कृषि की सततता हेतु प्रौद्योगिकियाँ

डॉ. टी. जनकीराम[1] एवं डॉ. एस. विजय राकेश रेड्डी[2]

[1]पूर्व कुलपति, डॉ. वाईएसआरएचयू, आंध्र प्रदेश; #180, एसएफएस-208, चौथी मेन रोड, चौथा चरण, येलहंका न्यू टाउन, बेंगलुरु- 560 064, कर्नाटक (ushajanaki2023@gmail.com)।

[2]वरिष्ठ वैज्ञानिक, पीएचटी एवं ईई प्रभाग, भाकृअनुप-भारतीय बागवानी अनुसंधान संस्थान, हेसरघट्टा लेक पोस्ट, बेंगलुरु- 560 089, कर्नाटक (drrakesh.reddyiihr@gmail.com)।

कृषि प्रौद्योगिकी, सटीक उपकरणों, जैव-प्रौद्योगिकी और कृत्रिम बुद्धिमत्ता (एआई) में हो रहे अत्याधुनिक शोध से प्रेरणा लेते हुए, उत्पादकता बढ़ाने के साथ-साथ पर्यावरण को होने वाले नुकसान को कम करके खेती में एक क्रांति ला रही है। हाल के अध्ययनों में यह बात सामने आई है कि ये नवाचार संसाधनों की बर्बादी को कम कर सकते हैं और जलवायु संबंधी चुनौतियों के बीच टिकाऊ खेती को बढ़ावा दे सकते हैं। वर्तमान में, वैश्विक कृषि क्षेत्र एक गहरे बदलाव के दौर से गुजर रहा है। वर्ष 2050 तक अनुमानित 10 अरब की जनसंख्या का पेट भरने और जलवायु परिवर्तन के बढ़ते प्रभावों — इन दोनों चुनौतियों का सामना करते हुए, यह क्षेत्र अब केवल साधारण मशीनीकरण से आगे बढ़ चुका है। आज का ध्यान बुद्धिमान, स्वचालित और पुनर्जीवित करने वाली प्रणालियों पर केंद्रित है, जो खेत को केवल एक उत्पादन केंद्र के रूप में नहीं, बल्कि एक जटिल पारिस्थितिकी तंत्र के रूप में देखती हैं।

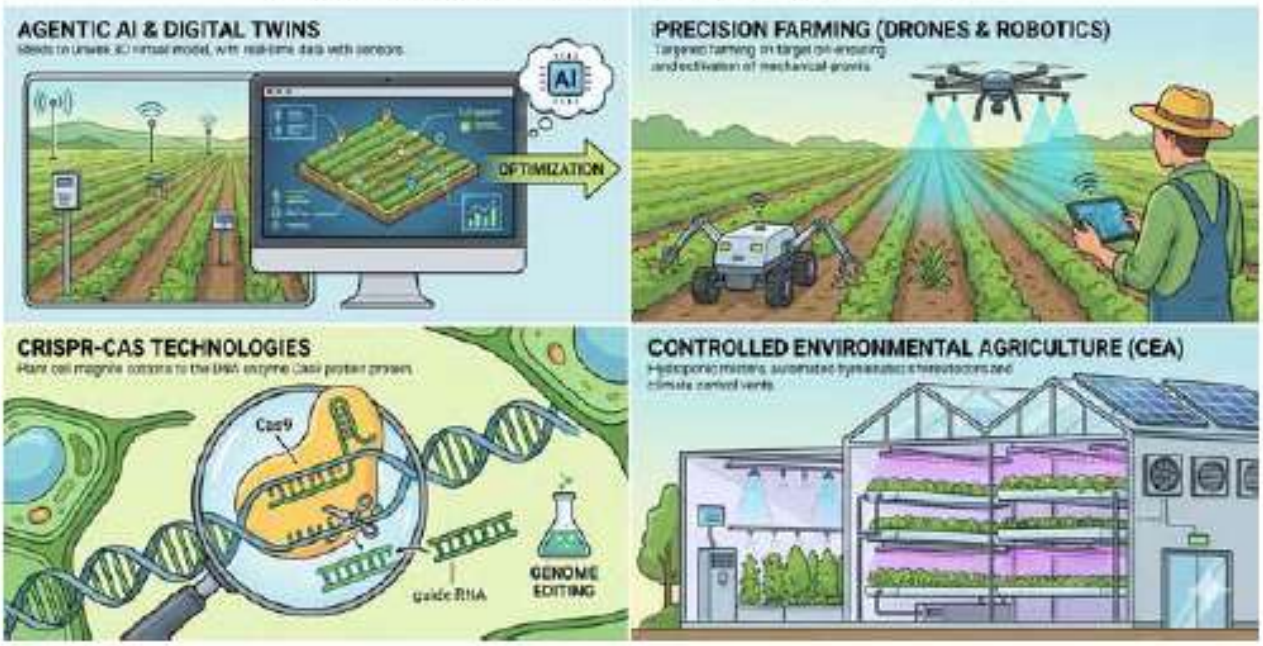
स्थायित्व में योगदान देने वाली प्रमुख प्रौद्योगिकियाँ

आधुनिक कृषि-प्रौद्योगिकी में जीपीएस, ड्रोन और आईओटी सेंसर का उपयोग करते हुए सटीक खेती (प्रेसिशन एग्रीकल्चर) शामिल है, जो उपज को 20-30% तक बढ़ाती है और उर्वरकों जैसे आदानों की बर्बादी को 40-60% तक कम करती है। जैव-प्रौद्योगिकी, जैसे कि क्रिस्पर (सी.आर.आई.एस.पी.आर.) तकनीक से विकसित फसलें, सूखे को सहन करने की क्षमता में सुधार करती हैं और कीटनाशकों के उपयोग को कम करती हैं — जैसा कि भारत में बीटी कपास के मामले में देखा गया है, जहाँ कीटनाशकों के छिड़काव में 50% की कमी आई है। स्मार्ट सिंचाई और एआई आधारित विश्लेषण प्रणालियाँ पानी के उपयोग को 40-60% तक अनुकूलित करती हैं और समस्याओं की पहचान 90% से अधिक सटीकता के साथ पहले से ही कर लेती हैं।

1. एजेंटिक ए.आई. और डिजिटल ट्विन का उदय

वर्ष 2025-2026 की सबसे महत्वपूर्ण उपलब्धियों में से एक है — पूर्वानुमान लगाने वाली एआई (प्रिडिक्टिव एआई) से एजेंटिक एआई की ओर परिवर्तन। पहले की एआई प्रणालियाँ केवल सुझाव देती थीं, लेकिन एजेंटिक एआई एक श्रेणीबद्ध ढाँचे (Hierarchical Framework) पर काम करती है, जिसमें उप-एजेंट स्वतंत्र रूप से सिंचाई, कीट नियंत्रण और उर्वरक प्रबंधन जैसे कार्यों को संभालते हैं — और ये सभी खेत के एक केंद्रीय 'डिजिटल ट्विन' के निर्देशन में काम करते हैं।

डिजिटल ट्विन वास्तविक खेतों की आभासी प्रतिकृतियाँ होती हैं, जो आईओटी सेंसर, उपग्रह चित्रों और मौसम डेटा (वेदर ए.पी.



आई.) से मिली जानकारी को वास्तविक समय में एकीकृत करती हैं। ये किसानों को 'क्या होगा अगर' विश्लेषण करने की सुविधा देती हैं — यानी पानी की एक बूँद खर्च किए बिना यह जाना जा सकता है कि किसी विशेष फसल पर अलग-अलग सिंचाई या पोषक तत्वों का क्या प्रभाव पड़ेगा। दूरदराज के उन क्षेत्रों में जहाँ इंटरनेट कनेक्टिविटी कमज़ोर है, वहाँ इन एआई मॉडलों की सहायता के लिए अब xDTs (हल्के डिजिटल ट्विन) को ड्रोन और स्वचालित सेंसर जैसे एज डिवाइस (Edge Devices) पर तैनात किया जा रहा है, जिससे बिना इंटरनेट के भी तत्काल निर्णय लिए जा सकते हैं।

2. ड्रोन और रोबोटिक्स के साथ सटीक स्वचालन

रोबोटिक्स अब प्रयोगात्मक प्रोटोटाइप से आगे बढ़कर खेतों में काम करने योग्य मजदूर के रूप में विकसित हो चुकी है। वर्ष 2026 में 'नाजुक' कार्यों का स्वचालन एक प्रमुख लक्ष्य है, विशेष रूप से बहुवर्षीय फसलों और बागवानी में। बड़े पैमाने पर स्वचालित इलेक्ट्रिक ड्रोन, जैसे कि गार्डियन एग्रीकल्चर SC1, अब पारंपरिक फसल-छिड़काव विमानों की जगह ले रहे हैं। ये ड्रोन 200 पाउंड तक का भार उठाने में सक्षम हैं और सटीक मार्गदर्शन प्रणाली का उपयोग करके रासायनिक बहाव (Chemical Drift) को समाप्त करते हैं, जिससे कीटनाशकों के उपयोग में 30% तक की कमी आती है। सॉफ्ट रोबोटिक्स और उन्नत कंप्यूटर विज़न पर हो रहे शोध ने मशीनों को चुनिंदा छँटाई (सेलेक्टिव प्रूनिंग) और फल तुड़ाई जैसे कार्य उपज को नुकसान पहुँचाए बिना करने में सक्षम बनाया है।

3. अगली पीढ़ी की कृषि जैव-प्रौद्योगिकी

जैव-प्रौद्योगिकी अब 'प्रकृति-अनुकूल' समाधानों की ओर बढ़ रही है, जो कृत्रिम रसायनों पर निर्भरता को कम करते हैं। वर्ष 2025 में अत्यंत सूक्ष्म क्रिस्पर-Cas12j-8 न्यूक्लिएज़ (CRISPR-Cas12j-8 Nucleases) की शुरुआत से चावल और सोयाबीन जैसी प्रमुख फसलों में जीन-संपादन की दक्षता में उल्लेखनीय सुधार हुआ है।

इसके अलावा, क्रिस्पर-जीपीटी (CRISPR-GPT), एक एआई प्रणाली, अब जीन-संपादन कार्यप्रवाह (जीन-एडिटिंग वर्कफ्लोज के डिजाइन को स्वचालित रूप से तैयार करती है। सिंथेटिक जीव-विज्ञान (सिंथेटिक बायलोजी) का उपयोग एंडोफाइटिक सूक्ष्मजीवों (माइक्रोबस) को विकसित करने के लिए किया जा रहा है। ये सूक्ष्मजीव पौधों के ऊतकों के भीतर रहते हैं और आवश्यकतानुसार फाइटोहार्मोन या कीटनाशक पेप्टाइड उत्पन्न करते हैं — ये एक गतिशील 'जीवित' उर्वरक की तरह कार्य करते हैं जो फसल की वास्तविक समय की जरूरतों के अनुसार अपने आप को ढाल लेते हैं।

4. पुनर्योजी प्रौद्योगिकी और कार्बन उपयोग

स्थायित्व को अब तेजी से एमआरवी — मापन, रिपोर्टिंग और सत्यापन प्रौद्योगिकियों के माध्यम से मापा जा रहा है। ये उपकरण मिट्टी में कार्बन संग्रहण को उच्च सटीकता के साथ ट्रैक करते हैं, जिससे किसान कार्बन क्रेडिट बाजार के माध्यम से अपनी टिकाऊ कृषि पद्धतियों से आर्थिक लाभ उठा सकते हैं। केवल कार्बन भंडारण से आगे बढ़ते हुए, कार्बन उपयोग की दिशा में भी प्रौद्योगिकियाँ तेजी से विकसित हो रही हैं। जैविक अपशिष्ट से तैयार बायोचार कार्बन को सैकड़ों वर्षों तक मिट्टी में बंद रखता है और साथ ही भूमि की उर्वरता को भी बढ़ाता है। आईओटी आधारित मिट्टी निगरानी प्रणालियाँ अब मिट्टी में सूक्ष्मजीवी विविधता और कार्बन स्तर पर वास्तविक समय में डेटा प्रदान करती हैं — इससे ध्यान 'किसी भी कीमत पर अधिक उपज' से हटकर 'सेवा के रूप में भूमि पुनर्स्थापना' की ओर केंद्रित हो रहा है।

5. नियंत्रित पर्यावरण कृषि

वर्टिकल फार्मिंग और हाइड्रोपोनिक्स का विस्तार लगातार हो रहा है, विशेष रूप से उन क्षेत्रों में जो शहरीकरण से प्रभावित हैं या जहाँ पानी की भारी कमी है। वर्ष 2025 तक, एरोपोनिक प्रणालियों ने यह सिद्ध कर दिया है कि वे पारंपरिक खेती की तुलना में 90-95% कम पानी में फसल उगा सकती हैं। इनकी दक्षता के बावजूद, वर्टिकल फार्म पारंपरिक ग्रीनहाउस की तुलना में 4 से 10 गुना अधिक ऊर्जा की खपत करते हैं। इनकी दीर्घकालिक व्यवहार्यता के लिए नवीकरणीय ऊर्जा और उच्च-दक्षता वाली एलईडी का एकीकरण अत्यंत आवश्यक है।

पर्यावरणीय लाभ

ये प्रौद्योगिकियाँ पुनर्योजी कृषि पद्धतियों और नवीकरणीय ऊर्जा के एकीकरण के माध्यम से ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन को कम करती हैं और जैव-विविधता के संरक्षण में सहायक हैं। सटीक खेती से खरपतवारनाशक/कीटनाशकों के उपयोग में 9%, जीवाश्म ईंधन में 6% और पानी की खपत में 4% की कमी आती है, साथ ही मिट्टी की गुणवत्ता में भी सुधार होता है। नैनो-प्रौद्योगिकी और वर्टिकल फार्मिंग भूमि और पानी की आवश्यकता को 95% तक और कम कर देती हैं, जिससे चक्रीय अर्थव्यवस्था को बल मिलता है।

आर्थिक और सामाजिक प्रभाव

इन प्रौद्योगिकियों को अपनाने से किसानों की आय में वृद्धि होती है — लागत में बचत और टिकाऊ उत्पादों के लिए बेहतर बाजार मूल्य मिलने से। सटीक उपकरणों के उपयोग से उत्पादन में 4% की वृद्धि देखी गई है। विकासशील क्षेत्रों में, आईओटी छोटे किसानों को जैविक खेती की ओर संक्रमण में सहायता करता है, कार्बन कटौती को मापने में मदद करता है और सामाजिक समानता को बढ़ावा देता है। 'नैनो-प्रौद्योगिकी के माध्यम से कृषि स्थायित्व' जैसी पुस्तकें वैश्विक स्तर पर विस्तार के लिए संसाधन-दक्षता पर बल देती हैं।

निष्कर्ष

टिकाऊ कृषि का भविष्य इन सभी प्रौद्योगिकियों के समन्वय में निहित है। वर्ष 2026 तक, सबसे सफल कृषि कार्य वे होंगे जो कृत्रिम मेधा-आधारित अंतर्दृष्टि, क्रिस्पर (सी.आर.आई.एस.पी.आर.) से उन्नत फसल प्रतिरोधकता और पुनर्योजी मृदा प्रबंधन को एक एकीकृत, डेटा-संचालित कार्यप्रवाह में सम्मिलित करते हैं।