



एग्री मैगज़ीन

(कृषि लेखों के लिए अंतरराष्ट्रीय ई-पत्रिका)

वर्ष: 03, अंक: 05 (मई, 2026)

www.agrimagazine.in पर ऑनलाइन उपलब्ध

© एग्री मैगज़ीन, आई. एस. एन.: 3048-8656

पादप रोग निदान के लिए डीप लर्निंग के अनुप्रयोग

*अक्षय धीरज, मधु, सपना निगम एवं मो. अशराफुल हक

भा. कृ.अनु. प. - भारतीय कृषि सांख्यिकी अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली, भारत

*संवादी लेखक का ईमेल पता: akshay.dheeraj@icar.org.in

कृषि वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने तथा आर्थिक विकास को बढ़ावा देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। हालांकि, पादप रोग फसलों की उपज और गुणवत्ता पर गंभीर नकारात्मक प्रभाव डालते हैं, जिससे प्रत्येक वर्ष भारी आर्थिक हानि होती है। फसलों के प्रभावी प्रबंधन और टिकाऊ कृषि के लिए पौधों के रोगों की प्रारंभिक एवं सटीक पहचान अत्यंत आवश्यक है। परंपरागत रूप से रोगों की पहचान किसानों या कृषि विशेषज्ञों द्वारा दृश्य निरीक्षण के माध्यम से की जाती रही है। चूंकि अनेक रोगों के लक्षण एक-दूसरे से मिलते-जुलते होते हैं, इसलिए यह प्रक्रिया समय लेने वाली, श्रमसाध्य तथा कई बार कम सटीक होती है। हाल के वर्षों में कृत्रिम बुद्धिमत्ता, विशेष रूप से डीप लर्निंग, ने कृषि प्रौद्योगिकी में क्रांतिकारी परिवर्तन किए हैं। डीप लर्निंग की सहायता से पौधों की छवियों का स्वचालित विश्लेषण किया जा सकता है, जिससे रोगों की अत्यधिक सटीक पहचान संभव हो पाती है। पत्तियों पर धब्बे, रंग परिवर्तन तथा बनावट में बदलाव जैसे लक्षणों का विश्लेषण करके डीप लर्निंग मॉडल किसानों को प्रारंभिक अवस्था में ही रोगों की पहचान करने में सहायता करते हैं। वर्तमान समय में डीप लर्निंग आधारित अनुप्रयोगों का उपयोग स्मार्ट खेती, मोबाइल तकनीक, ड्रोन तथा ग्रीनहाउस निगरानी प्रणालियों में व्यापक रूप से किया जा रहा है। ये तकनीकें सटीक कृषि को बढ़ावा देती हैं, उत्पादकता में वृद्धि करती हैं, कीटनाशकों के उपयोग को कम करती हैं तथा टिकाऊ कृषि को प्रोत्साहित करती हैं।

डीप लर्निंग

डीप लर्निंग, मशीन लर्निंग की एक उन्नत शाखा है, जो डेटा में पैटर्न पहचानने के लिए बहु-स्तरीय कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क का उपयोग करती है। पारंपरिक मशीन लर्निंग तकनीकों के विपरीत, डीप लर्निंग में मैनुअल फीचर इंजीनियरिंग की आवश्यकता नहीं होती, क्योंकि यह कच्ची छवियों से महत्वपूर्ण विशेषताओं को स्वतः निकाल लेती है। पौध रोग निदान के लिए डीप लर्निंग मॉडलों को हजारों पौधों की छवियों पर प्रशिक्षित किया जाता है। ये मॉडल रोगों से संबंधित विभिन्न पैटर्नों की पहचान करते हैं, जैसे पत्तियों का रंग बदलना, मुरझाना, धब्बे और घाव, बनावट में असामान्यता। छवि विश्लेषण के क्षेत्र में कॉन्वोल्यूशनल न्यूरल नेटवर्क (सीएनएन) सबसे अधिक उपयोग की जाने वाली डीप लर्निंग तकनीकों में से एक है। ये मॉडल पौधों की छवियों का विश्लेषण करके रोगों की सटीक पहचान करने में अत्यंत प्रभावी सिद्ध हुए हैं।

पौधों में रोग निदान का महत्व

तेजी से फैलने वाले पौध रोग कृषि उत्पादन में भारी कमी का कारण बन सकते हैं। रोगों की सटीक पहचान किसानों को कई प्रकार से सहायता प्रदान करती है, जैसे क्रमण का प्रारंभिक अवस्था में पता लगाना, रोग के प्रसार को रोकना, उचित उपचार लागू करना, कीटनाशकों के उपयोग को कम करना, फसल की गुणवत्ता एवं उत्पादन में सुधार करना तथा आर्थिक हानि को कम करना। पारंपरिक प्रयोगशाला परीक्षण प्रायः महंगे होते हैं और ग्रामीण क्षेत्रों में आसानी से उपलब्ध नहीं होते हैं। इसके विपरीत, डीप लर्निंग आधारित स्वचालित रोग पहचान प्रणालियाँ तेज, सटीक और लागत प्रभावी समाधान प्रदान करती हैं, जिससे किसानों को समय पर निर्णय लेने में सहायता मिलती है।

पौध रोग निदान के लिए डीप लर्निंग तकनीकें

1. कॉन्वोल्यूशनल न्यूरल नेटवर्क (सीएनएन)

सीएनएन अधिकांश पौध रोग निदान प्रणालियों की मुख्य आधारशिला है। ये नेटवर्क कॉन्वोल्यूशन और पूलिंग प्रक्रियाओं के माध्यम से छवियों से महत्वपूर्ण विशेषताओं को स्वतः सीखते हैं। लोकप्रिय सीएनएन आर्किटेक्चर निम्नलिखित हैं जैसे इन्स्पेक्शनरेसनेटवी2, एफिशिएंटनेट, वीजीजीनेट, रेसनेट50, डेंसेनेट, मोबाइलनेट। एफिशिएंटनेट मॉडल व्यापक रूप से उपयोग

किए जाते हैं क्योंकि वे कम संगणनात्मक लागत में उच्च सटीकता प्रदान करते हैं। दूसरी ओर, मोबाइलनेट अपनी हल्की संरचना के कारण मोबाइल अनुप्रयोगों के लिए अधिक उपयुक्त माना जाता है।

2. ट्रांसफर लर्निंग

ट्रांसफर लर्निंग एक ऐसी तकनीक है जिसमें पहले से प्रशिक्षित डीप लर्निंग मॉडलों का उपयोग नए कार्यों के लिए किया जाता है। मॉडल को प्रारंभ से प्रशिक्षित करने के बजाय, शोधकर्ता उन मॉडलों को अपनाते हैं जो पहले से बड़े डेटासेट, जैसे कि इमेजनेट, पर प्रशिक्षित किए जा चुके होते हैं। ट्रांसफर लर्निंग के प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं जैसे तेज़ प्रशिक्षण प्रक्रिया, कम डेटा की आवश्यकता, अधिक सटीकता, कम संगणनात्मक लागत। कृषि क्षेत्र में ट्रांसफर लर्निंग विशेष रूप से उपयोगी है क्योंकि पौध रोगों से संबंधित डेटासेट अक्सर सीमित मात्रा में उपलब्ध होते हैं। ऐसे में पहले से प्रशिक्षित मॉडल बेहतर परिणाम प्रदान करने में सहायक सिद्ध होते हैं।

3. ऑब्जेक्ट डिटेक्शन मॉडल्स

ऑब्जेक्ट डिटेक्शन मॉडल्स पौधों की छवियों में रोगग्रस्त भागों की पहचान और उनके स्थान का पता लगाने का कार्य करते हैं। ये मॉडल यह निर्धारित करते हैं कि छवि के किस भाग में रोग मौजूद है। कुछ प्रमुख ऑब्जेक्ट डिटेक्शन मॉडल्स निम्नलिखित हैं जैसे योलो (YOLO: You Only Look Once), फ़ास्टर आरसीएनएन, असअसडी (SSD: Single Shot Detector)। ये तकनीकें ड्रोन या स्मार्टफोन द्वारा ली गई खेतों की छवियों में कई रोगग्रस्त पत्तियों या फलों की पहचान करने में सहायक होती हैं। इस प्रकार के मॉडल वास्तविक समय में रोगों की पहचान करने में प्रभावी हैं और सटीक कृषि में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

4. सिमेंटीक सेगमेंटेशन

सिमेंटीक सेगमेंटेशन एक ऐसी तकनीक है जिसमें किसी छवि को विभिन्न भागों में विभाजित किया जाता है तथा प्रत्येक पिक्सेल को एक विशेष लेबल प्रदान किया जाता है। इस प्रक्रिया के माध्यम से रोगग्रस्त और स्वस्थ पौध भागों को अलग-अलग पहचानना संभव हो पाता है। कुछ प्रमुख सेगमेंटेशन मॉडल निम्नलिखित हैं जैसे यूनेट, डीपलैब, मास्कआरसीएनएन ये तकनीकें पौधों के प्रभावित क्षेत्रों को स्वस्थ भागों से अलग पहचानने में सहायता करती हैं, जिससे रोग की गंभीरता का अधिक सटीक आकलन किया जा सकता है।

पौध रोग निदान में डीप लर्निंग के अनुप्रयोग

1. पत्ती रोग वर्गीकरण

कृषि क्षेत्र में डीप लर्निंग का सबसे अधिक उपयोग पत्तियों की छवियों के वर्गीकरण में किया जाता है। डीप लर्निंग मॉडल पत्तियों पर दिखाई देने वाले लक्षणों का विश्लेषण करके फसलों के रोगों की पहचान करते हैं। प्लांटविल्लेज जैसे डेटासेट ने इस क्षेत्र के अनुसंधान को काफी बढ़ावा दिया है, क्योंकि ये बड़ी संख्या में लेबल युक्त पौध रोग छवियाँ उपलब्ध कराते हैं।

2. मोबाइल आधारित रोग पहचान

स्मार्टफोन अनुप्रयोगों की सहायता से किसान पौधों की तस्वीरें लेकर तुरंत रोग की पहचान प्राप्त कर सकते हैं। डीप लर्निंग आधारित ये मोबाइल प्रणालियाँ तेज़ और उपयोग में आसान होती हैं। मोबाइल अनुप्रयोगों के लिए मोबाइलनेट जैसे हल्के मॉडल व्यापक रूप से उपयोग किए जाते हैं, क्योंकि वे कम संसाधनों में भी प्रभावी परिणाम प्रदान करते हैं।

3. ड्रोन एवं यूएवी आधारित निगरानी

कैमरों से युक्त ड्रोन बड़े कृषि क्षेत्रों की छवियाँ लेने में सक्षम होते हैं। इन छवियों का विश्लेषण डीप लर्निंग एल्गोरिदम द्वारा किया जाता है ताकि रोगों के प्रकोप की पहचान की जा सके। ड्रोन आधारित निगरानी सटीक कृषि के लिए अत्यंत लाभकारी सिद्ध हो रही है।

इस तकनीक के प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं -

- बड़े क्षेत्र की निगरानी
- खेतों का त्वरित निरीक्षण
- श्रम की आवश्यकता में कमी
- रोगों की शीघ्र पहचान

4. ग्रीनहाउस निगरानी प्रणालियाँ

ग्रीनहाउस वातावरण में कैमरों की सहायता से फसलों के स्वास्थ्य की निरंतर निगरानी की जाती है। डीप लर्निंग आधारित प्रणालियाँ स्वतः रोग के लक्षणों की पहचान करती हैं तथा समय पर हस्तक्षेप के लिए अलर्ट जारी करती हैं। इन प्रणालियों की सतत निगरानी के कारण उत्पादकता में वृद्धि होती है तथा फसल हानि को कम करने में सहायता मिलती है।

5. रोग की गंभीरता का आंकलन

डीप लर्निंग मॉडल संक्रमित पत्तियों या फलों के प्रभावित क्षेत्र के आकार को मापकर पौध रोगों की गंभीरता का आंकलन कर सकते हैं।

रोग की गंभीरता का आंकलन किसानों को निम्नलिखित बातों को समझने में सहायता करता है—

- संक्रमण का स्तर
- उपयुक्त उपचार रणनीतियाँ
- संभावित आर्थिक हानि

यह कार्य सामान्यतः सेगमेंटेशन तकनीकों की सहायता से किया जाता है।

पौध रोग निदान में डीप लर्निंग के लाभ

डीप लर्निंग मॉडल्स की वर्गीकरण सटीकता सामान्यतः बहुत अधिक होती है, जो पारंपरिक मशीन लर्निंग तकनीकों से भी बेहतर मानी जाती है। स्वचालित रोग निदान के कारण मैन्युअल निरीक्षण तथा कृषि विशेषज्ञों पर निर्भरता कम हो जाती है। डीप लर्निंग तकनीकों द्वारा छवियों का विश्लेषण तेज़ी से किया जाता है, जिससे शीघ्र परिणाम प्राप्त होते हैं। रोगों की सटीक पहचान के माध्यम से कीटनाशकों का उपयोग केवल आवश्यक क्षेत्रों में किया जा सकता है, जिससे पर्यावरण प्रदूषण और कृषि लागत दोनों में कमी आती है। इसके अतिरिक्त, ये प्रणालियाँ किसानों को डेटा आधारित निर्णय लेने तथा कृषि पद्धतियों में सुधार करने में सहायता प्रदान करती हैं।

चुनौतियाँ एवं सीमाएं

महत्वपूर्ण प्रगति के बावजूद, अभी भी कई चुनौतियाँ मौजूद हैं। पौध रोगों से संबंधित डेटासेट अक्सर सीमित और कम विविधता वाले होते हैं, जिससे मॉडलों की सामान्यीकरण क्षमता प्रभावित होती है। खेतों में ली गई छवियों में छाया, असमान प्रकाश व्यवस्था तथा पृष्ठभूमि शोर समस्याएँ मॉडल की सटीकता को कम कर सकती हैं। इसके अतिरिक्त, विभिन्न रोगों के दृश्य लक्षण कई बार एक-दूसरे से मिलते-जुलते होते हैं, जिससे रोग वर्गीकरण कठिन हो जाता है। डीप लर्निंग मॉडलों के प्रशिक्षण के लिए शक्तिशाली जीपीयू तथा उच्च संगणनात्मक क्षमता की आवश्यकता होती है। साथ ही, इन मॉडलों की निर्णय लेने की प्रक्रिया को समझना कठिन होता है, जिसके कारण इन्हें अक्सर “ब्लैक बॉक्स” कहा जाता है।

हाल की प्रगति

वैज्ञानिक पौध रोग पहचान प्रणालियों को बेहतर बनाने के लिए नई तकनीकों का विकास कर रहे हैं। विजन ट्रांसफ़ोर्मर छवि वर्गीकरण के क्षेत्र में सीएनएन के एक शक्तिशाली विकल्प के रूप में उभर रहे हैं। जीएनएन (Generative Adversarial Networks) तथा अन्य जनरेटिव मॉडल कृत्रिम पौध रोग छवियाँ तैयार करते हैं, जिससे डेटासेट का विस्तार होता है और मॉडल प्रशिक्षण में सुधार आता है। एक्सप्लेनबल कृत्रिम बुद्धिमत्ता तकनीकें मॉडल के निर्णयों को दृश्य रूप में प्रस्तुत करती हैं, जिससे कृत्रिम बुद्धिमत्ता प्रणालियों पर विश्वास बढ़ता है। इसके अतिरिक्त, एज कम्प्यूटिंग की सहायता से अब मोबाइल उपकरणों पर ही रोगों की पहचान संभव हो गई है, जिससे क्लाउड पर निर्भरता कम हो जाती है।

भविष्य की संभावनाएँ

डीप लर्निंग की प्रगति से कृषि क्षेत्र को भविष्य में अत्यधिक लाभ मिलने की संभावना है। संभावित विकास निम्नलिखित हैं—

- आइओटी उपकरणों के साथ एकीकरण
- स्वायत्त कृषि रोबोट
- उन्नत मोबाइल निदान उपकरण
- वास्तविक समय में फसल स्वास्थ्य निगरानी
- क्लाउड आधारित स्मार्ट कृषि समाधान
- दृश्य लक्षण प्रकट होने से पहले रोगों की भविष्यवाणी

ये तकनीकें कृषि उत्पादकता और टिकाऊ कृषि को और अधिक मजबूत बनाएंगी।

निष्कर्ष

डीप लर्निंग ने आधुनिक कृषि के लिए सटीक, स्वचालित और प्रभावी समाधान प्रदान करके पौध रोग निदान के क्षेत्र में क्रांतिकारी परिवर्तन किया है। सीएनएन, ट्रांसफ़र लर्निंग, ऑब्जेक्ट डिटेक्शन तथा सिमेंटीक सेगमेंटेशन जैसी तकनीकों ने पौधों की छवियों से रोग पहचान की क्षमता को काफी बेहतर बनाया है। स्मार्टफोन आधारित रोग पहचान, ड्रोन निगरानी तथा ग्रीनहाउस सर्विलांस जैसी अनुप्रयोग प्रणालियाँ किसानों को रोगों की प्रारंभिक अवस्था में पहचान करने, फसल हानि कम करने तथा उत्पादकता बढ़ाने

में सहायता प्रदान करती हैं। डीप लर्निंग आधारित प्रणालियाँ कीटनाशकों के उपयोग को कम करके तथा टिकाऊ कृषि पद्धतियों को बढ़ावा देकर सटीक कृषि को भी समर्थन देती हैं। हालाँकि सीमित डेटासेट और जटिल खेत परिस्थितियों जैसी चुनौतियाँ अभी भी मौजूद हैं, फिर भी निरंतर अनुसंधान डीप लर्निंग मॉडलों की कार्यक्षमता और विश्वसनीयता को बेहतर बना रहा है। विजन ट्रांसफ़ॉर्मर, एक्सप्लेनबल कृत्रिम बुद्धिमत्ता तथा एज एआई जैसी उभरती तकनीकों से भविष्य में बुद्धिमान कृषि प्रणालियों को और अधिक उन्नत बनाने की संभावना है। जैसे-जैसे वैश्विक खाद्य मांग बढ़ती जा रही है, डीप लर्निंग खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने तथा अधिक स्मार्ट और टिकाऊ कृषि प्रणालियों के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी।