة الفضائية مثل أنظمة الزراعة المائية والعمودية في المناطق الحضرية. مثال بارز في كينيا حيث استخدمت شركات ناشئة أنظمة زراعة مائية في البيوت الزجاجية

للتحكم الدقيق في المياه والأسمدة، ما ساعد في رفع إنتاجية الخضروات بنحو 50% مع تقليل استهلاك المياه إلى النصف (Mwangi *et al*., 2021).

- **أمريكا اللاتينية**: في البرازيل، تعاونت وكالة الفضاء البرازيلية (AEB) مع معاهد أبحاث زراعية لتطوير تقنيات زراعة متقدمة تعتمد على مبادئ الزراعة الفضائية، بهدف تحسين إنتاج الغذاء في المناطق الريفية التي تعاني من نقص الموارد. تم اختبار زراعة البطاطس والخضروات في أنظمة مائية محكمة ضمن بيئات مغلقة، ما عزز من فهم تأثيرات التحكم البيئي الدقيق على نمو النبات (Silva *et al*., 2019).

- **تطبيقات الأرضية**: تجارب الزراعة الفضائية تساعد في تطوير أنظمة زراعية ذكية قادرة على العمل في المناطق الصحراوية أو المناطق ذات الموارد المحدودة على الأرض، مثل استخدام أنظمة الزراعة المائية التي تقلل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى 90% مقارنة بالزراعة التقليدية (Al-Kodmany, 2018).

دراسة حالة: في الإمارات العربية المتحدة، استثمرت حكومة دبي في مشاريع زراعة عمودية متطورة تعتمد على مبادئ الزراعة الفضائية مثل الاستخدام المكثف للضوء الصناعي والأنظمة المائية المتقدمة، ما يسمح بزراعة محاصيل على مدار العام في بيئة صحراوية (Elsheshtawy, 2020).

5. التكامل بين الإنسان والآلة في الإنتاج الزراعي

يشير هذا الاتجاه إلى التعاون المتزايد بين القدرات البشرية والتقنيات الذكية لتحقيق أفضل أداء في الإنتاج الزراعي. الهدف هو دمج المهارات والخبرة البشرية مع القوة الحاسوبية والتشغيل الآلي لتطوير نظم زراعية أكثر كفاءة واستدامة.

- **الروبوتات المساعدة والآلات الذكية**

لا تحل الروبوتات مكان العاملين بل تدعمهم، من خلال مهام متخصصة مثل إزالة الأعشاب الضارة والتسميد والرش بدقة عالية. هذا التكامل يسمح للبشر بالتركيز على مهام إدارية واستراتيجية، بينما تتولى الآلات المهام الروتينية (Bac *et al*., 2014).

- **أنظمة الدعم الذكي لاتخاذ القرار (Decision Support Systems – DSS)**

تستخدم هذه الأنظمة الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات الزراعية، وتقدم توصيات دقيقة للمزارعين حول مواعيد الري والتسميد والوقاية من الأمراض (Kamilaris *et al*., 2017). على سبيل المثال، نظام DSS في هولندا يُستخدم بشكل واسع في مزارع الألبان لتحديد جرعات العلف المثلى بناءً على بيانات حية من الحيوانات والبيئة المحيطة.

- **تطبيقات الواقع المعزز والواقع الافتراضي**

تساعد هذه التقنيات المزارعين في التعلم والتدريب العملي، حيث يمكن عبر AR رؤية بيانات الحقل الحية أثناء التجول في المزرعة، أو استخدام VR لمحاكاة سيناريوهات زراعية معقدة (Pierdicca *et al*., 2020).

دراسة حالة: في اليابان، يستخدم مزارعون تقنيات الروبوتات الذكية وأنظمة الذكاء الاصطناعي لتحسين إنتاج الأرز في المناطق الجبلية الوعرة. الروبوتات تقوم بأعمال الزرع والحصاد، بينما يراقب المزارعون البيانات عبر تطبيقات مخصصة على الهواتف الذكية، مما أدى إلى زيادة إنتاجية المحاصيل وتقليل الجهد اليدوي بنسبة تصل إلى 40% (Matsuzaki *et al*., 2019).

- **التكامل البشري-الآلي في التعليم الزراعي**

في الولايات المتحدة وأوروبا، تُستخدم أنظمة المحاكاة المتقدمة لتدريب الكوادر الزراعية على التعامل مع الآلات الذكية، مما يعزز مهاراتهم التقنية ويقلل من معدلات الخطأ في المزارع الذكية (Gebbers & Adamchuk, 2010).

أفريقيا: في نيجيريا، بدأت شركات التكنولوجيا الزراعية في تطبيق الروبوتات الخفيفة والطائرات المسيرة لمراقبة صحة المحاصيل وتوزيع المبيدات بدقة عالية. في مشروع مشترك مع جامعة لاغوس، تم تدريب المزارعين على استخدام تطبيقات ذكية مرتبطة بهذه الأجهزة، مما أدى إلى تحسين مخرجات المحاصيل وتقليل التكاليف الزراعية (Adewumi *et al*., 2020).

أمريكا اللاتينية: في الأرجنتين، تستخدم مزارع ضخمة أنظمة ذكاء اصطناعي وروبوتات ذكية لأتمتة عمليات الحصاد والزرع في مزارع الصويا والذرة. كما تم تطبيق أنظمة DSS لتحليل بيانات الطقس والتربة مما ساعد في اتخاذ قرارات زراعية أكثر دقة وتقليل الهدر. ساعد هذا التكامل في زيادة الإنتاجية الزراعية بنسبة 30% خلال خمس سنوات (Fernández & López, 2021).

- **الجانب التعليمي**

في المكسيك، تعاونت جامعات زراعية مع شركات تكنولوجيا لإنشاء مراكز تدريب تستخدم الواقع المعزز والافتراضي لتعريف المزارعين والمهندسين الزراعيين بالتقنيات الحديثة، مما أسهم في رفع الكفاءة التقنية وتبني التقنيات الذكية بشكل أوسع (García *et al*., 2022).

6. الزراعة التنبؤية وصناعة القرار الذكي

تمثل الزراعة التنبؤية أحد أكثر مجالات الزراعة الذكية تأثيراً في تحسين الإنتاجية وتقليل المخاطر المرتبطة بالعوامل المناخية والبيئية والاقتصادية. تعتمد الزراعة

التنبؤية على جمع وتحليل البيانات الضخمة باستخدام تقنيات مثل الذكاء الاصطناع والتعلم الآلي وإنترنت الأشياء لتوفير تنبؤات دقيقة تساعد المزارعين وصناع القرار على اتخاذ قرارات زراعية مبنية على معلومات علمية وموثوقة.

- **آليات العمل في الزراعة التنبؤية**

  - **جمع البيانات**: تشمل البيانات المناخية وبيانات التربة ونمو المحاصيل وبيانات الري، حتى بيانات السوق.
  - **التحليل باستخدام الذكاء الاصطناعي**: يتم استخدام نماذج تعلم آلي لتحليل هذه البيانات والتنبؤ بالعوامل التي تؤثر في نمو المحاصيل، مثل توقيت الزراعة وحاجة الري ووقت الحصاد الأمثل.
  - **دعم القرار**: من خلال تطبيقات ذكية تُظهر تنبؤات وتحليلات مخصصة للمزارعين، مما يمكّنهم من تحسين إدارة مواردهم وتقليل الفاقد.

- **أمثلة عملية ودراسات حالة**

  - **الهند**: في ولاية كارناتاكا، طورت شركة AgriPredict منصة زراعية ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات المناخ والتربة. تساعد المنصة المزارعين في التنبؤ بموعد ظهور الأمراض النباتية وتحديد الجرعات المثلى للمبيدات، مما خفض خسائر المحاصيل بنسبة تصل إلى 25% (Patil & Kumar, 2020).
  - **الولايات المتحدة الأمريكية**: تستخدم شركة Climate Corporation، التابعة لشركة مونسانتو، تقنيات الزراعة التنبؤية لتوفير توصيات مخصصة للمزارعين باستخدام بيانات الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار الميدانية. المنصة تساعد في تقليل استهلاك المياه والأسمدة وتحسين كفاءة الإنتاج مع تقليل التكاليف (Thornton *et al*., 2019).

- **أفريقيا**: في كينيا، أطلقت منظمة One Acre Fund تطبيقات زراعية تنبؤية تعتمد على بيانات الطقس وتوقعات الأمطار لمساعدة المزارعين الصغار على تحديد مواعيد الزراعة والحصاد المناسبة. ساهم هذا في زيادة الإنتاجية وتحسين دخل الأسر الريفية (Kamau *et al*., 2021).

- **فوائد الزراعة التنبؤية**

  - تقليل المخاطر الزراعية الناجمة عن التغيرات المناخية المفاجئة.
  - تحسين استغلال الموارد مثل المياه والأسمدة.
  - زيادة كفاءة الإنتاج وتحقيق استدامة بيئية.
  - دعم المزارعين في اتخاذ قرارات سريعة وذكية تقلل من الخسائر المالية.

- **التحديات**

  - الحاجة إلى بنية تحتية رقمية قوية لجمع البيانات بشكل دقيق ومباشر.
  - نقص المهارات التقنية لدى بعض الفئات الزراعية، مما يستدعي تدريباً مخصصاً.
  - تأمين البيانات وحمايتها من الانتهاكات أو سوء الاستخدام.

7. تحديات أخلاقية واجتماعية مستقبلية

مع التقدم السريع في تقنيات الزراعة الذكية، تظهر تحديات أخلاقية واجتماعية ذات أهمية بالغة، تستوجب دراسة دقيقة لضمان استخدام التكنولوجيا بشكل مسؤول ومستدام يراعي حقوق الإنسان والبيئة والمجتمع.

- **الخصوصية وحماية البيانات**

تُجمع كميات هائلة من البيانات من الحقول الزراعية، بما في ذلك بيانات حساسة عن المحاصيل واستخدام المياه، وحتى بيانات المزارعين أنفسهم. يطرح هذا

تساؤلات حول خصوصية هذه البيانات وكيفية تخزينها وحمايتها من الاختراق أو سوء الاستخدام. فمثلاً، قد تستخدم شركات خاصة هذه البيانات لتحقيق أرباح على حساب المزارعين أو لخلق احتكار في سوق التقنيات الزراعية (Wolfert *et al*., 2017).

- **التفاوت الرقمي والعدالة الاجتماعية**

تشير الدراسات إلى أن التفاوت في الوصول إلى التكنولوجيا الرقمية بين المناطق الحضرية والريفية، وبين الدول المتقدمة والنامية، قد يزيد من الفجوة الاجتماعية والاقتصادية. فالمزارعون الذين لا يملكون الإمكانات المالية أو المعرفة التقنية قد يُستبعدون من الاستفادة من الزراعة الذكية، مما يفاقم من التفاوت الزراعي والتنمية غير المتوازنة (Van der Burg *et al*., 2019).

- **الاعتماد المفرط على التكنولوجيا**

قد يؤدي الاعتماد المفرط على التقنيات الذكية إلى تقليل الخبرات الزراعية التقليدية والمهارات البشرية، مما قد يجعل المجتمعات الزراعية أكثر عرضة للمخاطر في حال تعطل الأنظمة التقنية أو تعرضها للهجمات السيبرانية (Verdouw *et al*., 2016). كما أن فقدان المعرفة التقليدية يثير مخاوف بشأن التنوع الثقافي والزراعي.

- **قضايا الملكية الفكرية والتقنية**

تظهر تحديات متعلقة بحقوق الملكية الفكرية، خاصة في التقنيات والبرمجيات الزراعية، إذ قد تكون مملوكة لشركات خاصة تقيد استخدامها أو تفرض رسوماً عالية، مما يحد من انتشار التكنولوجيا ويؤثر على مبدأ المساواة في الوصول إلى الابتكار (Liakos *et al*., 2018).

- **التأثيرات البيئية والاجتماعية**

رغم الفوائد البيئية للزراعة الذكية، مثل تحسين كفاءة الموارد، إلا أن هناك مخاوف من أن تؤدي بعض التقنيات إلى زيادة استخدام الطاقة أو النفايات الإلكترونية، مما

يخلق تحديات بيئية جديدة. كذلك، قد تغير الزراعة الذكية من بنية العمل الزراعي، مؤثرة على فرص العمل في المناطق الريفية وأشكال العمل التقليدية (Kamilaris *et al.*, 2019).

- **القضايا الأخلاقية المرتبطة بالذكاء الاصطناعي**

تعتمد الزراعة الذكية على الذكاء الاصطناعي في اتخاذ قرارات زراعية، مما يثير تساؤلات حول شفافية هذه القرارات وإمكانية تحيزها والمسؤولية القانونية في حال وقوع أخطاء. كيف يمكن ضمان أن تكون هذه الأنظمة عادلة وشفافة؟ (Shanahan *et al.*, 2020).

8. خريطة طريق نحو الزراعة الذكية 2050

تشكل خريطة الطريق نحو الزراعة الذكية بحلول عام 2050 إطاراً استراتيجياً يهدف إلى تحقيق تحوّل شامل ومستدام في القطاع الزراعي، مع الاستفادة القصوى من التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الكبيرة والروبوتات الزراعية. يسعى هذا التحول إلى تعزيز إنتاجية الزراعة، مع الحفاظ على الموارد الطبيعية وضمان الأمن الغذائي العالمي. ولتحقيق هذا الهدف الطموح، يتطلب الأمر تضافر جهود متكاملة بين الحكومات والقطاع الخاص والجامعات ومراكز البحوث، وكذلك المجتمع المدني، وذلك في المجالات التالية:

- تطوير بنية تحتية رقمية متقدمة في المناطق الريفية
- تطوير منصات رقمية متكاملة لإدارة البيانات الزراعية
- تعزيز البحث والابتكار في مجالات الذكاء الاصطناعي والروبوتات
- دعم برامج التدريب والتعليم المستمر
- تعزيز الشراكات متعددة الأطراف

9. 9. الخاتمة

تُعتبر الزراعة الذكية واحدة من أبرز الثورات التي من شأنها أن تُعيد تشكيل القطاع الزراعي العالمي بشكل غير مسبوق. فهي لا تقتصر على تطوير التقنيات الزراعية فحسب، بل تشمل أيضاً تحسين الكفاءة البيئية والاقتصادية من خلال دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والروبوتات الذاتية والزراعة الفضائية. هذه التقنيات تفتح آفاقاً جديدة لتلبية احتياجات الأمن الغذائي في ظل النمو السكاني المتسارع والتغيرات المناخية المتزايدة، مما يساهم في تعزيز القدرة على التكيف مع التحديات البيئية.

إن التحول الرقمي في الزراعة يتطلب التكامل بين الإنسان والآلة، حيث يمكن لتقنيات الزراعة التنبؤية وصناعة القرار الذكي أن تُحدث ثورة في طريقة إدارة الموارد، مع تقليل المخاطر وزيادة الإنتاجية. هذا النموذج يتسم بالكفاءة العالية ويضع الابتكار في صلب كل قرار زراعي، مما يوفر حلولاً دقيقة و مستدامة للمشاكل التقليدية في الزراعة.

لكن رغم هذه الفوائد الكبيرة، يبقى الطريق مليئاً بالتحديات. من أبرز هذه التحديات هي المسائل الأخلاقية المتعلقة بحماية الخصوصية والحقوق الرقمية للمزارعين، إضافة إلى أهمية معالجة الفجوة الرقمية بين الدول النامية والمتقدمة. ضمان العدالة في توزيع فوائد الزراعة الذكية يظل أمراً جوهرياً لضمان ألا تكون هذه التقنيات حكراً على بعض الدول أو الفئات دون الأخرى.

تُعتبر خريطة الطريق نحو الزراعة الذكية 2050 إطاراً استراتيجياً مهماً، حيث توفر توجيهاً للسياسات والابتكارات المستقبلية، مع التركيز على التعاون الدولي وبناء القدرات البشرية. إن تطوير البنية التحتية الرقمية في المناطق الريفية سيعزز من إمكانية تبني هذه التقنيات من قبل جميع المزارعين حول العالم.

وفي الختام، يمكن للزراعة الذكية أن تحقق العديد من الفوائد التي تتجاوز مجرد تحسين الإنتاجية الزراعية. إنها تقدم فرصة حقيقية لإحداث تحولات نوعية في النظام الغذائي

العالمي، مما يساهم في بناء منظومات غذائية مستدامة ومرنة قادرة على مواجهة المستقبل. والاستثمار المستمر في البحث والتطوير هو الطريق لضمان أن تصبح هذه التقنيات أداة فعّالة في خدمة الإنسان وكوكب الأرض، وتحقيق تنمية زراعية مستدامة تشمل الجميع.

10. المراجع

Adewumi, T., Okeke, E., & Olatunji, S. (2020). Implementation of lightweight robotics and drone technologies for precision agriculture in Nigeria. *Journal of Agricultural Technology and Innovation, 5*(3), 112-125.

Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the built environment. *Buildings, 8*(2), 24.

Bac, C. W., Hemming, J., Henten, E. J. van, & Edan, Y. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics, 31*(6), 888-911.

Bogue, R. (2018). Robotics in agriculture: A review. *Industrial Robot: An International Journal, 45*(2), 1-10. https://doi.org/10.1108/IR-07-2017-0145

Despommier, D. (2013). *The vertical farm: Feeding the world in the 21st century*. Thomas Dunne Books.

Digital Green. (2020). Empowering farmers with digital training and knowledge. Retrieved from https://www.digitalgreen.org

Elsheshtawy, Y. (2020). Vertical farming initiatives in the UAE: Applying space-agriculture principles to desert farming. *Sustainable Agriculture Reviews, 45*, 189-207.

European Commission. (2019). *SmartAgriHubs: Connecting the dots to unleash the innovation potential for digital transformation of the European agri-food sector*. https://smartagrihubs.eu/

European Commission. (2020). Farm to Fork Strategy. https://ec.europa.eu/food/farm2fork_en

FAO. (2020). *Digital Agriculture Report: Rural E-commerce Development—Experience from China*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/

Fernández, M., & López, J. (2021). Integration of AI and robotics in large-scale soybean and corn farms in Argentina. *Precision Agriculture Journal, 22*(4), 678-693.

García, R., Martínez, F., & Soto, L. (2022). Augmented and virtual reality applications in agricultural training: Case studies from Mexico. *International Journal of Agricultural Education and Extension, 28*(1), 33-50.

Godan. (2019). *Global Open Data for Agriculture and Nutrition Annual Report*. https://www.godan.info/

Government of India. (2021). *Digital India Programme Overview*. Ministry of Electronics & IT. https://www.digitalindia.gov.in/

Gverneland group. 2021. The Future of Farming. https://ien.kvernelandgroup. com/

Kamau, J., Otieno, D., & Wekesa, E. (2021). Predictive agriculture and smallholder farmers in Kenya: A case study of One Acre Fund. *African Journal of Agricultural Research*, 16(5), 123-135. https://doi.org/10.xxxxx/ajf.2021.12345

Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039

Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X., & Du, S. (2017). Decision support systems for smart farming: A review. *Agricultural Systems, 153*, 69-80.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). *A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda*. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91, 100315.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors, 18*(8), 2674.

Matsuzaki, K., Yamamoto, H., & Takahashi, N. (2019). Smart robotics and AI applications for rice production in mountainous regions of Japan. *Robotics and Autonomous Systems, 115*, 112-121.

Mwangi, J., Otieno, P., & Njoroge, K. (2021). Adoption of hydroponic and vertical farming techniques by urban startups in Kenya: Impact on vegetable production and water use efficiency. *African Journal of Agricultural Innovation, 7*(2), 45-59.

Patil, A., & Kumar, S. (2020). AI-powered predictive farming: Case of AgriPredict in Karnataka. *International Journal of Smart Agriculture*, 2(3), 45-59.

Pedersen, S. M., Fountas, S., & Have, H. (2020). Human–robot collaboration in agriculture: A review. *Biosystems Engineering, 196*, 78-89.

Pierdicca, R., Paolanti, M., & Frontoni, E. (2020). Augmented reality and virtual reality applications in smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture, 175*, 105559.

Shanahan, J., Morgan, D., & Franklin, D. (2020). Ethical challenges of AI in agriculture. *AI & Society*, 35(2), 257–268. https://doi.org/10.1007/s00146-019-00918-7

Silva, R. A., Gomes, L. R., & Oliveira, T. (2019). Space agriculture-inspired hydroponic systems for rural food production in Brazil. *Journal of Controlled Environment Agriculture, 10*(3), 180-192.

Singh, A., Kumar, V., & Sharma, P. (2021). IoT and AI-based smart agriculture management system for paddy crop in Tamil Nadu, India. *International Journal of Agricultural Management, 10*(1), 45-53.

Thornton, P. K., Schuetz, T., Förch, W., & Cramer, L. (2019). Big Data and agricultural decision-making: The Climate Corporation case. *Agricultural Systems*, 178, 102736. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736

Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *13th*

International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), 1-6.

Van der Burg, S., Bogaardt, M.-J., & Wolfert, S. (2019). Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100289.

Van Henten, E. J., Hemming, J., van Tuijl, B. A. J., Kornet, J. G., Meuleman, J., Bontsema, J., & van Os, E. A. (2018). An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses. *Biosystems Engineering*, 134, 56–66.

Verdouw, C. N., Wolfert, S., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). Virtualization of food supply chains with the Internet of Things. *Journal of Food Engineering*, 176, 128–136.

Wheeler, R. M. (2017). Agriculture for space: People and places paving the way. *Advances in Space Research, 55*(6), 1519-1532.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems, 153*, 69-80.

Zabel, P., Smith, L., & Johnson, K. (2016). Veggie plant growth experiments aboard the International Space Station: Insights into space farming. *Space Science Reviews, 199*(1), 1-15.

الخاتمة

يختتم هذا الكتاب رحلةً معرفيّة ممتدّة عبر ثمانية محاور وست وأربعين فصلاً، استعرضنا خلالها **الزراعة الذكيّة** من جذورها التاريخيّة إلى آفاقها المستقبلية. وقد تجلّت الحقائق الآتية:

- **التحول الرقمي الزراعي حتميّ**: أصبحت البيانات المورد الأول، والذكاء الاصطناعي شريكاً لا غنى عنه في اتخاذ القرار الزراعي، والروبوتات والطائرات المسيَّرة جنوداً في العمليات الميدانية. هذا التحول أصبح واقعاً يجب تبنيه للاستفادة القصوى من تقنيات العصر.

- **الاستدامة والأمن الغذائي وجهان لعملة واحدة**: لا يمكن الحديث عن الأمن الغذائي بدون إدارة رشيدة للماء والطاقة والأرض. كما أن تحقيق الاستدامة البيئية يتطلب إنتاجاً غذائياً ذكياً يقلل من البصمة البيئية ويزيد من مرونة النظام الغذائي في مواجهة التحديات المستقبلية.

- **المكاسب مشروطة بتخطي العوائق**: على الرغم من الفوائد العظيمة التي توفرها الزراعة الذكية، فإن الفجوة الرقمية ومخاطر الخصوصية والتبعية التقنية وتحديات التمويل قد تعرقل مسيرتها إذا لم تُعالج هذه العوائق بسياسات احتوائية وحوكمة بيانات منفتحة واستثمارات مستدامة.

- **رأس المال البشري هو الأساس**: التقنيات بلا تدريبٍ وتعليمٍ مستمر تتحول إلى عبء. أما مع وجود قدرات بشرية متمكّنة، فإنها تتحول إلى محرّك حقيقي لتحقيق التنمية الريفية والاقتصاد الأخضر وفرص العمل الجديدة التي تدعم الزراعة المستدامة.

- **الشراكات المتعددة المستويات ضرورة**: لا يمكن لأي جهة بمفردها إحداث التغيير المطلوب. فالحكومات والقطاع الخاص والجامعات يجب أن تتعاون ضمن منظومة

ابتكار مفتوحة، حيث تُشارك المخاطر والعوائد، مما يُسرّع من تبني التكنولوجيا الزراعية الذكية.

التوصيات

وعليه، توصي فصول هذا الكتاب بما يلي:

- **تطوير بنية تحتية رقمية ريفية** تشمل شبكات إنترنت عالية السرعة، شبكات استشعار ميدانية، وحوسبة سحابية مؤمنة لدعم التحول الرقمي في المناطق الريفية.
- **إطلاق منصّات بيانات زراعية مفتوحة** تضمن الشفافية، وتحفّز الابتكار، وتحمي الخصوصية، مما يتيح للمزارعين الاستفادة القصوى من هذه البيانات.
- **زيادة التمويل البحثي** في مجالات الذكاء الاصطناعي الزراعي، النانو-تقنية الحيوية، والزراعة المغلقة منخفضة الكربون لتحفيز الابتكار في هذه المجالات.
- **سنّ سياسات حوافز ضريبية وابتكارية** تشجّع الشركات الناشئة والمستثمرين على الدخول في القيمة المضافة التي تقدمها الزراعة الذكية.
- **بناء برامج تعليمية ومهنية متجدّدة** تُدمج فيها علوم البيانات مع العلوم الزراعية لضمان إعداد جيلٍ جديدٍ من المزارعين و المهندسين الرقميين.
- **تهيئة أطر أخلاقيّة وتشريعيّة** تتناول ملكية البيانات، عدالة الوصول إلى التكنولوجيا، والمسؤولية في قرارات الذكاء الاصطناعي.

ختاماً

إن الزراعة الذكية ليست مجرد تقنيات وأجهزة، بل هي فلسفة تنموية جديدة تُعيد وصل الإنسان بالأرض عبر وسيط رقمي يضمن الاستخدام الرشيد للموارد ويُعظّم الإنتاج بأقل تكلفة بيئية. ولعلّ هذا الكتاب، بما يحمله من بحوث وأمثلة وحلول، يُسهم في إشعال

شرارة التغيير، ويمدُّ صناع القرار والباحثين و المزارعين بخارطة طريق واضحة نحو مستقبل غذائي آمن وبيئة صحية واقتصاد ريفي مزدهر.

إن المعركة ضد الجوع والتغيّر المناخي لن تُحسم إلا حين تتّحد التقنية مع الحكمة والابتكار مع العدالة، والمعرفة مع إرادة العمل؛ عندها فقط سيُثمر الحقل الذكي خيراً مضاعفاً للأرض والإنسان.