भारतीय खेतों में परिशुद्ध कृषि वास्तव में कैसी दिखती है

एझिलन नानमारन
उत्पाद एवं रणनीतिक भागीदारी प्रमुख, आइडियाफोर्ज टेक्नोलॉजी लिमिटेड

भारतीय कृषि सदा से ही जटिल एवं असमान रही है — एक ऐसी वास्तविकता जिसे किसान आँकड़ों के बजाय अनुभव के आधार पर दीर्घकाल से संभालते आए हैं। मिट्टी के गुणधर्म कुछ ही मीटर की दूरी में बदल सकते हैं, एक साथ बोई गई फसलें भी प्रायः असमान रूप से उगती हैं, और एक ही खेत में पानी की उपलब्धता अलग-अलग हो सकती है। इस अंतर्निहित विविधता के कारण, कृषि संबंधी निर्णय ऐतिहासिक रूप से स्वयं निवेशों (इनपुट) की अपेक्षा सूक्ष्म अवलोकन एवं विवेकपूर्ण निर्णय पर उतने ही निर्भर रहे हैं।

आज, कृषि की जटिलता की मूल चुनौती तो बनी हुई है, किंतु जो तेज़ी से बदल रहा है, वह है इन विविधताओं को स्पष्ट रूप से देखने और अभूतपूर्व परिशुद्धता के साथ प्रतिक्रिया करने की हमारी क्षमता। ड्रोन-आधारित प्रौद्योगिकियाँ इस व्यावहारिक बदलाव को गति दे रही हैं — पारंपरिक ज्ञान के विकल्प के रूप में अथवा स्वचालन के किसी सुदूर स्वप्न के रूप में नहीं, बल्कि शक्तिशाली उपकरणों के रूप में जो शोधकर्ताओं एवं किसानों को उनके खेतों में वास्तव में क्या हो रहा है, इसकी सूक्ष्म समझ प्रदान करती हैं।

वास्तविक जीवन की सफलता की कहानियाँ, जैसे कि धान उगाने वाले क्षेत्रों में भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद (भाकृअनुप/आईसीएआर) द्वारा किया गया कार्य और कश्मीर में सेब

शोधकर्ताओं द्वारा किए गए प्रयोग, यह दर्शाती हैं कि परिशुद्ध कृषि धीरे-धीरे शैक्षणिक सिद्धांत से निकलकर स्थापित, व्यावहारिक खेती के रूप में आकार ले रही है।

खेत में परिशुद्धता लाना: ड्रोन का लाभ

दशकों से, कृषि में सुदूर संवेदन (रिमोट सेंसिंग) उपग्रह चित्रण (सैटेलाइट इमेजरी) का पर्याय रहा है, जो क्षेत्रीय प्रवृत्तियों को ट्रैक करने के लिए अभी भी उपयोगी है। तथापि, अधिकांश महत्त्वपूर्ण कृषि निर्णय जिले या राज्य स्तर पर नहीं, बल्कि खेत-दर-खेत और उसके भीतर ही लिए जाते हैं।

यहीं पर ड्रोन एक स्पष्ट अंतर प्रस्तुत करते हैं। कम ऊँचाई पर उड़ते हुए वे उच्च-विभेदन (हाई-रेज़ोल्यूशन) चित्र लेते हैं और फसल वृद्धि के विशिष्ट एवं महत्त्वपूर्ण चरणों में तैनात किए जा सकते हैं। यह लचीलापन उपग्रह चित्रण की निश्चित समय-सारणी से बँधे रहने के बजाय ठीक उसी समय स्थितियों का आकलन करने की सुविधा देता है, जब निर्णय लेने की आवश्यकता होती है।

क्षेत्र अध्ययनों में ड्रोन कीट एवं रोगों से उत्पन्न फसल तनाव के साथ-साथ पोषक तत्वों के असंतुलन, जल की कमी और ताप से उत्पन्न तनाव के अवलोकन में अत्यंत उपयोगी सिद्ध हुए हैं। ये फसल वृद्धि एवं फिनोलॉजिकल अवस्थाओं की निरंतर निगरानी में भी सहायक हैं — ऐसे कार्य जिनके लिए पहले श्रम-साध्य, बार-बार के क्षेत्र(फार्म) के दौरे आवश्यक होते थे।

हवा से क्रिया तक: क्षेत्र डेटा का संग्रह एवं उपयोग

इन अध्ययनों में मानवरहित हवाई वाहन (यूएवी) प्लेटफॉर्मों को मल्टीस्पेक्ट्रल सेंसरों के साथ एकीकृत किया जाता है जो दृश्य एवं निकट-अवरक्त (नियर-इन्फ्रारेड) तरंगदैर्ध्य में परावर्तन (रिफ्लेक्टेंस) को अभिग्रहीत करते हैं। इस चित्रण का उपयोग एनडीवीआई, एनडीआरई, जीएनडीवीआई, एमएसएवीआई और एसएवीआई जैसे वनस्पति सूचकांक

(वेजिटेशन इंडेक्स) प्राप्त करने के लिए किया जाता है। यद्यपि ये सूचकांक जमीनी अवलोकन का स्थान नहीं लेते, तथापि ये फसल की जीवन-शक्ति, तनाव स्तर और पोषण स्थिति को इंगित करने का एक सुसंगत एवं मात्रात्मक तरीका प्रदान करते हैं।

डेटा संग्रह की सुसंगतता भी उतनी ही महत्त्वपूर्ण है। स्वचालित उड़ान योजना एवं मैपिंग सॉफ्टवेयर शोधकर्ताओं को संपूर्ण खेतों को विश्वसनीय रूप से कवर करने और समय के साथ उड़ानों को सटीक रूप से दोहराने में सक्षम बनाते हैं। मौसमी तुलनाओं या परिष्कृत मॉडलिंग के लिए उपयोग किए जाने वाले कृषि डेटा में, डेटा संग्रह की सुसंगतता स्वयं सेंसर की गुणवत्ता जितनी ही महत्त्वपूर्ण है।

ड्रोन-आधारित सेंसरों से मृदा स्वास्थ्य का मानचित्रण

भाकृअनुप (आईसीएआर) शोधकर्ताओं द्वारा प्रदर्शित एक महत्त्वपूर्ण अनुप्रयोग मृदा जैव कार्बन (एसओसी) पर केंद्रित है, जो दीर्घकालिक मृदा स्वास्थ्य एवं उर्वरता के लिए एक प्रमुख मानदंड है। परंपरागत रूप से, एसओसी का अनुमान लगाना एक धीमी एवं श्रम-साध्य प्रक्रिया है जिसके लिए बार-बार मिट्टी के नमूने लेने और प्रयोगशाला विश्लेषण की आवश्यकता होती है।

भाकृअनुप (आईसीएआर) शोधकर्ताओं द्वारा प्रदर्शित एक महत्त्वपूर्ण अनुप्रयोग मृदा जैव कार्बन (एसओसी) पर केंद्रित है, जो दीर्घकालिक मृदा स्वास्थ्य एवं उर्वरता के लिए एक प्रमुख मानदंड है। परंपरागत रूप से, एसओसी का अनुमान लगाना एक धीमी एवं श्रम-साध्य प्रक्रिया है जिसके लिए बार-बार मिट्टी के नमूने लेने और प्रयोगशाला विश्लेषण की आवश्यकता होती है।

फसल पूर्वानुमान: परिशुद्ध धान उपज अनुमान

उपज अनुमान किसानों, बीमाकर्ताओं और नीति-निर्माताओं के लिए धान की खेती में एक महत्त्वपूर्ण कार्य है। भाकृअनुप शोधकर्ताओं ने पैनिकल इनिशिएशन (बाली निकलने) की अवस्था में लिए गए यूएवी मल्टीस्पेक्ट्रल चित्रण का उपयोग करके उच्च-परिशुद्धता वाले खेत-स्तरीय उपज पूर्वानुमान मॉडल विकसित किए।

डेटा का विश्लेषण रैंडम फॉरेस्ट, सपोर्ट वेक्टर मशीन (एसवीएम) और आर्टिफिशियल न्यूरल नेटवर्क मॉडलों सहित कई मशीन लर्निंग दृष्टिकोणों का उपयोग करके सख्ती से किया गया। एसवीएम दृष्टिकोण ने अंततः उच्चतम पूर्वानुमान सटीकता प्रदान की। इस कार्य का पैमाना ही इसका प्रमुख मूल्य है: खेत-स्तरीय उपज अनुमान व्यापक क्षेत्रीय औसत की तुलना में फसल बीमा और जोखिम मूल्यांकन जैसे अनुप्रयोगों के लिए कहीं अधिक प्रासंगिक हैं।

पोषक तत्वों का अनुकूलन: सटीक नाइट्रोजन प्रबंधन

फसल उत्पादन के सर्वाधिक चुनौतीपूर्ण पहलुओं में से एक, नाइट्रोजन प्रबंधन में भी क्रांति आ रही है। धान प्रणालियों में अधिकतम कल्ले फूटने की अवस्था के दौरान एकत्र किए गए यूएवी मल्टीस्पेक्ट्रल डेटा का उपयोग मशीन लर्निंग मॉडलों के साथ नाइट्रोजन सामग्री का अनुमान लगाने के लिए किया गया। ये निष्कर्ष ऐसे पोषक तत्व प्रबंधन प्रथाओं को सक्षम करते हैं जो खेत के विशिष्ट भागों में फसल की वास्तविक माँग के साथ बेहतर रूप से संरेखित हों, जिससे अपव्यय कम हो और दक्षता में सुधार हो।

बाग-स्तरीय परिशुद्धता: कश्मीरी सेब में अनुप्रयोग

कश्मीर के सेब शोधकर्ताओं ने बाग प्रणालियों के लिए इसी प्रकार की ड्रोन-आधारित तकनीकों को सफलतापूर्वक अपनाया है, जहाँ फसल भार और इनपुट अनुप्रयोग पर निर्णय सीधे फल की गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं। एक अनुप्रयोग यूएवी-आधारित फोटोग्रामेट्री का उपयोग करके पुष्प घनत्व (ब्लॉसम डेंसिटी) के अनुमान पर केंद्रित था — एक ऐसा क्षेत्र जहाँ मैन्युअल मूल्यांकन अक्सर व्यक्तिपरक और अशुद्ध होता है।

भारत में परिशुद्ध कृषि का आगे का मार्ग

ड्रोन-आधारित रिमोट सेंसिंग शक्तिशाली है, किंतु यह सभी समस्याओं का समाधान नहीं है। चुनौतियाँ अभी भी बनी हुई हैं — सेंसरों की वहनीयता, विश्लेषण अवसंरचना की तैयारी, और मॉडलों के निरंतर सत्यापन की आवश्यकता। सबसे महत्त्वपूर्ण यह है कि यह सुनिश्चित करना कि लघु एवं सीमांत किसान इन प्रौद्योगिकियों तक पहुँच सकें और उनका उपयोग कर सकें — यही उनकी अंतिम सफलता निर्धारित करेगा।

फिर भी, जारी कार्य इस बात की पुष्टि करता है कि ड्रोन पारंपरिक कृषि ज्ञान और डेटा-संचालित अंतर्दृष्टि के बीच की खाई को प्रभावी ढंग से पाट रहे हैं। खेतों के भीतर प्राकृतिक विविधता को दृश्यमान और मापने योग्य बनाकर, परिशुद्ध कृषि ऐसे निर्णयों का समर्थन कर सकती है जो न केवल उन्नत हों, बल्कि मूलभूत रूप से अधिक कुशल, सूचित और टिकाऊ हों। भारतीय किसानों के लिए वास्तविक मूल्य प्रौद्योगिकी स्वयं नहीं है, बल्कि वे बेहतर, अधिक लाभदायक निर्णय हैं जो उनके अपने खेतों में वास्तव में हो रही घटनाओं पर आधारित हों।