http://krishipravahika.vitalbiotech.org/

कृषि प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका

e-ISSN: 2583 – 0430

कृषि-प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका, (2025) वर्ष 5, अंक 12, 55-59

Article ID:528

फसलों की सटीक निगरानी और छिड़काव के लिए ड्रोन (यूएवी) का अनुप्रयोग

पंकज कुमार[1*], शशांक सिंह[2], दीपक प्रजापति[3]

[1,2,3]विषय वस्तु विशेषज्ञ (कृषि अभियांत्रकी), विषय वस्तु विशेषज्ञ (उद्यान), विषय वस्तु विशेषज्ञ (मृदा विज्ञान) कृषि विज्ञान केंद्र, आंकुशपुर, गाजीपुर (उ.प्र.)

[*]अनुरूपी लेखक

पंकज कुमार[*]

सटीक कृषि में हुए तीव्र विकास ने पारंपरिक खेती को एक प्रौद्योगिकी-आधारित प्रणाली में परिवर्तित कर दिया है, जिसका मुख्य उद्देश्य दक्षता, स्थिरता और लाभप्रदता को बढ़ाना है। उभरती हुई तकनीकों में मानवरहित हवाई वाहन (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs), जिन्हें सामान्यतः ड्रोन कहा जाता है, फसल निगरानी और कीटनाशक छिड़काव में अत्यधिक महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहे हैं। मानवरहित हवाई वाहन उच्च-रिज़ॉल्यूशन डेटा संग्रह, वास्तविक समय में फसल स्वास्थ्य का आकलन, स्थल-विशिष्ट आदान (इनपुट) अनुप्रयोग तथा श्रम पर निर्भरता में कमी को संभव बनाते हैं। सेंसर, GPS, GIS, कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) और परिवर्ती दर प्रौद्योगिकी (Variable Rate Technology) के साथ इनके एकीकरण ने आधुनिक कृषि में निर्णय-निर्माण प्रक्रिया को और अधिक प्रभावी बनाया है। यह लेख सटीक फसल निगरानी और छिड़काव में UAVs के अनुप्रयोग, उनके सिद्धांत, घटक, कार्य-प्रणाली, लाभ, सीमाएँ तथा भविष्य की संभावनाओं की व्यापक समीक्षा प्रस्तुत करता है।

मुख्य शब्द: UAVs, ड्रोन, सटीक कृषि, फसल निगरानी, ड्रोन छिड़काव, रिमोट सेंसिंग

1. परिचय

कृषि क्षेत्र आज जलवायु परिवर्तन, प्राकृतिक संसाधनों की कमी, श्रम अभाव और टिकाऊ तरीके से खाद्य उत्पादन बढ़ाने जैसी अभूतपूर्व चुनौतियों का सामना कर रहा है। इन समस्याओं के समाधान के रूप में सटीक कृषि एक प्रभावी दृष्टिकोण के रूप में उभरी है, जो उन्नत प्रौद्योगिकियों के माध्यम से आदानों के समुचित उपयोग और फसल उत्पादकता में सुधार पर केंद्रित है। इन उन्नत तकनीकों में **मानवरहित हवाई वाहन** अथवा ड्रोन एक क्रांतिकारी उपकरण के रूप में सामने आए हैं, जो कम समय में विस्तृत स्थानिक और कालिक डेटा संग्रह करने में सक्षम हैं।

मानवरहित हवाई वाहन किसानों और शोधकर्ताओं को फसल क्षेत्रों का "पक्षी-दृष्टि" प्रदान करते हैं, जिससे फसल तनाव, कीट-रोग प्रकोप, पोषक तत्वों की कमी तथा जल-तनाव की शीघ्र पहचान संभव होती है। इसके अतिरिक्त, छिड़काव प्रणालियों से युक्त ड्रोन कृषि रसायनों के सटीक और लक्षित अनुप्रयोग में सहायक होते हैं, जिससे अपव्यय और पर्यावरण प्रदूषण में कमी आती है। किफायती लागत, संचालन में सरलता और डिजिटल कृषि प्लेटफार्मों के साथ अनुकूलता के कारण ड्रोन का उपयोग विश्वभर में तीव्र गति से बढ़ रहा है।

Source: https://www.global-agriculture.com

2. कृषि में मानवरहित हवाई वाहन **की अवधारणा और प्रकार**

2.1 मानवरहित हवाई वाहन की परिभाषा)

मानवरहित हवाई वाहन जिन्हें सामान्यतः ड्रोन कहा जाता है, ऐसे वायुयान होते हैं जिनमें कोई मानव पायलट सवार नहीं होता। इनका संचालन या तो प्रशिक्षित ऑपरेटर द्वारा दूर से किया जाता है अथवा ये पूर्व-निर्धारित उड़ान पथों के माध्यम से स्वायत्त रूप से उड़ान भरते हैं, जिन्हें ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम जड़त्वीय नेविगेशन प्रणाली तथा ऑनबोर्ड सेंसरों का समर्थन प्राप्त होता है। कृषि क्षेत्र में UAVs उन्नत कैमरों, विभिन्न प्रकार के सेंसरों तथा कभी-कभी छिड़काव प्रणालियों से युक्त होते हैं, जो उच्च-रिज़ॉल्यूशन स्थानिक एवं कालिक डेटा एकत्र करने में सक्षम होते हैं। ये विशेषताएँ UAVs को सटीक कृषि के लिए अत्यंत प्रभावी उपकरण बनाती हैं, जिससे किसान और शोधकर्ता फसल स्वास्थ्य की निगरानी, खेत की असमानता का आकलन तथा कृषि आदानों का सटीक और कुशल उपयोग कर सकते हैं।

2.2 कृषि ड्रोन के प्रकार

कृषि में उपयोग होने वाले UAVs को उनकी संरचना और संचालन उद्देश्य के आधार पर मुख्यतः निम्नलिखित श्रेणियों में वर्गीकृत किया जाता है:

1. **मल्टी-रोटर ड्रोन:** मल्टी-रोटर ड्रोन कृषि में सबसे अधिक प्रचलित UAVs हैं। इनमें उच्च गतिशीलता, ऊर्ध्वाधर उड़ान भरने और उतरने (VTOL) की क्षमता तथा एक स्थान पर स्थिर रूप से मंडराने की विशेषता होती है। ये गुण इन्हें सटीक फसल निगरानी, कीटनाशक, उर्वरक एवं जैव-आदानों के लक्षित छिड़काव तथा छोटे से मध्यम आकार के खेतों में फील्ड स्काउटिंग के लिए अत्यंत उपयुक्त बनाते हैं।
2. **फिक्स्ड-विंग ड्रोन:** फिक्स्ड-विंग ड्रोन पारंपरिक हवाई जहाज के समान होते हैं और लंबी उड़ान अवधि तथा अधिक क्षेत्र कवरेज के लिए डिज़ाइन किए जाते हैं। ये बड़े पैमाने पर फसल मानचित्रण, उपज अनुमान तथा विस्तृत कृषि परिदृश्यों की निगरानी के लिए आदर्श माने जाते हैं।
3. **हाइब्रिड ड्रोन:** हाइब्रिड ड्रोन मल्टी-रोटर ड्रोन की VTOL क्षमता और फिक्स्ड-विंग ड्रोन की लंबी दूरी तक उड़ान भरने की दक्षता का संयोजन होते हैं। इनका उपयोग मुख्यतः उन्नत कृषि कार्यों में किया जाता है, जहाँ लचीलापन और बड़े क्षेत्र का कवरेज दोनों आवश्यक होते हैं।

3. UAV-आधारित सटीक फसल निगरानी

3.1 UAVs द्वारा फसल निगरानी के सिद्धांत

UAV-आधारित सटीक फसल निगरानी रिमोट सेंसिंग के सिद्धांतों पर आधारित होती है, जिसमें उन्नत सेंसरों से युक्त ड्रोन फसल की छत्रिका से परावर्तित प्रकाश का डेटा एकत्र करते हैं। विभिन्न फसल अवस्थाएँ सूर्य के प्रकाश को अलग–अलग स्पेक्ट्रल बैंड में भिन्न रूप से परावर्तित और अवशोषित करती हैं। इस एकत्रित डेटा को विशेष सॉफ्टवेयर की सहायता से संसाधित कर उच्च-रिज़ॉल्यूशन मानचित्र और वनस्पति सूचकांक तैयार किए जाते हैं। ये मानचित्र फसल स्वास्थ्य, वृद्धि और तनाव में स्थानिक भिन्नता को स्पष्ट रूप से दर्शाते हैं। यह विधि समय पर, स्थल-विशिष्ट निर्णय लेने में सहायता करती है तथा सटीक आदान प्रबंधन को बढ़ावा देती है।

3.2 फसल निगरानी में प्रयुक्त सेंसर

फसल निगरानी के उद्देश्य के अनुसार UAVs पर विभिन्न प्रकार के सेंसर लगाए जाते हैं। **RGB कैमरे** उच्च-रिज़ॉल्यूशन दृश्य चित्र प्रदान करते हैं, जिनका उपयोग पौध संख्या आकलन, वृद्धि अवस्था निर्धारण और दृश्य निरीक्षण के लिए किया जाता है। **मल्टीस्पेक्ट्रल सेंसर** चयनित स्पेक्ट्रल बैंड में परावर्तन को रिकॉर्ड करते हैं, जिससे NDVI और SAVI जैसे वनस्पति सूचकांकों की गणना कर फसल की सजीवता और पोषक स्थिति का आकलन किया जाता है। **थर्मल सेंसर** छत्रिका का तापमान मापते हैं, जिससे फसल में जल-तनाव और सिंचाई की आवश्यकता का पता चलता है। **हाइपरस्पेक्ट्रल सेंसर**, जो सैकड़ों संकीर्ण स्पेक्ट्रल बैंड रिकॉर्ड करते हैं, फसल तनाव, रोगों और शारीरिक परिवर्तनों की प्रारंभिक अवस्था में विस्तृत पहचान संभव बनाते हैं।

3.3 फसल निगरानी में UAVs के अनुप्रयोग

UAVs का उपयोग फसल स्वास्थ्य मूल्यांकन, कीट एवं रोगों की प्रारंभिक पहचान, पोषक तत्वों की कमी का निदान, सिंचाई समय-सारणी निर्धारण, उपज अनुमान तथा खरपतवार पहचान और मानचित्रण में व्यापक रूप से किया जाता है।

3.4 ड्रोन निगरानी में वनस्पति सूचकांक

ड्रोन डेटा से प्राप्त NDVI, EVI और GNDVI जैसे वनस्पति सूचकांक सामान्यतः उपयोग किए जाते हैं। ये सूचकांक पौधों की सजीवता, जैवभार और समग्र फसल प्रदर्शन को मापने में सहायक होते हैं तथा सटीक कृषि पद्धतियों को प्रभावी समर्थन प्रदान करते हैं।

Source: https://www.cmv360.com

4. सटीक फसल छिड़काव में UAVs का अनुप्रयोग

4.1 ड्रोनआधारित छिड़काव - की अवधारणा

ड्रोन-आधारित छिड़काव का अर्थ है UAVs में लगी सटीक छिड़काव प्रणालियों की सहायता से कीटनाशक, उर्वरक, शाकनाशी और जैव-आदानों का हवाई अनुप्रयोग। यह तकनीक वास्तविक समय में फसल स्वास्थ्य डेटा, GPS स्थिति निर्धारण और स्वचालित उड़ान नियंत्रण के एकीकरण द्वारा स्थल-विशिष्ट तथा परिवर्ती दर पर आदानों के उपयोग को संभव बनाती है। परिणामस्वरूप, आदानों का प्रयोग केवल आवश्यकता वाले क्षेत्रों में किया जाता है, जिससे दक्षता बढ़ती है और टिकाऊ कृषि को प्रोत्साहन मिलता है।

4.2 स्प्रे ड्रोन के घटक

स्प्रे ड्रोन में सामान्यतः 5 से 30 लीटर क्षमता की रसायन टंकी, समान बूंद वितरण के लिए उच्च दक्षता वाले नोज़ल और पंप, तथा रसायन प्रवाह को नियंत्रित करने हेतु फ्लो रेट कंट्रोलर शामिल होते हैं। सटीक नेविगेशन और समान छिड़काव ऊँचाई बनाए रखने के लिए GPS और ऊँचाई सेंसर लगाए जाते हैं, जबकि बाधा पहचान और बचाव प्रणालियाँ संचालन की सुरक्षा को बढ़ाती हैं।

4.3 छिड़काव कार्यों के प्रकार

UAVs का उपयोग कीटनाशक एवं कीट-नाशक छिड़काव, शाकनाशी अनुप्रयोग, फफूंदनाशी छिड़काव, पर्णीय पोषक तत्वों के प्रयोग तथा जैव-कीटनाशक या सूक्ष्मजीवी छिड़काव के लिए किया जाता है, जिससे समय पर फसल सुरक्षा और पोषण सुनिश्चित होता है।

4.4 ड्रोन छिड़काव के लाभ

ड्रोन छिड़काव समान और सटीक अनुप्रयोग प्रदान करता है, रसायनों के उपयोग को लगभग 20–40% तक कम करता है, पारंपरिक विधियों की तुलना में तेज़ी से खेत कवरेज संभव बनाता है, किसानों

के विषैले रसायनों के संपर्क को न्यूनतम करता है तथा ऊँची फसलों और जलभराव वाले खेतों में विशेष रूप से उपयोगी सिद्ध होता है।

5. UAVs का सटीक कृषि प्रौद्योगिकियों के साथ एकीकरण

UAVs कृषि में तब सबसे अधिक लाभकारी होते हैं जब उन्हें उन्नत सटीक कृषि प्रौद्योगिकियों के साथ एकीकृत किया जाता है। **ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम** और **भौगोलिक सूचना प्रणाली (GIS)** तकनीकें खेतों का सटीक भू-संकेतित मानचित्रण करने में मदद करती हैं, जिससे फसल की स्थानिक विविधता का विश्लेषण और निगरानी एवं छिड़काव कार्यों के दौरान सटीक नेविगेशन संभव होता है।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता बड़ी मात्रा में ड्रोन-जनित छवियों को संसाधित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है, जिससे फसल तनाव, पोषक तत्वों की कमी, खरपतवार प्रकोप और रोग लक्षणों की स्वचालित पहचान होती है, और समय पर निर्णय लेने में सहायता मिलती है। **मशीन लर्निंग** एल्गोरिदम UAV अनुप्रयोगों को और बेहतर बनाते हैं, क्योंकि ये ऐतिहासिक डेटा, मौसम पैटर्न और फसल स्थितियों के आधार पर कीट और रोग प्रकोप की भविष्यवाणी कर सकते हैं।

इंटरनेट ऑफ़ थिंग्स (IoT) के साथ एकीकरण ड्रोन डेटा को भूमिगत सेंसरों से जोड़कर मिट्टी में नमी, तापमान और फसल वृद्धि की वास्तविक समय निगरानी संभव बनाता है। साथ ही, **वेरिएबल रेट टेक्नोलॉजी (VRT)** आदानों जैसे उर्वरक और कीटनाशकों का स्थल-विशिष्ट उपयोग सुनिश्चित करती है। यह एकीकृत दृष्टिकोण डेटा-आधारित, सटीक और टिकाऊ कृषि प्रबंधन को बढ़ावा देता है।

6. सटीक कृषि में UAVs के लाभ

सटीक कृषि में UAVs को अपनाने से फसल प्रबंधन की दक्षता, कृषि लाभप्रदता और पर्यावरणीय स्थिरता में कई लाभ प्राप्त होते हैं।

6.1 कृषि संबंधी लाभ

UAVs फसल की वृद्धि और स्वास्थ्य की सटीक निगरानी करके फसल उत्पादकता में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। पोषक तत्वों की कमी, कीट प्रकोप, रोग और जल-तनाव जैसी तनाव कारकों का समय पर और प्रारंभिक पता किसानों को उचित समय पर सुधारात्मक कदम उठाने में सक्षम बनाता है। इसके अतिरिक्त, UAV-आधारित निगरानी लक्षित और स्थल-विशिष्ट आदानों के उपयोग में मदद करती है, जिससे पोषण और कीट प्रबंधन अधिक प्रभावी होता है और फसल प्रदर्शन तथा उपज स्थिरता में सुधार आता है।

6.2 आर्थिक लाभ

आर्थिक दृष्टिकोण से, UAVs पारंपरिक फील्ड स्काउटिंग और छिड़काव विधियों से जुड़ी श्रम आवश्यकता और संचालन लागत को कम करने में मदद करते हैं। कृषि रसायनों का सटीक अनुप्रयोग अपव्यय को घटाकर इनपुट खर्च को कम करता है। लागत में कमी और उपज में वृद्धि का संयोजन किसानों के लिए लाभप्रदता बढ़ाता है और निवेश पर बेहतर प्रतिफल सुनिश्चित करता है।

6.3 पर्यावरणीय लाभ

UAV प्रौद्योगिकी रसायन अपव्यय, छिड़काव की बिखराव और अत्यधिक इनपुट उपयोग को कम करके पर्यावरणीय रूप से टिकाऊ खेती को प्रोत्साहित करती है। संसाधनों का अनुकूलित उपयोग खेती के कुल कार्बन पदचिह्न को घटाता है और दीर्घकालिक स्थिरता के लिए पर्यावरण-मैत्रीपूर्ण कृषि पद्धतियों का समर्थन करता है।

7. सीमाएँ और चुनौतियाँ

महत्वपूर्ण लाभों के बावजूद, कृषि में UAVs को अपनाने में कई सीमाएँ और चुनौतियाँ हैं। प्रमुख बाधाओं में से एक है ड्रोन, सेंसर और सहायक सॉफ्टवेयर की उच्च प्रारंभिक निवेश लागत, जो छोटे और सीमांत किसानों के लिए अपनाना कठिन बना सकती है। UAVs की उड़ान समय और पेलोड क्षमता सीमित होती है, जिससे उनके कवरेज क्षेत्र और छिड़काव दक्षता पर प्रभाव पड़ता है।

नियामक प्रतिबंध, लाइसेंसिंग आवश्यकताएँ और वायुमंडलीय नियम बड़े पैमाने पर उपयोग को और जटिल बना देते हैं। इसके अतिरिक्त, UAVs का संचालन सुरक्षित उड़ान और सटीक डेटा व्याख्या के लिए कुशल और प्रशिक्षित कर्मियों की आवश्यकता करता है। ड्रोन द्वारा उत्पन्न बड़े डेटा सेट का प्रसंस्करण और विश्लेषण जटिल और समय-साध्य हो सकता है। इसके अलावा, UAV संचालन मौसम पर अत्यधिक निर्भर होता है, क्योंकि तेज़ हवा, वर्षा और धुंध उड़ान की स्थिरता और डेटा गुणवत्ता को प्रभावित कर सकते हैं।

8. सुरक्षा, नियमावली और नैतिक विचार

कृषि में UAVs का सुरक्षित और प्रभावी उपयोग राष्ट्रीय विमानन और ड्रोन संचालन नियमों का कड़ाई से पालन करने पर निर्भर करता है। अनिवार्य ड्रोन पंजीकरण UAVs की सही पहचान और जवाबदेही सुनिश्चित करता है। पायलट प्रशिक्षण और प्रमाणन सुरक्षित उड़ान संचालन, सटीक नेविगेशन और मानक संचालन प्रक्रियाओं के पालन के लिए आवश्यक हैं। ऑपरेटरों को प्रतिबंधित और नो-फ्लाई ज़ोन का सम्मान करना चाहिए, विशेषकर आवासीय क्षेत्रों, हवाई अड्डों और संवेदनशील स्थलों के पास। छिड़काव कार्यों के दौरान सुरक्षित रसायन संचालन, सही मात्रा और उचित नोज़ल चयन महत्वपूर्ण हैं ताकि छिड़काव का फैलाव, पर्यावरणीय प्रदूषण और स्वास्थ्य जोखिम कम हो।

सुरक्षा और नियमों के अलावा, **नैतिक विचार** भी महत्वपूर्ण हैं। UAV-आधारित डेटा संग्रह से गोपनीयता, डेटा स्वामित्व और डेटा सुरक्षा से संबंधित चिंताएँ उत्पन्न हो सकती हैं। जिम्मेदार डेटा उपयोग, सूचित सहमति और सुरक्षित डेटा भंडारण सुनिश्चित करना आवश्यक है, ताकि विश्वास बनाया जा सके और कृषि में UAV तकनीक के टिकाऊ अपनाने को बढ़ावा मिले।

9. कृषि में UAVs का भविष्य

कृषि में UAVs का भविष्य अत्यंत उज्ज्वल है, जो तेज़ तकनीकी प्रगति और टिकाऊ खेती के समाधान की बढ़ती मांग से प्रेरित है। पूर्ण स्वायत्त ड्रोन स्वार्म्स का विकास बड़े क्षेत्रों की निगरानी और प्रबंधन को न्यूनतम मानवीय हस्तक्षेप के साथ संभव बनाएगा। AI-आधारित वास्तविक समय रोग और कीट निदान किसानों को त्वरित और सटीक सुझाव प्रदान करके निर्णय लेने की क्षमता को और बढ़ाएगा। UAVs का सैटेलाइट इमेजरी और ग्राउंड-बेस्ड सेंसरों के साथ एकीकरण बहु-स्तरीय, व्यापक फसल निगरानी प्रणाली का निर्माण करेगा।

इसके अतिरिक्त, कम लागत वाले, किसान-मित्र ड्रोन का विकास छोटे और सीमांत किसानों के लिए पहुँच और उपयोग को बढ़ाएगा। ड्रोन-एज़-ए-सर्विस मॉडल का विस्तार स्वामित्व लागत को कम करेगा और व्यापक अपनाने को प्रोत्साहित करेगा। ये सभी नवाचार UAV तकनीक की दक्षता, किफायतीपन और आधुनिक कृषि में प्रभाव को बढ़ाने में सहायक होंगे।

निष्कर्ष

UAVs सटीक कृषि में एक क्रांतिकारी तकनीक के रूप में उभरे हैं, जो फसल निगरानी और छिड़काव के लिए कुशल समाधान प्रदान करते हैं। उच्च-रिज़ॉल्यूशन डेटा प्रदान करने, लक्षित इनपुट अनुप्रयोग सक्षम करने और पर्यावरणीय प्रभाव को कम करने की क्षमता इन्हें टिकाऊ खेती के लिए एक मूल्यवान उपकरण बनाती है। यद्यपि लागत, नियमावली और तकनीकी विशेषज्ञता से जुड़ी चुनौतियाँ अभी भी मौजूद हैं, निरंतर तकनीकी प्रगति और सहायक नीतियाँ उनके अपनाने की गति को तेज़ करने की संभावना रखती हैं। डिजिटल कृषि प्लेटफॉर्म के साथ UAVs का एकीकरण भविष्य में खाद्य सुरक्षा, पर्यावरणीय स्थिरता और किसानों की आय में सुधार सुनिश्चित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगा।