एग्री आर्टिकल्स

(कृषि लेखों के लिए ई-पत्रिका)

वर्ष: 05, अंक: 05 (सितम्बर-अक्टूबर, 2025)

www.agriarticles.com पर ऑनलाइन उपलब्ध

© एग्री आर्टिकल्स, आई. एस. एस. एन.: 2582-9882

स्मार्ट ऑर्चर्ड प्रबंधन : सेंसर, ड्रोन और कृत्रिम बुद्धिमत्ता आधारित बागवानी की नई दिशा

*शिव कुमार अहिरवार

पीएच.डी. शोधार्थी, फल विज्ञान विभाग, कृषि महाविद्यालय,

जवाहरलाल नेहरू कृषि विश्वविद्यालय, जबलपुर, मध्य प्रदेश-482004

*संवादी लेखक का ईमेल पता: shivahirwar5991@gmail.com

जलवायु परिवर्तन, श्रम की कमी, इनपुट की बढ़ती लागत और निर्यात-गुणवत्ता की मांग—ये चार दबाव आज फल-उद्योग को नई दिशा की ओर ढकेल रहे हैं। "स्मार्ट ऑर्चर्ड" का विचार यही है कि रियल-टाइम डेटा (सेंसर/ड्रोन/उपग्रह) और विश्लेषणात्मक बुद्धिमत्ता मिलकर ऐसे निर्णय लें जिनसे पानी, उर्वरक और कीटनाशी का सही स्थान-समय-मात्रा तय हो और फल की गुणवत्ता, उपज व लाभ एक साथ बढ़ें। वैश्विक स्तर पर स्मार्ट सेंसर, UAV/ड्रोन और AI-निर्णय प्रणालियाँ फलों के बागानों में तेजी से अपनाई जा रही हैं—जैसे वाशिंगटन स्टेट यूनिवर्सिटी (WSU) का स्मार्ट ऑर्चर्ड टेस्टबेड जहाँ कैनोपी-तापमान, नमी और फसल-लोड की डिजिटल निगरानी कर प्रिसिशन सिंचाई और थिनिंग जैसी क्रियाएँ की जाती हैं।

स्मार्ट ऑर्चर्ड की कार्य-विधि

एक स्मार्ट ऑर्चर्ड को पाँच परतों में समझा जा सकता है:

सेंसिंग लेयर

इन-सिटू सेंसर: मृदा-नमी (TDR/Capacitive), EC, pH, ताप-आर्द्रता, पत्ता-गीलापन, कैनोपी-तापमान (IR), ट्रंक-डेंड्रोमीटर, कीट-ट्रैप कैमरा।

रिमोट सेंसिंग: ड्रोन से RGB/मल्टीस्पेक्ट्रल/थर्मल इमेजिंग; उपग्रह से NDVI/NDRE सूचकांक; LiDAR से कैनोपी संरचना। शोध-समीक्षाएँ बताती हैं कि स्मार्ट सेंसर नेटवर्क से सिंचाई और पोषक-प्रबंधन की दक्षता बढ़ती है तथा रोग/कीट चेतावनी के लिए समय पर संकेत मिलते हैं।

कनेक्टिविटी लेयर – LoRaWAN/NB-IoT/4G-5G/वाई-फाई मेष; सौर-ऊर्जा आधारित नोड; डेटा गेटवे।

डेटा लेक और प्रोसेसिंग – एज-कम्प्यूट (गेटवे/जेटसन) पर प्रारम्भिक प्रोसेसिंग; क्लाउड पर स्टोरेज, ETL, डिजिटल ट्विन।

AI/एनालिटिक्स – रोग-पहचान (leaf-level images), पोषक-कमी निदान, उपज/फसल-लोड का अनुमान, सिंचाई-निर्धारण (ET-आधारित, कैनोपी-तापमान), छिड़काव शेड्यूल का अनुकूलन। AI आधारित ऐप्स/वर्कफ़्लो

(जैसे पत्ता-चित्र से रोग पहचान) किसानों/बागवानों के लिए निर्णय सरल बनाते हैं। FAO की रिपोर्टों में ड्रोन/मोबाइल इमेज-आधारित AI निदान को स्केलेबल समाधान के रूप में रेखांकित किया गया है।

एक्शन लेयर (Actuation) – VRI/VFD-आधारित स्मार्ट सिंचाई, वैरियेबल-रेट स्प्रेइंग/ब्लॉसम-थिनिंग, रोबोटिक प्रूनिंग/हार्वेस्ट सहायता, स्वचालित अलर्ट।

प्रमुख तकनीकें और व्यावहारिक उपयोग

सेंसर प्रणालियाँ

मृदा-नमी/EC/pH प्रोफाइलिंग: भिन्न-भिन्न ब्लॉकों/ज़ोनों में नमी-स्थिति देखकर VRI (Variable Rate Irrigation) की योजना बनती है।

कैनोपी-तापमान/पत्ता-गीलापन: हीट-स्ट्रेस और रोग-अनुकूल आर्द्रता खिड़कियों की पहचान; फौरी सिंचाई/फॉगिंग/एंटी-ट्रांसपिरेंट निर्णय।

देंड्रोमीटर/फ्लो-मीटर: पेड़ की तना-वृद्धि और पानी-उपयोग का प्रत्यक्ष अनुमान; इरीगेशन-ट्रिगर तय। व्यापक समीक्षाएँ बताती हैं कि ऐसे IoT+सेंसर सेटअप से पानी-उपयोग कम और उत्पादकता अधिक बनी रहती है।

ड्रोन (UAV) अनुप्रयोग

निगरानी: RGB/Multispectral/थर्मल इमेजरी से NDVI/NDRE, कैनोपी-घनत्व, हॉट-स्पॉट मैप।

स्प्रेइंग/डस्टिंग: सूक्ष्म-बूंदों के साथ समान छिड़काव; कठिन भूभाग/ऊँचे पेड़ों में कवरेज बेहतर। भारत में ICAR की परियोजनाएँ (जैसे आलू/सब्जी फसलों में) ड्रोन-आधारित छिड़काव की सुरक्षा व प्रभावशीलता दर्शाती हैं और SOP (MoA&FW, 21 दिसम्बर 2021) के अनुरूप स्केल-अप के संकेत देती हैं।

फेनोलॉजी/फसल-लोड मैपिंग: कली-गिनती/फूल-लोड/फल-सेट की हाई-रेज़ इमेजिंग, जिससे थिनिंग/पोषक योजना बनती है। WSU के Precision Crop Load Monitoring प्रयासों में इन्हीं ड्रोन/विज़न टूल्स से प्रिस्क्रिप्शन मैप बनाकर वैरियेबल-रेट स्प्रेयर में दिया जा रहा है। भारतीय सन्दर्भ में 2024–25 के दौरान सार्वजनिक प्रदर्शनों/फील्ड-डेमो में ड्रोन-स्प्रेइंग ने समय, श्रम और लागत में कमी और समान कवरेज दिखाया—जैसे IIVR, वाराणसी की हालिया गतिविधियाँ।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI/ML)

रोग-कीट निदान: पत्तों/फलों की छवियों से रोग-पहचान; मोबाइल-ऐप स्तर पर मार्गदर्शन। FAO के डिजिटल-एग्रीकल्चर दस्तावेज़ AI-आधारित निदान को खेत-स्तर पर व्यावहारिक बताते हैं।

उपज/ग्रेडिंग अनुमान: विज़न-आधारित फल-गणना, साइज/रंग-वितरण; ग्रेड-वार पैकिंग-प्लानिंग।

सिंचाई/पोषक/छिड़काव शेड्यूल का अनुकूलन: ऐतिहासिक-मौसम + सेंसर-डेटा + फसल-मॉडल से प्रिस्क्रिप्शन। नवीन समीक्षाएँ रिपोर्ट करती हैं कि AI-मॉडल से उपज-पूर्वानुमान/इनपुट-दक्षता में उल्लेखनीय सुधार देखा गया; UAV-आधारित वॉटर/फर्टिलाइज़र उपयोग में बड़ी कटौती और IoT-स्मार्ट सिंचाई से उत्पादकता में वृद्धि जैसी प्रवृत्तियाँ दिखीं (समेकित स्मार्ट-फार्मिंग संदर्भ)।

भारतीय परिप्रेक्ष्य: नीतियाँ, SOP और संस्थागत पहल

नीतिगत आधार: भारत में ड्रोन-उपयोग के लिए कृषि मंत्रालय की SOP (21-12-2021) उपलब्ध है; ICAR नेटवर्क (NePPA) ने प्रशिक्षण/डेमो आयोजित किए हैं।

संस्थागत उदाहरण: ICAR/राज्य कृषि विश्वविद्यालयों में बागवानी फसलों (आम, अमरूद, केला, सेब आदि) के लिए ड्रोन-मॉनिटरिंग और इनपुट-एप्लीकेशन के पायलट चल रहे हैं; पूर्वी भारत में डिजिटल-हॉर्टिकल्चर पहलों के अंतर्गत ड्रोन-निगरानी/स्प्रे के लाभ उद्धृत हैं।

फील्ड-ऐप/समुदाय: भारत में किसानों द्वारा AI-सक्षम मोबाइल-ऐप्स (पत्ता-स्कैनिंग/निदान) का उपयोग—जैसे आम बागानों में रोग-पहचान—कार्यकुशलता बढ़ा रहा है।

लागत–लाभ का संक्षिप्त विश्लेषण

प्रत्यक्ष लाभ

पानी की बचत (VRI/स्मार्ट-सिंचाई): अंतरराष्ट्रीय केस-स्टडीज़ और उद्योग रिपोर्टें 50%+ जल-बचत तक के परिणाम दर्शाती हैं; कुछ व्यावसायिक उदाहरणों में लाभ/उपज सुधार भी दर्ज हुआ है।

रसायनों का लक्षित उपयोग: वैरियेबल-रेट स्प्रेइंग से कीटनाशी/पोषक की बचत और अवशेष-जोखिम में कमी।

श्रम/समय में कटौती: ड्रोन-स्प्रेइंग/मॉनिटरिंग से तेज कवरेज।

अप्रत्यक्ष लाभ

गुणवत्ता-एकरूपता: फसल-लोड संतुलन, ग्रेड-आउट सुधार, निर्यात-योग्यता।

ट्रेसबिलिटी/अनुपालन: डेटा-लॉगिंग से GAP/GlobalG.A.P./FSSAI-अनुपालन आसान।

जोखिम प्रबंधन: हीट-वेव/तूफान/रोग-उभार पर पूर्व-चेतावनी और त्वरित निर्णय।

प्रारम्भिक लागत

सेंसर-किट (ब्लॉक-वार), ड्रोन सर्विस/किराया, डेटा-प्लान/क्लाउड सब्सक्रिप्शन, प्रशिक्षण। साझा-सुविधा मॉडल (FPO/कस्टम-हायरिंग सेंटर) अपनाकर लागत बाँटी जा सकती है, जिससे छोटे/सीमान्त बागवान भी जुड़ सकें—यह रुख FAO/सरकारी डिजिटल-एग्री साहित्य में भी सुझाया गया है।

लागू करने की 10-कदम की व्यावहारिक रूपरेखा

- लक्ष्य तय करें: पानी-बचत? गुणवत्ता-ग्रेड? रोग-नियंत्रण? (KPI: जल-उपयोग/टन, ग्रेड-आउट %, प्राइस-रियलाइज़ेशन)।
- ज़ोन-मैपिंग: मिट्टी/उत्पादकता/टोपोग्राफी के आधार पर मैनेजमेंट-ज़ोन बनाएँ।
- सेंसर पायलट: प्रति ज़ोन 1–2 मृदा-नमी प्रोफाइल, 1 माइक्रो-क्लाइमेट नोड, मुख्य ब्लॉकों में पत्ता-गीलापन/IR-कैनोपी।
- कनेक्टिविटी: LoRaWAN/4G; सौर-पावर; डेटा-गेटवे।
- ड्रोन वर्कफ़्लो: मौसम/फेनोलॉजी-अनुसार RGB (फूल/फल-गणना), मल्टीस्पेक्ट्रल (NDVI/NDRE), थर्मल (हीट-स्ट्रेस)। लाइसेंस/NPNT/SOP अनुपालन और बफर-ज़ोन/ड्रिफ्ट-मैनेजमेंट सुनिश्चित करें।
- डेटा इंटीग्रेशन: सेंसर + ड्रोन से ऑर्चर्ड डिजिटल ट्विन बनाकर डैशबोर्ड (मॉइस्चर, ETc, फसल-लोड, रोग-जोखिम)।

- AI-मॉडल चयन: रोग-पहचान (leaf/fruit images), फसल-लोड और ग्रेड-पूर्वानुमान। Rule-based + ML का संकर (Hybrid) दृष्टिकोण अपनाएँ। FAO की रिपोर्टें मोबाइल-इमेज-आधारित निदान के व्यवहारिकपन की पुष्टि करती हैं।
- एक्शन-इंजन: VRI-सिंचाई शेड्यूल, वैरियेबल-रेट स्प्रे/थिनिंग प्रिस्क्रिप्शन; ऑपरेशनल SOP/जिम्मेदारियाँ।
- प्रशिक्षण और परिवर्तन प्रबंधन: स्काउटिंग टीम, ड्रोन-पायलट, डेटा-स्टूवर्ड, सुरक्षा/रसायन-हैंडलिंग, डेटा-एथिक्स।
- ऑडिट/ROI: सीज़न-एंड पर KPI की तुलना; अगले सीज़न के लिए ज़ोन/सेटप पॉइंट्स का अद्यतन।

गुणवत्ता, पैकहाउस और सप्लाई-चेन एकीकरण

स्मार्ट ऑर्चर्ड का वास्तविक लाभ तब खुलता है जब बागान-डेटा पैकहाउस/ट्रेड से जुड़ता है:

- फसल-लोड/ग्रेड-पूर्वानुमान से प्री-बुकिंग/मूल्य-विनियोजन;
- ट्रेसबिलिटी (ब्लॉक-ID, स्प्रे-लॉग, अवशेष-जोखिम प्रोफाइल);
- कटाई-लॉजिस्टिक्स (माइक्रो-शेड्यूल: किस ब्लॉक से, किस ग्रेड की तुड़ाई)।
- AI-सक्षम ग्रेडिंग/सॉर्टिंग से ग्रेड-एकरूपता बढ़ती है; यह निर्यात-मानकों के लिए विशेष रूप से महत्वपूर्ण है।

जोखिम, सुरक्षा और नैतिकता

- डेटा सुरक्षा/गोपनीयता – मालिकाना बागान-डेटा के लिए अनुबंध/एक्सेस-कंट्रोल आवश्यक।
- रसायन सुरक्षा – ड्रोन-स्प्रे SOP, ड्रिफ्ट-मैनेजमेंट, बफर-ज़ोन्स, PPE। भारत में जारी SOP को पालन करना अनिवार्य है।
- एयरस्पेस विनियमन – NPNT, UIN/UAS श्रेणी, भू-भाग/जनसंख्या के ऊपर उड़ान नियम।
- AI-भेदभाव/विश्वसनीयता – मॉडल-बायस/ओवरफिटिंग; नियमित री-ट्रेनिंग और फील्ड-वेलिडेशन।
- पर्यावरण – परागणकों/लाभकारी कीटों की सुरक्षा; वैरियेबल-रेट से रसायनों की कुल खपत घटा कर पर्यावरण-जोखिम कम करना।

प्रशिक्षण, संस्थागत ढाँचा और बिजनेस-मॉडल

- FPO/कस्टम-हायरिंग सेंटर (CHC): ड्रोन, मल्टी-स्पेक्ट्रल कैमरा, और बेसिक IoT किट साझा सेवा के रूप में; प्रति-एकड़/घंटा शुल्क।
- "डेटा-एज़-ए-सर्विस" (DaaS): सीज़नल सब्सक्रिप्शन—ड्रोन-फ्लाइट + एनालिटिक्स रिपोर्ट + प्रिस्क्रिप्शन मैप।
- कौशल-विकास: ड्रोन-पायलट, "ऑर्चर्ड-डेटा स्टूवर्ड", Farm-GIS ऑपरेटर, स्प्रे-सुरक्षा अधिकारी।
- शोध-उद्योग साझेदारी: विश्वविद्यालय/ICAR × एग्री-टेक स्टार्टअप × उपकरण निर्माता—ठीक उसी तरह जैसे WSU-उद्योग के साथ प्रिसिशन क्रॉप-लोड तकनीकों का फील्ड-वैलिडेशन चल रहा है।

"एक मौसम, एक पायलट" — उदाहरणात्मक क्रिया-योजना (आम/सेब के लिए)

पूर्व-विकास (फल-सेट से पहले):

- ज़ोन-मैपिंग; 6–8 सेंसर प्रोफाइल (नमी/EC) + 2–3 माइक्रो-क्लाइमेट नोड/हेक्टेयर।
- ड्रोन-बेसलाइन उड़ान (RGB+MS) → NDVI/कैनोपी घनत्व मैप।

फूल-आवस्था/फल-सेट:

- फ्लॉवर-काउंट/लाइट-इंटरसेप्शन मैप; AI-आधारित फसल-लोड पूर्वानुमान।
- यदि ओवर-सेट: प्रिस्क्रिप्शन-आधारित ब्लॉसम थिनिंग/स्प्रे।

फल-विकास:

- थर्मल-ड्रोन से हीट-हॉटस्पॉट; VRI-इरीगेशन शेड्यूल (ETc + सेंसर-फीडबैक)।
- रोग-जोखिम (लीफ-वेटनेस/आर्द्रता) → स्प्रे-शेड्यूल समायोजन; मौसम-खिड़कियाँ पंजीकृत।

कटाई-पूर्व:

- ड्रोन-गणना से ग्रेड-पूर्वानुमान; पैकहाउस/मार्केटिंग के साथ संरेखण।
- सप्लाई-चेन ट्रेसबिलिटी लॉग (ब्लॉक-ID, स्प्रे-रिकॉर्ड, गुणवत्ता परिणाम)।

कटाई-पश्चात/ऑडिट:

- KPI तुलना: जल-उपयोग, स्प्रे-मात्रा, ग्रेड-आउट %, नेट-मार्जिन। अगले सीजन के लिए मॉडल-रीट्यूनिंग; सेंसर-कैलिब्रेशन; हार्डवेयर सर्विस।

निष्कर्ष

स्मार्ट ऑर्चर्ड—यानी सेंसर + ड्रोन + AI—किसी "एक गैजेट" का नाम नहीं, बल्कि डेटा-चालित खेती की संस्कृति है। यह संस्कृति छोटे-छोटे, मापने-योग्य सुधारों (जल-बचत, रोग-पूर्वचेतावनी, फसल-लोड संतुलन) से शुरू होकर पैकहाउस/बाज़ार तक गुणवत्ता-संगति और ट्रेसबिलिटी का लाभ देती है। भारत में ICAR/सरकारी SOP, फील्ड-डेमो और उभरते स्टार्टअप-इकोसिस्टम ने जमीन तैयार कर दी है। अगले दशक में डिजिटल ट्विन + वैरियेबल-रेट एक्शन + एज-AI की त्रयी बागवानी को नई उत्पादकता और टिकाऊपन देने वाली है।