

खाद्य फसल कृषि में कृत्रिम बुद्धिमत्ता का उपयोग

अधिवक्ता किम क्यांग-जिन

यह पुस्तक कृत्रिम बुद्धिमत्ता की सहायता से व्यवस्थित और तैयार की गई है।
विश्व की प्रमुख भाषाओं में उपलब्ध सामग्री को एकत्र कर संकलित किया गया है।

<https://notebook.google.com/notebook/96fac57b-0c9e-495f-a778-dcd3daec88db>

ऊपर दिया गया लिंक पुस्तक तैयार करते समय संदर्भित सामग्री को संग्रहीत करने वाला सार्वजनिक NotebookLM खोलता है। NotebookLM स्रोत की भाषा के आधार पर प्रश्नों की भाषा सीमित नहीं करता। सेटिंग्स में इच्छित आउटपुट भाषा चुनकर उसी भाषा में प्रश्न, उत्तर और तैयार सामग्री प्राप्त की जा सकती है।

विषय-सूची

अध्याय 1	डिजिटल कृषि अवसंरचना और एआई प्लेटफ़ॉर्म
1.1	डिजिटल सार्वजनिक अवसंरचना (DPI) और कृषि के लिए एआई प्लेटफ़ॉर्म
1.2	IoT सेंसर और एज एआई निगरानी
1.3	डेटा गवर्नेंस और संसाधन प्रबंधन
अध्याय 2	सटीक कृषि में फसल निगरानी और छवि निदान
2.1	ड्रोन (UAV) और उपग्रह रिमोट सेंसिंग विश्लेषण
2.2	कंप्यूटर विजन और वृद्धि फीनोटाइप (फीनोमिक्स) विश्लेषण
2.3	कीटों और खरपतवारों का गहन शिक्षण-आधारित प्रारंभिक निदान
अध्याय 3	वृद्धि पूर्वानुमान और संसाधन अनुकूलन
3.1	मशीन लर्निंग और डीप लर्निंग उपज पूर्वानुमान मॉडल
3.2	सटीक सिंचाई और परिवर्ती दर उर्वरीकरण (VRA) नियंत्रण
3.3	फसल विकास चरण (DVS/DVI) पूर्वानुमान अनुकरण

विषय-सूची (जारी)

अध्याय 4	जीनोमिक्स और एआई आणविक प्रजनन
4.1	फसल जीनोम बिग डेटा और पैन-जीनोम (Pan-genome) का निर्माण
4.2	जीन संपादन (CRISPR) और सटीक प्रजनन
4.3	जलवायु परिवर्तन के अनुकूल सहनशील किस्मों का विकास
अध्याय 5	एआई निर्णय-निर्माण और स्वचालन
5.1	कृषि-विशिष्ट बहुमाध्यमी विशाल भाषा मॉडल (Agri-LLM)
5.2	कृषि रोबोटिकी और कार्य स्वचालन
5.3	छोटे किसानों के अनुरूप एआई उपकरणों का उपयोग
अध्याय 6	जलवायु-स्मार्ट कृषि और टिकाऊ पारिस्थितिकी तंत्र
6.1	जलवायु-स्मार्ट कृषि (CSA) और मृदा पारिस्थितिकी तंत्र प्रबंधन
6.2	खेतों का ESG प्रबंधन और स्थानीय समुदाय से जुड़ाव
6.3	वैश्विक खाद्य सुरक्षा और कृषि डिजिटल परिवर्तन का भविष्य

अध्याय 1

डिजिटल कृषि अवसंरचना और एआई प्लेटफॉर्म

1.1

डिजिटल सार्वजनिक अवसंरचना (DPI) और कृषि के लिए एआई प्लेटफ़ॉर्म

दक्षिण जिओला प्रांत के मुआन काउंटी में हेजे-म्योन के खेत अभी खरपतवार से ढकी खाली भूमि हैं। कुछ वर्षों में इस 21.6 हेक्टेयर जमीन पर कांच के ग्रीनहाउस और एक बड़ा छंटाई केंद्र खड़ा होगा। अप्रैल 2026 में कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों के मंत्रालय ने राष्ट्रीय कृषि एएक्स प्लेटफ़ॉर्म परियोजना के लिए दक्षिण जिओला कंसोर्टियम को पसंदीदा वार्ताकार चुना। परियोजना की लागत 254.6 अरब वॉन है।

किसानों की संख्या घट रही है और जो बचे हैं उनकी उम्र बढ़ रही है। मौसम हर साल अधिक तेजी से झूल रहा है। सूखा और मूसलाधार बारिश अब अनजाने समय पर आते हैं, इसलिए केवल हाथ से मिट्टी छूने के अनुभव के भरोसे यह तय करना कठिन हो गया है कि सिंचाई कब की जाए और फसल कब काटी जाए। कई देशों की सरकारें लगभग एक ही समय पर एक ही निष्कर्ष पर पहुंचीं। कोई एक खेत या अकेली कंपनी इस बदलाव का सामना नहीं कर सकती, इसलिए राज्य को पहले वह आधार बनाना होगा जिस पर डेटा का आदान-प्रदान हो सके।

ग्रीनहाउस पूरे हो जाने पर इस जगह से केवल सलाद पत्ता और टमाटर नहीं निकलेंगे। ग्रीनहाउस की छतों पर लगे सेंसर, उपग्रह और किसानों के मोबाइल फोन लगातार डेटा का आदान-प्रदान करेंगे। सरकार पहले से जो आधार बनाती है ताकि यह डेटा जरूरत की जगह तक पहुंचे, उसे डिजिटल सार्वजनिक अवसंरचना, यानी DPI, कहा जाता है। लिफाफे पर पता न हो तो पत्र कितना भी अच्छा हो, प्राप्तकर्ता तक नहीं पहुंच सकता। डिजिटल सार्वजनिक अवसंरचना राज्य द्वारा बनाई गई पता व्यवस्था है। यह पहले से तय नियमों का ऐसा समूह भी है जिसके तहत कई संस्थाओं का डेटा एक समान परंपरा के अनुसार चल सके।

यह व्यवस्था चार परतों में बनी है। सबसे नीचे मिट्टी में लगाए गए सेंसर नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटैशियम और नमी मापते हैं; मौसम केंद्र हवा और बारिश मापते हैं; ड्रोन और उपग्रह धान के खेतों के रंग की तस्वीर लेते हैं। एक मिट्टी सेंसर कभी-कभी एक साथ सात मान माप सकता है: नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटैशियम, नमी, तापमान, अम्लता और विद्युत चालकता। इसलिए खेत में इसे सात-में-एक सेंसर कहा जाता है। यूरोपीय अंतरिक्ष एजेंसी के Sentinel या अमेरिका के Landsat उपग्रह की एक तस्वीर में पूरा गांव आ सकता है। दूसरी परत में ये मान LoRaWAN जैसे कम-शक्ति वाले वायरलेस नेटवर्क या पांचवीं पीढ़ी के मोबाइल नेटवर्क से गुजरते हैं।

खेत के पास रखा छोटा कंप्यूटर, जिसे एज गेटवे कहते हैं, शोर हटाता है, इकाइयां मिलाता है और मान साफ करता है। तीसरी परत एकत्र डेटा को जमा करती और उसकी गणना करती है। डेटा लेक नाम के बड़े भंडार में मान इकट्ठे होने के बाद, अनेक निर्णय वृक्षों को जोड़कर बहुमत से उत्तर देने वाले मॉडल और न्यूरल नेटवर्क डेटा पढ़ते हैं, रोग खोजते हैं और उपज की गणना करते हैं। कृषि के लिए बनाए गए बड़े भाषा मॉडल, यानी

LLM, भी यहीं जुड़े रहते हैं। किसान बोलकर सवाल पूछता है तो वे डेटा खोजकर उत्तर बनाते हैं। सबसे ऊपर की परत उन स्क्रीन और उपकरणों की है जिन्हें लोग वास्तव में इस्तेमाल करते हैं।

स्मार्टफोन का ध्वनि सहायक क्षेत्रीय बोली समझता है और सिंचाई वाल्व अपने आप खुलते तथा बंद होते हैं।

इन चार परतों को बनाने से पहले एक दूसरा काम जरूरी है। यह नया सत्र शुरू होने से पहले स्कूल में विद्यार्थियों की सूची बनाने जैसा है। हर किसान को एक विशिष्ट संख्या देनी होगी, वह जिन धान के खेतों और जमीनों पर खेती करता है उन्हें उपग्रह मानचित्र पर ठीक-ठीक दिखाना होगा और वहां लगाई गई फसल का नाम दर्ज करना होगा। किसान रजिस्टर, भूमि मानचित्र और फसल अभिलेख आपस में जुड़ें तभी यह तय किया जा सकता है कि ऊपर की परतों में जमा सेंसर मान और एआई के निर्णय किसके हैं। इन अभिलेखों के बिना सबसे परिष्कृत मॉडल भी किसी खास खेत के अनुरूप सलाह नहीं दे सकता।

डेटा का काम यहीं खत्म नहीं होता। पतझड़ में काटे गए अनाज के वजन को वसंत में मॉडल के अनुमान से मिलाने पर पता चलता है कि भविष्यवाणी कितनी सही थी। अनुमान चूक जाए तो जांच करने वाले पीछे लौटकर कारण खोजते हैं और उस उत्तर को फिर मॉडल में डालते हैं। हर कृषि वर्ष के अंत में मॉडल थोड़ा-थोड़ा दोबारा सीखता है। यह प्रक्रिया रुक जाए तो मॉडल के निर्णय हर गुजरते वर्ष के साथ खेत की वास्तविकता से दूर होते जाते हैं।

डेटा को इन चार परतों में ऊपर-नीचे ले जाने के लिए नियम चाहिए। भारत का डिजिटल व्यक्तिगत डेटा संरक्षण अधिनियम, 2023 चरणों में लागू किया जा रहा है और सहमति, प्रसंस्करण तथा डेटा प्रिंसिपल के अधिकारों से जुड़े इसके मुख्य प्रावधान मई 2027 में प्रभावी होने वाले हैं। इस कानून से अलग, AgriStack सहमति प्रबंधकों पर आधारित डेटा-विनिमय संरचना प्रस्तुत करता है। कानून की धाराओं और प्लेटफॉर्म की संचालन प्रक्रिया को एक नहीं माना जा सकता। डेटा को दूसरे संस्थान भी पढ़ सकें, इसके लिए साझा शब्दावली भी चाहिए।

संयुक्त राष्ट्र के खाद्य और कृषि संगठन द्वारा संचालित AGROVOC एक कृषि कोश है जो चावल और मक्का जैसे शब्दों को अलग-अलग सॉफ्टवेयर प्रणालियों में एक ही अर्थ देता है।

ऐसी अवसंरचना से पहले समुदाय स्थानीय अनुभव और आसमान देखकर तय करते थे कि बीज कब बोना है और पानी कब देना है। भारत अब इस निर्णय में सार्वजनिक डेटा जोड़ रहा है। भारत सरकार के आंकड़ों के अनुसार जुलाई 2026 तक AgriStack ने 101.8 मिलियन Farmer ID जारी किए थे। नवंबर 2025 तक फसल सर्वेक्षण में 235 मिलियन भूखंड शामिल किए जा चुके थे। फरवरी 2026 में शुरू हुए Bharat Vistaar को उस वर्ष जुलाई तक 300,000 से अधिक किसान इस्तेमाल कर चुके थे और उसने 7.2 मिलियन प्रश्नों का उत्तर दिया था। 52.8 मिलियन का आंकड़ा Bharat Vistaar के उपयोगकर्ताओं का नहीं, बल्कि एक अलग एआई आधारित मौसम और मानसून सलाह सेवा से पहुंचे किसानों का है।

Farmer ID, खेत के मानचित्र और परामर्श अभिलेख एक ही स्क्रीन पर दिखाई दें, तब भी अलग कार्यक्रमों के परिणामों को अलग पढ़ना होगा।

केवल आंकड़ों को देखें तो कार्यक्रम सफल लगता है। फिर भी नागरिक समाज समूहों ने अपनी चिंताएं वापस नहीं ली हैं। अगर भारत के प्रत्येक व्यक्ति को जारी जैवमितीय पहचान संख्या Aadhaar को भूमि अभिलेखों और उपग्रह स्थान डेटा के साथ एक जगह जोड़ दिया जाए, तो इस पूरे सूचना-पुंज के लीक होने से होने वाला नुकसान किसी एक अलग डेटा उल्लंघन से बहुत बड़ा होगा।

दक्षिण कोरिया अभी शुरुआत कर रहा है। मुआन के खेतों के लिए नियोजित राष्ट्रीय कृषि एएक्स प्लेटफ़ॉर्म को 2026 से 2030 तक सार्वजनिक और निजी क्षेत्रों की साझा पूंजी वाली विशेष प्रयोजन कंपनी, यानी SPC, चलाएगी। योजना खेती, छंटाई और वितरण को डेटा की एक धारा में जोड़ने की है, लेकिन व्यवस्था अभी व्यवहार में चली नहीं है। भारत के AgriStack से तुलना करें, जो पांच वर्ष से अधिक समय से करोड़ों खेतों का वास्तविक डेटा संभाल रहा है, तो कोरियाई परियोजना अभी डिजाइन के चरण में है। योजना और क्रियान्वयन के बीच की यही दूरी दक्षिण कोरिया के कृषि एआई के सामने मौजूद चुनौती है।

ये प्रयास एक देश से दूसरे देश तक पूरी तरह अलग-थलग नहीं चल रहे। अप्रैल 2025 में संयुक्त राष्ट्र के खाद्य और कृषि संगठन ने डिजिटल कृषि और कृत्रिम बुद्धिमत्ता पर पहला वैश्विक संवाद बुलाया, जिसमें कृषि में एआई के विकास और गवर्नेंस के सिद्धांतों पर चर्चा हुई। डोमिनिका, ग्रेनाडा, इथियोपिया और मोरक्को के डिजिटल कृषि नवाचार केंद्र एक अलग पहल का हिस्सा थे, जो 2021 से चल रही थी। वैश्विक संवाद और नवाचार केंद्र जुड़े हैं, लेकिन किसी आधिकारिक रोडमैप ने ऐसी विशेष तकनीकी संरचना तय नहीं की है जिसमें मूल डेटा राष्ट्रीय सीमा के भीतर रहे और केवल संक्षिप्त मान विदेश भेजे जाएं।

हर देश के डेटा कानून, संचार नेटवर्क और कृषि प्रशासन अलग हैं, इसलिए साझा सिद्धांतों को जमीन पर चलने वाली परियोजनाओं से अलग देखना अधिक सही है।

जापान कृषि, वानिकी और मत्स्य मंत्रालय तथा उससे संबद्ध अनुसंधान संस्थानों के बनाए सार्वजनिक डेटा प्लेटफ़ॉर्म WAGRI के जरिए मिट्टी और मौसम के डेटा को कीट तथा रोग पूर्वानुमान से जोड़ता है। WAGRI से जुड़ा Zero-Agri धान के खेतों का जल-स्तर प्रबंधन उपकरण नहीं है। यह टमाटर, स्ट्रॉबेरी और खीरे जैसी ग्रीनहाउस बागवानी फसलों के लिए सिंचाई और तरल उर्वरक नियंत्रण प्रणाली है। धान के खेतों के जल-स्तर सेंसर और स्वचालित आपूर्ति वाल्व का परीक्षण राष्ट्रीय कृषि और खाद्य अनुसंधान संगठन की बनाई एक अलग जल-प्रबंधन प्रणाली में हुआ है।

दोनों प्रकार की खेती डेटा-आधारित हो सकती है, लेकिन कांच के ग्रीनहाउस का पोषक घोल वाल्व और धान के खेत की जलधारा अलग उपकरण हैं। उनके नाम एक ही प्लेटफ़ॉर्म के आसपास दिखाई दे सकते हैं, फिर भी उन्हें एक ही मशीन नहीं कहा जा सकता।

प्लेटफ़ॉर्म कितना भी परिष्कृत हो, उसे चलाने वाले लोग न हों तो वह बेकार है। विश्व आर्थिक मंच के 2025 के सर्वेक्षण में कृषि, वानिकी और मत्स्य क्षेत्र के 68 प्रतिशत नियोक्ताओं ने श्रम बाजार के कौशल अंतर को उद्योग परिवर्तन की बाधा बताया। यह ऐसा सर्वेक्षण नहीं था जिसमें 68 प्रतिशत कृषि श्रमिकों ने कहा हो कि वे स्वयं कौशल अंतर महसूस करते हैं, न ही इसमें कृषि महाविद्यालयों के विद्यार्थियों की तैयारी मापी गई थी। जरूरत केवल किसी विशाल मॉडल का उपयोग सिखाने वाले पाठ्यक्रम की नहीं है।

खेत और कक्षा के प्रशिक्षण में यह समझाना होगा कि पत्ती की तस्वीर की पृष्ठभूमि बदलने पर सटीकता क्यों गिरती है, सेंसर बंद हो जाए तो किस मान पर पहले संदेह करना चाहिए और मॉडल पूरे विश्वास से गलत हो तो निर्णय को कौन रोकेगा।

कई देशों के कृषि विश्वविद्यालय कंप्यूटर विज्ञान, कृषि विज्ञान और डेटा विज्ञान को साथ लाने वाले शिक्षण और अनुसंधान संगठन बना रहे हैं। केवल प्रोफेसर और विद्यार्थी धान के खेत में पैदा होने वाली हर समस्या नहीं देख सकते। सरकारें प्रशासनिक डेटा खोलती हैं, कंपनियां उपकरण और सॉफ्टवेयर देती हैं और किसान मिट्टी तथा फसलों के बदलाव दर्ज करते हैं। क्विंटुपल हेलिक्स मॉडल विश्वविद्यालयों, सरकारों, कंपनियों, किसानों और स्थानीय समुदायों के संबंध को समझाने का ढांचा है। यह बताता है कि ये पांच पक्ष ज्ञान और जिम्मेदारी कैसे बांटते हैं; यह भाग लेने वाली संस्थाओं की वैश्विक गिनती नहीं है।

मानवीय समीक्षा के बिना खेती की सलाह सीधे मशीन को देना अभी खतरनाक है। इसलिए कई देश कृषि विस्तार अधिकारी से एआई का उत्तर जांचवाते हैं और उसके बाद ही वह खेत तक पहुंचता है। नियामकीय सैंडबॉक्स कहलाने वाले अस्थायी अनुमति क्षेत्रों में नई एआई सेवा को औपचारिक रूप से जारी करने से पहले सीमित अवधि और सीमित इलाके में जांचा जाता है। यह उस दुर्घटना के विरुद्ध न्यूनतम सुरक्षा है जिसमें मॉडल कोई मान गलत पढ़कर गलत खेत पर कीटनाशक छिड़कने को कह दे।

सड़क का मालिक कौन है, यह प्रश्न अभी हल नहीं हुआ। अगर ट्रैक्टर निर्माता या विशाल क्लाउड कंपनियां खेतों का डेटा अपनी दीवारों के भीतर इकट्ठा कर लें, तो डेटा पैदा करने वाले किसान अपने ही अभिलेख वापस लेकर उनका उपयोग नहीं कर पाएंगे। उद्योग इसे वेंडर लॉक-इन कहता है। यह किसी और को चाबी देकर अपने ही घर का दरवाजा न खोल पाने जैसा है।

बुजुर्ग किसानों के लिए बोझ अधिक है। कमजोर कनेक्शन वाले पहाड़ी गांव में कभी कोई सिग्नल ही नहीं मिलता। स्क्रीन के छोटे अक्षर पढ़ने के लिए चश्मा ठीक करते किसान के सामने सबसे परिष्कृत एआई भी असहाय है। भारत हो या जापान, विस्तार कर्मियों को अब भी गांव-गांव जाना, किसानों की ओर से बटन दबाना और परिणाम बोलकर समझाना पड़ता है। इन सुरक्षा उपायों और डेटा मार्गों को बनाना महंगा है। मुआन की एक जगह पर 254.6 अरब वॉन खर्च हो रहे हों तो पूरे देश को घनी डिजिटल सार्वजनिक अवसंरचना से ढकने की लागत का अनुमान लगाया जा सकता है।

सीमित सार्वजनिक वित्त वाले देश शायद इस दौड़ में उतर ही न पाएं, जिससे डेटा-समृद्ध और डेटा-विहीन देशों के बीच अंतर बढ़ने का खतरा है।

इस प्रवृत्ति की अगली मंजिल आंशिक रूप से दिख रही है। हर खेत का मूल डेटा एक बड़े केंद्रीय सर्वर पर खींचने के बजाय फेडरेटेड लर्निंग का परीक्षण हो रहा है, जिसमें मूल डेटा प्रत्येक खेत के कंप्यूटर पर रहता है और केवल वहां सीखी गई जानकारी साझा होती है। डेटा विनिमय का इतिहास ब्लॉकचेन पर दर्ज करने के प्रयोग भी साथ चल रहे हैं ताकि उसमें हेरफेर न हो। अगर अपने आप निर्णय और कार्रवाई करने में सक्षम एजेंटिक एआई इस व्यवस्था में जुड़ जाए, तो एक दिन एआई किसान के स्क्रीन देखने के बिना मौसम और मिट्टी के मान जोड़कर वाल्व खोल सकता है और ड्रोन उड़ा सकता है।

जब उसका निर्णय गलत होगा, तब जिम्मेदारी किसकी होगी, यह अभी किसी ने तय नहीं किया है।

मुआन के खेतों में अभी कांच के ग्रीनहाउस या सेंसर नहीं हैं। खरपतवार के बीच केवल कुछ सर्वेक्षण खूंटे खड़े हैं, जो बनने वाले ग्रीनहाउस के चार कोने दिखाते हैं। कुछ वर्षों बाद जब इस जमीन से पहला डेटा निकलेगा, तो उसका मालिक फसल उगाने वाला किसान होगा या वह कंपनी जिसने डेटा के चलने की सड़क बनाई?

स्रोत और संदर्भ

1. MDPI. (2025). Big data analytics and machine learning for smart agriculture. MDPI.
<https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-4878-2>
2. Agriculture INDIA. (2026). Post budget webinar 2026: Bharat Vistaar, AI-powered digital public infrastructure for agriculture [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=H_Wfqw3lbhc
3. WBG Civil Society Engagement. (2026). CSPF: Examining how AI and digital agriculture create jobs in developing countries [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=9rRCamBUBpU>
4. Committee on World Food Security. (2026). Morning session: Harnessing AI, digitalization and data governance for food security and nutrition [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=uQ-6ZL9UtvU>
5. C-DAC. (2026). AI in agriculture: Transforming India's Krishi landscape [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=IV3_VnWiBpM
6. University of Agricultural Sciences, Dharwad. (2026). National conference on next-gen farming: Artificial intelligence, automation and digital transformation [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=BbcYxst1MFC>
7. MIT College of Management, Pune. (2026). AgriTech, AI, and digital transformation in agriculture [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=hEwX3Bj_M6o
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Digital agriculture and AI: Innovation at FAO.
<https://www.fao.org/innovation/digital-agriculture-and-ai-innovation/en>
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). The global network of digital agriculture innovation hubs.
<https://www.fao.org/in-action/global-network-digital-agriculture-innovation-hubs/en>
10. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों का मंत्रालय. (2026). राष्ट्रीय कृषि एक्स् प्लेटफ़ॉर्म SPC की स्थापना की प्रतियोगिता के दिशानिर्देश. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों का मंत्रालय.
<https://www.mafra.go.kr/bbs/home/791/594309/download.do>
11. Press Information Bureau, Government of India. (2026). Bharat Vistaar and AI-based agricultural advisory: Official progress figures.
<https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2289031>

1.2

IoT सेंसर और एज एआई निगरानी

सुबह पांच बजे धान के खेत की मेड़ के कीचड़ में दो अंगुल मोटी एक धूसर छड़ गड़ी है। उसकी नोक पर हरी रोशनी तीन बार चमकती है और बुझ जाती है। यह चमक बताती है कि उपकरण माप रहा है कि रात भर जमीन में कितना पानी उतरा और मिट्टी का तापमान कितना नीचे गया। खेत का मालिक अभी रजाई में है जब पहली बार फोन खोलता है। स्क्रीन पर रेखा-चित्र पिछली रात के तीन धान के खेतों का जल-स्तर और मिट्टी की स्थिति दिखाता है।

यह धूसर छड़ इंटरनेट ऑफ थिंग्स, यानी IoT, सेंसर है। मिट्टी में धंसा सेंसर मापता है कि जमीन से बिजली कितनी आसानी से गुजरती है और उस मान को नमी के अनुमान में बदलता है। इसके साथ प्रायः पोषक सेंसर लगाया जाता है, जो नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटैशियम की सांद्रता पार्ट्स पर मिलियन में मापता है; pH सेंसर अम्लता मापता है; और मौसम सेंसर हवा का तापमान तथा नमी मापता है। धान के खेत के ऊपर एक छोटा कैमरा भी लटक सकता है। वह हर कुछ सेकंड में धान की पत्तियों की तस्वीर लेकर पीले हिस्से या दाने पर कीड़े खोजता है। बड़े खेत के हर हिस्से को पैदल जांचने में पूरा दिन लग सकता है।

प्रत्येक खेत में लगाए गए कुछ सेंसर यह काम पूरी रात कर सकते हैं।

मिट्टी, हवा और पत्तियों की स्थिति मापने वाले ये उपकरण अलग-अलग मार्गों से संकेत भेजते हैं। छोटी दूरी पर ZigBee वायरलेस नेटवर्क संकेतों को आगे बढ़ाता है। वह मान मिलने की पुष्टि भेजता है और कनेक्शन टूटे तो उन्हें दोबारा प्रसारित करता है। एकत्र मान खेत की मेड़ पर लगे छोटे गेटवे में पहुंचते हैं। गणना के बाद ही गेटवे वाल्व या स्प्रिंकलर जैसे भौतिक उपकरण चलाता है। तब भी वह केवल संक्षिप्त परिणाम चुनकर इंटरनेट उपलब्ध होने पर क्लाउड में अपलोड करता है। चौड़े मैदानों में लगभग हर 50 से 100 मू धान के क्षेत्र पर एक सेंसर लगाने के हिसाब से दूरी तय की जा सकती है।

जहां जमीन ऊबड़-खाबड़ हो या मिट्टी में बड़ा अंतर हो, वहां पहले भौगोलिक सूचना विश्लेषण करके तय किया जाता है कि सेंसर किस जगह अधिक घने लगाने हैं।

सवाल है कि इन संख्याओं की गणना कहां हो। सेंसर के मान दूर के सर्वर पर भेजकर उत्तर की प्रतीक्षा करने वाली प्रणाली में कनेक्शन की गुणवत्ता और डेटा के आकार के अनुसार अलग-अलग देरी होती है। पहाड़ सिग्नल रोक दें या मूसलाधार बारिश बेस स्टेशन बाधित करे तो अंतर बढ़ जाता है। इसलिए एज एआई का उपयोग किया जाता है ताकि धान के खेत के पास छोटा कंप्यूटर तस्वीरें घटाए, असामान्य मान छांटे और केवल जरूरी परिणाम भेजे। Raspberry Pi और Jetson Nano जैसे बोर्ड यह काम करते हैं।

गर्मी और पानी के तनाव से फसल को होने वाला नुकसान किस्म, वृद्धि की अवस्था और उसके प्रभाव की अवधि पर निर्भर करता है, इसलिए सेंसर का निर्णय तापमान की एक सीमा पर नहीं टिकता।

छोटे कंप्यूटर पर बड़ा मॉडल बिना बदले चलाना कठिन है। इंजीनियर क्वांटाइजेशन इस्तेमाल करते हैं, जिसमें गणना के मान कम बिट में दिखाए जाते हैं; प्रूनिंग, जिसमें कम प्रभाव वाले संबंध हटते हैं; और नॉलेज डिस्टिलेशन, जिसमें बड़े मॉडल के निर्णय छोटे मॉडल में पहुंचाए जाते हैं। 2026 के TinyWeedNet अध्ययन ने सार्वजनिक DeepWeeds परीक्षण डेटा पर 97.26 प्रतिशत सटीकता, STM32H7 बोर्ड पर 90 मिलीसेकंड से कम अनुमान समय और लगभग 1.815 मेगाबाइट मॉडल आकार बताया। मगर यह परिणाम सार्वजनिक छवि डेटा वाले बेंचमार्क से आया, धान के खेत के बीच लंबी अवधि के परीक्षण से नहीं।

बारी-बारी से खेत गीला और सूखा रखने से पानी की बचत तथा मीथेन में कमी को इस छवि-वर्गीकरण मॉडल से अलग क्षेत्रीय परीक्षणों में जांचना होगा।

कैमरे की तस्वीरें सीधे मॉडल में नहीं जातीं। मूल चित्रों का आकार और चमक अलग होते हैं, इसलिए एज कंप्यूटर पहले उन्हें काटकर हर तरफ 224 पिक्सेल के वर्ग में बदलता है। वह पिक्सेल के बीच का खाली स्थान सहज ढंग से भरने के लिए बाइलीनियर इंटरपोलेशन नाम की गणना करता है। रंग के मान पहले से तय मानक के अनुसार सामान्य किए जाते हैं। इस तैयारी के बाद ही तस्वीर कीट और रोग अलग करने वाले मॉडल के सामने रखी जाती है।

एक प्रयोग में कैमरा लगी चार-पहिया गाड़ी को फसल की कतार के पीछे चलाया गया। Raspberry Pi पर Canny एज डिटेक्शन और Hough ट्रांसफॉर्म चलाते हुए गाड़ी ने मक्का के खेत के 30 मीटर हिस्से को दस बार पार किया। उसका औसत पार्श्व विचलन बादल वाले दिन 6.2 सेंटीमीटर, धूप वाले दिन 8.0 सेंटीमीटर और सांझ में 12.5 सेंटीमीटर था। शोध पत्र में कोई Kalman फ़िल्टर, प्रति सेकंड बीस बार दिशा सुधार, धान की निराई का ब्लेड या उर्वरक मात्रा तय करने का कार्य नहीं है। फसल की कतार का पीछा करने के प्रदर्शन को खरपतवार हटाने या उर्वरक की मात्रा सुझाने के प्रदर्शन से अलग रखना होगा, क्योंकि वे अलग परीक्षण हैं।

खेत पाठ्यपुस्तक जितने व्यवस्थित नहीं होते। सर्दियों में बैटरी का प्रदर्शन गिरता है, जबकि पहाड़ और मूसलाधार बारिश वायरलेस संकेत तोड़ते हैं। सेंसर ज्यादातर समय स्लीप मोड में रहकर बिजली बचाते हैं और केवल तय समय पर या किसी मान के तेज बदलने पर सक्रिय होते हैं। 2025 के अंत तक दुनिया भर में LoRaWAN के लगाए गए उपकरणों की संख्या 125 मिलियन से अधिक हो गई थी। यह प्रणाली कम बिजली से छोटे मान कई किलोमीटर तक भेजती है। LoRa Alliance द्वारा बताया 25 प्रतिशत से अधिक का आंकड़ा चक्रवृद्धि वार्षिक वृद्धि दर है, किसी एक वर्ष की वृद्धि नहीं।

संचार की दूरी और गति प्रसारण शक्ति, एंटीना की ऊंचाई, भूभाग और बाधाओं के साथ बदलती है, इसलिए जापान के एक खेत के आंकड़े सार्वभौमिक विनिर्देश नहीं माने जा सकते।

इस तरह बने सारांश दूर तक भी जाते हैं। धान के खेत से बाहर चलने वाले ड्रोन और ट्रैक्टर जैसे उपकरण चौथी तथा पांचवीं पीढ़ी के मोबाइल नेटवर्क के साथ उपग्रह संपर्क का उपयोग करते हैं। दूरस्थ पहाड़ी खेतों में, जहां ये नेटवर्क भी मुश्किल से पहुंचते हैं, पाठ संदेशों के लिए बने पुराने संचार मॉड्यूल अब भी काम करते हैं और धीरे ही सही, एक छोटा मान भेज देते हैं। जिन खेतों में इंटरनेट बिल्कुल नहीं है, वहां गेटवे छोटा स्थानीय

वायरलेस सर्वर खोलता है और ऑनलाइन हुए बिना किसान के मोबाइल ऐप से सीधे मानों का आदान-प्रदान करता है। कनेक्शन मिलने पर वह हल्के संदेश प्रोटोकॉल से साफ मान क्लाउड डेटाबेस पर भेजता है।

अगला मॉडल प्रशिक्षित करते समय इन अभिलेखों का उपयोग होता है।

क्लाउड और एज कंप्यूटिंग की गति तथा बिजली खपत की तुलना में वही कैमरा, वही मॉडल और वही वायरलेस नेटवर्क इस्तेमाल होना चाहिए। अलग शोध पत्रों से लिए गए प्रतिक्रिया समय, बैटरी खपत और पैकेट हानि को एक ही उपकरण के पहले और बाद के परिणाम की तरह रखा जाए तो तुलना ढह जाती है। खेत में छवि घटाने से सर्वर को भेजा डेटा साफ तौर पर कम होता है और कनेक्शन टूटने पर भी कुछ निर्णय चलते रहते हैं। फिर भी बचत का आकार किसी विशेष परीक्षण के परिणाम के रूप में बताया जाना चाहिए, जिसमें उपकरण, कार्य और वायरलेस परिस्थितियां स्पष्ट हों।

गलत मान देने वाले सेंसर को पहचानना भी कठिन है। महीनों मिट्टी में पड़ा पोषक सेंसर लवणता और रासायनिक अभिक्रियाओं से धीरे-धीरे अपने इलेक्ट्रोड की धातु खोता है। पर्याप्त पानी होने पर भी स्क्रीन कम मान दिखा सकती है, मानो मिट्टी सूखी हो। उलटा भी हो सकता है: सामान्य मिट्टी हमेशा गीली दिखे। यह ऐसे खराब थर्मामीटर जैसा है जो बुखार न होने पर भी 39 डिग्री दिखाए। गलतियां छांटने के लिए एज कंप्यूटर हर नया मान आने पर कई परतों में जांच करता है।

बॉक्स-प्लॉट विधि हाल के औसत से तेज हटने वाले मान पहचानती है; मूविंग एवरेज फ़िल्टर क्षणिक उछाल दबाता है; और इंटरपोलेशन विधि कुछ सेकंड में भौतिक रूप से असंभव छलांग को संदिग्ध मानकर खाली जगह अस्थायी रूप से पिछले मान से भरती है।

2025 के एक अध्ययन ने एक कदम आगे बढ़कर क्लस्टर विश्लेषण से विफल सेंसर पहचानने की विधि सुझाई, जो कई सेंसर मानों को एक साथ रखकर उनकी समानता और फैलाव दोनों देखती है। सेंसर की खराबी दो बड़े प्रकार की होती है। एक में मान एक ओर झुककर वहीं जम जाते हैं। दूसरे में वे समय के साथ धीरे-धीरे बढ़ते हैं। दोनों खराबियां खेतों के कठोर वातावरण में प्रयोगशाला से कहीं अधिक बार होती हैं। गर्मी की तेज बारिश में पूरा धान का खेत डूब जाना या सर्दी के पाले से सर्किट बोर्ड के संपर्क जम जाना असामान्य नहीं है। ग्रामीण विकास प्रशासन हर महीने pH और EC सेंसर का अंशांकन करने तथा उनकी सतह से मिट्टी और बाहरी पदार्थ साफ करने की सलाह देता है।

मशीन कितनी भी सही हो, वह मिट्टी में काम करने के बाद सेंसर का सिर धोने वाले इंसानी हाथ की जगह नहीं ले सकती।

हर खेत के बोर्ड पर अलग प्रशिक्षित मॉडल किसी व्यक्ति के नाम या धान के खेत की जगह वाले मूल डेटा के बजाय प्रशिक्षण के दौरान बदले केवल पैरामीटर केंद्रीय सर्वर को भेज सकता है। इसे फेडरेटेड लर्निंग कहा जाता है। इससे खेत के बाहर कम मूल डेटा जाता है, लेकिन पैरामीटर से सूचना लीक होने या भाग लेने वाले खेत द्वारा दुर्भावनापूर्ण मान भेजने का जोखिम समाप्त नहीं होता। यह कहने का समय भी नहीं आया कि भारत के व्यक्तिगत डेटा कानून का पालन सिद्ध हो चुका है। फेडरेटेड लर्निंग निजता संरक्षण में मदद करने वाली एक डिजाइन है। कानूनी आधार, पहुंच नियंत्रण और सुरक्षा ऑडिट अलग से जरूरी हैं।

एज एआई अपनाने वाले खेतों ने ऐसे मामले बताए हैं जिनमें पानी, संचार ट्रैफ़िक और कीटनाशक का उपयोग घटा या काम का समय कम हुआ। मगर किसी मेटा-विश्लेषण ने 25 से 50 प्रतिशत जैसी सीमा को सभी फसलों का औसत स्थापित नहीं किया है। मिट्टी, जलवायु, उपकरणों की कीमत, संचार लागत और मरम्मत कर्मियों की उपलब्धता के अनुसार परिणाम बहुत बदलते हैं। सेंसर और रोबोट की शुरुआती कीमत छोटे खेतों के लिए बड़ी बाधा है। यही लागत संरचना, कोई एक संख्या नहीं, सौर ऊर्जा वाले बोर्ड, साझा पट्टा और अनुबंध सेवाओं पर चर्चा का कारण है।

बना हुआ निर्णय केवल स्क्रीन पर अक्षरों से नहीं, स्थानीय बोली समझने वाली आवाज में भी पहुंच सकता है। पढ़ने में कठिनाई महसूस करने वाले बुजुर्ग किसान को स्पीकर से निकला एक वाक्य ग्राफ से अधिक विश्वसनीय लग सकता है।

एज एआई निगरानी यहीं नहीं रुकेगी। प्रणालियां सामान्य रंगीन कैमरे के साथ गर्मी पढ़ने वाला थर्मल कैमरा और आंख से न दिखने वाली तरंगों को अलग करने वाला हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरा लगाने की ओर बढ़ रही हैं। फिर उनके पूरे डेटा को धान की मेड़ के बोर्ड पर उपग्रह वनस्पति-सूचकांक चित्रों से मिलाया जाता है। कई उपकरणों के एक समय पर मिले मान जोड़ने से सूखे के नुकसान को कीट और रोग के नुकसान से अलग करने की सटीकता बढ़ती है।

तकनीक एक दूसरी दिशा में भी फैल रही है: कृषि-विशिष्ट बड़े भाषा मॉडल से जुड़ने पर यह क्षेत्रीय बोली में पूछने वाले किसान को बता सकती है कि खेत में क्या गड़बड़ है और अभी लिए सेंसर मानों से समझा सकती है कि उस दिन क्या करना चाहिए।

केवल छांटे हुए मान किसान के फोन तक पहुंचते हैं। एक सूचना बताती है कि रात भर दो धान के खेतों में पानी कम हुआ और उनके वाल्व अपने आप खुल गए। दूसरी बताती है कि तीसरे खेत का एक मान सेंसर की गलती मानकर हटा दिया गया। इन संदेशों को देखने के बाद ही किसान अपने जूते पहनता है।

स्रोत और संदर्भ

1. Geethanjali, S. G., & Karan, N. (2025). Vision Transformer-Assisted IoT System for Smart Agriculture and Multi Crop Disease Detection. IARJSET, 12(8).
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2025.12832>
2. Nezami, M., & Kumar, R. (2026). Multimodal Edge Intelligence for Crop Disease Detection and Irrigation Advisory in Precision Agriculture. International Journal of Science, Strategic Management and Technology, 2(5), 1-9.
<https://doi.org/10.55041/ijst.v2i5.232>
3. Hajirad, I. (2026). Precision and Smart Agriculture: Harnessing IoT for Enhanced Productivity and Sustainability. Intelligent Agriculture, 2(1), 84-105.
<https://doi.org/10.54963/ia.v2i1.2408>
4. Edge intelligence for smart agriculture: An artificial intelligence framework for precision farming and sustainable crop management. (2026).
<https://doi.org/10.21474/jncs01/133>
5. Hermantoro, Renjani, R. A., & Supriyanto, G. (2026). Artificial Intelligence and IoT-Based Precision Irrigation for Energy-Efficient Tropical Agriculture. International Journal of Management and Business Intelligence,

4(3), 685-698.

<https://doi.org/10.59890/ijmbi.v4i3.25>

6. AgroPest-Trust Edge : conception et audit d'un système frugal, explicable et conscient de l'incertitude pour la reconnaissance de ravageurs et stress biotiques sur smartphone. (2026).

<https://doi.org/10.61532/rime262136>

7. 000000000000 0000. (2025). 02000000000000000000 0ICT0IoT0000000000000000 [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=iqLmEFT1wZo>

8. LoRa Alliance. (2026). LoRaWAN enters its next growth phase as massive IoT scales globally.

<https://resources.lora-alliance.org/home/lorawan-enters-its-next-growth-phase-as-massive-iot-scales-globally>

9. Kavinsky, M. (2026). LoRaWAN pushes deeper into smart agriculture with satellite-backed connectivity. IoT Business News.

<https://iotbusinessnews.com/2026/07/08/lorawan-pushes-deeper-into-smart-agriculture-with-satellite-backed-connectivity/>

10. Zhang, Y., Lu, Y., Martinez-Rau, L. S., Qiu, Q., & Bader, S. (2026). Real-time on-device weed identification using a hardware-efficient lightweight CNN. *Frontiers in Plant Science*, 17, 1747863.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1747863>

11. A novel data healing framework for outlier detection and recovery approach in the internet of agriculture things sensor network. (2025). *Quality & Quantity*.

<https://doi.org/10.1007/s11135-025-02402-5>

12. Aldağ, M. C., & Eker, B. (2026). Development and Field Evaluation of an Autonomous Four-Wheel-Drive Agricultural Vehicle Tracking Crop Rows Using Computer Vision Technology. *Journal of Agricultural Production*, 7(1), 13-19.

<https://doi.org/10.56430/japro.1826810>

1.3

डेटा गवर्नेंस और संसाधन प्रबंधन

जून की दोपहर धान के खेत में पानी हिलोरें ले रहा है। किसान मेड़ पर उकड़ूं बैठकर फावड़ा रखता है और फोन निकालता है। स्मार्ट सिंचाई ऐप की स्क्रीन पर नीला बटन दिखता है। वह पूछता है कि क्या किसान स्थान और खेती की जानकारी एकत्र करने की सहमति देता है। बटन दबते ही खेत में इस्तेमाल पानी की मात्रा, मिट्टी की स्थिति और धान के बढ़ने की गति तक किसी दूर सर्वर पर पहुंचने लगती है।

खेत में मापी गई संख्याओं का मालिक तय करना कठिन है। यूरोपीय संघ की कृषि डेटा साझाकरण आचार संहिता किसानों को डेटा का उत्पत्तिकर्ता या स्रोत प्रदाता मानती है और सुझाव देती है कि किसान अनुबंध द्वारा पहुंच तथा उपयोग की शर्तें नियंत्रित कर सकें। इसे ऐसा नियम नहीं समझना चाहिए जो किसानों को सभी डेटा पर कानूनी संपत्ति अधिकार दे देता है। मूल सेंसर मानों और कंपनी द्वारा संसाधित पूर्वानुमानों पर अलग अधिकार तथा व्यापार रहस्य लागू हो सकते हैं। संहिता कानून नहीं, एक सिफारिश है, इसलिए वास्तविक अधिकार सेवा अनुबंधों और हर देश के कानून के साथ बदलते हैं।

अप्रैल 2026 में अमेरिका का नेब्रास्का इस प्रश्न को कानून से संबोधित करने वाला पहला राज्य बना। गवर्नर ने कृषि डेटा गोपनीयता अधिनियम पर हस्ताक्षर किए तो कानून ने कहा कि खेत पर उत्पन्न मिट्टी, जलवायु, फसल और पशुधन डेटा खेत के मालिक का है, जब तक उसे सार्वजनिक न किया गया हो या अनेक खेतों के डेटा में न मिलाया गया हो। कंपनी को डेटा इस्तेमाल करने से पहले किसान के साथ लिखित अनुबंध करना होगा। 2027 से किसान की लिखित सहमति के बिना मूल डेटा दोबारा बेचना भी प्रतिबंधित होगा।

कानून ने दंड देने वाले प्राधिकारी को भी तय किया है। नेब्रास्का का अटॉर्नी जनरल उल्लंघन की सूचना देता है और उसे सुधारने के लिए पैंतालीस दिन देता है। सुधार न होने पर हर उल्लंघन के लिए एक हजार डॉलर का नागरिक दंड लगाया जा सकता है। कानून किसान को कंपनी पर सीधे मुकदमा करने का रास्ता नहीं देता। इसके बजाय सरकार निगरानी करती है। फिर भी कानून में एक खाली जगह है। कई खेतों के डेटा में मिलते ही सूचना केवल एक किसान की नहीं रहती, जबकि उसे एक बड़े भंडार में मिलाने का निर्णय डेटा एकत्र करने वाली कंपनी करती है।

मालिकाना विवाद सुलझने से पहले एक अधिक तात्कालिक समस्या आ सकती है: डेटा रखने वाली कंपनी बंद हो जाए। वर्षों से स्मार्ट फार्म सेवा इस्तेमाल करने वाले खेत को एक दिन ऐप बंद होने की सूचना मिले तो उसकी जमा मिट्टी-परीक्षण रिपोर्ट, उर्वरक उपयोग का इतिहास और वार्षिक उपज के ग्राफ एक साथ गायब हो सकते हैं। खेत ने अभिलेख अपने कंप्यूटर या कागजी बही में नहीं उतारे। सर्वर अंधेरा पड़ते ही यह पूछना भी कठिन हो जाता है कि केवल उसी सर्वर पर मौजूद संख्याओं का मालिक कौन था।

बहुत कम किसानों ने अपना डेटा नियमित रूप से डाउनलोड करके अलग प्रति रखने की आदत बनाई है, जिसे व्यवहार में डेटा पोर्टेबिलिटी का उपयोग कहा जाता है। कानून में लिखा अधिकार आम आचरण का हिस्सा न

बने तो ज्यादा काम नहीं आता। सेवा बंद होने का अनुभव कर चुके किसान अगली सेवा को डेटा देते समय अधिक सावधान रहते हैं। कुछ ऐप का उपयोग न करने का निर्णय लेते हैं।

सहमति वास्तविक हो तो निर्णय दबाव के बिना लिया जाना चाहिए, व्यक्ति को पहले बताया जाना चाहिए कि क्या होगा और बाद में निर्णय वापस लेने का रास्ता होना चाहिए। केवल लंबे नियमों और एक बटन वाली स्क्रीन इन शर्तों को कठिनाई से पूरा करती है। यूरोपीय संघ का डेटा अधिनियम जुड़े उत्पादों के उपयोगकर्ताओं को उनके उपकरणों से बने डेटा तक पहुंच का अधिकार देता है। इसके सामान्य प्रयोग की तारीख 12 सितंबर 2025 है। 12 सितंबर 2026 वह संदर्भ तिथि है जिसके बाद बाजार में रखे जुड़े उत्पाद और उनसे संबंधित सेवाएं ऐसी डिजाइन होनी चाहिए कि डेटा तक पहुंच आसान हो।

अधिकार लागू होने की तारीख और उत्पाद डिजाइन की जिम्मेदारी वाली संदर्भ तिथि को अलग पढ़ना होगा।

कई खेतों के मान एक सर्वर पर जमा हों तो कंपनी ऐसा क्षेत्रीय चित्र देख सकती है जो किसी एक किसान को नहीं दिखता। भारत का Unified Farmer Service Interface, यानी UFSI, एक विनिमय मानक है जिसे सरकारी और निजी सेवाओं को मानक प्रारूप में जोड़ने तथा सहमति की सीमा में मुख्य रजिस्ट्रारों तक पहुंच देने के लिए बनाया गया है। जुलाई 2026 तक 101.8 मिलियन AgriStack Farmer ID बनने का दर्ज परिणाम पुष्ट है। मगर किसी आधिकारिक मूल्यांकन ने इस संयुक्त दावे को स्थापित नहीं किया कि केवल UFSI ने सिंचाई जल में 20 से 30 प्रतिशत बचत की और साथ ही बीमा भुगतान तथा ऋण समीक्षा तेज की।

डेटा विनिमय का कार्य, किसी खास सिंचाई तकनीक का जल-बचत प्रभाव और वित्तीय सेवा की प्रक्रिया अवधि अलग-अलग आंकी जानी चाहिए।

इस डेटा में दो अलग प्रकृति की सूचनाएं मिली हुई हैं। पहली व्यक्तिगत जानकारी है। धान के खेत की जगह बताने वाले निर्देशांक के साथ भूमि मालिक का नाम और फोन नंबर जुड़ते ही डेटा ऐसी व्यक्तिगत जानकारी बन जाता है जिससे एक व्यक्ति पहचाना जा सके। खेत की ड्रोन तस्वीर में सीमा और भूखंड संख्या दिखाई दे तो उसके साथ भी यही होता है। नाम और नंबर हटाने से डेटा जरूरी नहीं कि सुरक्षित हो जाए। केवल कुछ खेतों वाले गांव में पड़ोसी स्थान, क्षेत्रफल और फसल के प्रकार से ही पहचान सकते हैं कि खेत किसका है। यह कपड़े से नाम का टैग हटाने पर भी उसका आकार और नाप देखकर पहचानने वाले का अंदाजा लगा लेने जैसा है।

डेटा को गुमनाम कहना यह साबित नहीं करता कि उससे पहचान सच में असंभव है।

दूसरी व्यापार रहस्य वाली जानकारी है। धान का खेत हर वर्ष कितना पैदा करता है, कितना उर्वरक लगता है और मजदूरी पर कितना खर्च होता है, ये खेत की कारोबारी सूचनाएं हैं। पड़ोसी किसान या कृषि सामग्री विक्रेता ये आंकड़े जान ले तो अगले सौदे में कीमत तय करते समय उसे उस खेत पर बढ़त मिलती है। उर्वरक खरीद के समय और मात्रा को देखकर ही कोई अनुमान लगा सकता है कि अगले मौसम में कौन सी फसल लगेगी। दोनों तरह की सूचना अलग हैं, इसलिए उन्हें संभालने का तरीका भी अलग होना चाहिए। व्यवहार में वे अक्सर उसी सर्वर और उसी ऐप में साथ रखी जाती हैं।

कोरिया सरकार द्वारा बढ़ाया जा रहा राष्ट्रीय कृषि एएक्स प्लेटफ़ॉर्म भी इस समस्या से नहीं बचा। दक्षिण जिओला प्रांत और ग्वांगजू महानगर के कंसोर्टियम को जुलाई 2026 में अंतिम संचालक चुना गया। दक्षिण जिओला के मुआन में 254.6 अरब वॉन के प्लेटफ़ॉर्म की योजना के साथ एक शर्त थी: शुरू से ऐसी प्रक्रिया शामिल हो जो एकत्र डेटा में व्यक्तिगत और संवेदनशील सूचना को अलग पहचाने तथा छांटे। दोनों श्रेणियों को पूरा डेटा जमा होने के बाद नहीं, संग्रह के क्षण से ही अलग करना होगा।

कई स्रोतों के डेटा को ऐसे इंजन में जोड़ना हो जो सिंचाई या उर्वरक का बंटवारा अपने आप गणना करे, तो डेटा को परस्पर काम करना चाहिए। अंतरराष्ट्रीय कृषि अनुसंधान समुदाय अक्सर FAIR सिद्धांतों को मानक बताता है: डेटा खोजने योग्य, सुलभ, परस्पर संचालनीय और दोबारा उपयोग योग्य होना चाहिए। शब्द आसान हैं, मगर खेत में अनेक बाधाएं आती हैं। एक संस्थान उर्वरक के घटक पार्ट्स पर मिलियन, यानी ppm, में दर्ज करता है, जबकि दूसरा किलोग्राम प्रति हेक्टेयर, यानी kg/ha, इस्तेमाल करता है। प्रशासनिक जिलों के नाम भी अलग संस्थानों में थोड़े अलग लिखे जाते हैं।

इन संख्याओं को बिना बदले एक मॉडल में डाल दिया जाए तो इकाइयां गड़बड़ाने वाला मॉडल वास्तविक मात्रा से बहुत अलग उर्वरक दर निकाल सकता है।

इसी कारण संयुक्त राष्ट्र के खाद्य और कृषि संगठन द्वारा संचालित कृषि कोश AGROVOC को साझा मानक बनाने का प्रस्ताव रखा जाता है। डेटा बांटने का अर्थ तभी है जब लोग एक ही शब्द को एक ही अर्थ में इस्तेमाल करने पर सहमत हों। Bill & Melinda Gates Foundation के सहयोग से अंतरराष्ट्रीय कृषि अनुसंधान संगठन CABI ने 2025 में कृषि डेटा की जिम्मेदार साझेदारी को समर्थन देने वाली परियोजना शुरू की। उसका निष्कर्ष साफ था। तकनीकी दृष्टि से डेटा को अच्छी तरह व्यवस्थित करने के मानक बनाए जा सकते हैं, लेकिन जिस किसान ने पहले डेटा दिया उसे वास्तव में लाभ लौटाने की विधि हर जगह और परिस्थिति के लिए फिर से बनानी होगी।

पानी और उर्वरक बांटने वाली गणनाओं में सेंसर रहित धान के खेत स्क्रीन से गायब हो सकते हैं। उपकरण वाले खेत की पानी की कमी संख्या बनकर दिखती है, जबकि बिना उपकरण वाला खेत उसी सूखे से जूझकर भी कोई अभिलेख नहीं छोड़ता। केन्या सरकार ने मार्च 2026 में जो जारी किया, वह पहले से लागू अंतिम कानून नहीं था, बल्कि कृषि डेटा नीति का मसौदा और डिजिटल कृषि सूचना विधेयक का मसौदा था। उसी महीने बाद में सार्वजनिक परामर्श हुआ और फिर लेखन जारी रहा। यह कहना सही नहीं कि छोटे किसानों के अधिकार कानून से पहले ही सुरक्षित हो गए हैं; सही यह है कि डेटा मालिकाना और पहुंच के अधिकारों को कानून में रखने पर चर्चा शुरू हुई है।

खेत के फाटक से बाहर संसाधन उपयोग का चित्र असंतुलित हो जाता है। खेत पर सेंसर और एआई पानी की एक बूंद या मुट्ठी भर उर्वरक बचाने के लिए इस्तेमाल होते हैं। उस एआई को प्रशिक्षित और संचालित करने वाले डेटा केंद्र उलटा करते हैं। ठंडा करने का पानी और बिजली उनकी बड़ी खपत है। कोई डेटा केंद्र उतना या उससे अधिक पानी इस्तेमाल कर सकता है जितना धान के खेत ने बचाया। इस विरोधाभास को घटाने के उपाय सामने आ चुके हैं: बड़े और भारी मॉडल पर निर्भर रहने के बजाय सेंसर के पास गणना पूरी करने वाला हल्का एआई, यानी TinyML, इस्तेमाल किया जाए; और डेटा केंद्रों में बिजली तथा पानी की खपत की अधिकतम सीमा तय करने वाला बजट लगाया जाए।

हम धान की मेड़ पर लौटते हैं। किसान बटन दबाता है। खेत का जल उपयोग और मिट्टी की स्थिति कहीं किसी डेटाबेस में एक पंक्ति के रूप में रह जाती है। अगली वसंत ऋतु के सूखे में वही पंक्ति यह तय करने का सबूत बन सकती है कि इस खेत को पानी पहले मिलेगा या बाद में। किसान सहमति वाली स्क्रीन की तस्वीर लेकर फोन में सहेजता है, उस दिन के लिए जब कोई पूछे कि डेटा का उपयोग कैसे हुआ।

स्रोत और संदर्भ

1. Sangwa, S., & Mutabazi, P. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Ethical stewardship, responsible innovation, and governance for sustainable food systems. *Intelligent Agriculture*, 1(2), 25-45.
<https://doi.org/10.54963/ia.v1i2.1684>
2. Mole, M. (2025). Revolutionizing agricultural water management through AI-driven irrigation systems: A comprehensive framework for sustainable farming practices. *International Journal of Computing and Engineering*, 7(21), 1-11.
<https://doi.org/10.47941/ijce.3092>
3. Amar, S., Bori, N., & Cörvers, R. (2026). From collection to control: Data governance, digital technologies, and the politics of inclusion in the digitalisation of smallholder agriculture. *Outlook on Agriculture*, 55(1), 19-27.
<https://doi.org/10.1177/00307270251410944>
4. Scobey, W. (2026). Nebraska's Agricultural Data Privacy Act and similar state efforts. National Agricultural Law Center.
<https://nationalaglawcenter.org/nebraskas-agricultural-data-privacy-act-and-similar-state-efforts/>
5. European Commission. (2026). Data Act. Shaping Europe's Digital Future.
<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-act>
6. NewsPim. (2026). राष्ट्रीय कृषि एएक्स प्लेटफॉर्म के लिए निजी संचालक चुना गया...विशेष प्रयोजन कंपनी वर्ष के भीतर स्थापित होगी.
<https://www.newspim.com/news/view/20260727001240>
7. Penrhys-Evans, T. (2025). Making data work better in agriculture with FAIR principles. CABI Blog.
<https://blog.cabi.org/2025/05/27/making-data-work-better-in-agriculture-with-fair-principles/>
8. Committee on World Food Security. (2026). Harnessing AI, digitalization and data governance for food security and nutrition: Morning session [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=uQ-6ZL9UtvU>
9. Agriculture INDIA. (2026). Post budget webinar 2026: Bharat Vistaar, AI-powered digital public infrastructure for agriculture [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=H_Wfqw3lbhc

अध्याय 2

सटीक कृषि में फसल निगरानी और छवि निदान

2.1

ड्रोन (UAV) और उपग्रह रिमोट सेंसिंग विश्लेषण

सुबह बहुत जल्दी, जब धान की मेड़ पर धुंध टिकी है, टैबलेट पकड़ा एक व्यक्ति ड्रोन उड़ाता है। विमान धान के पौधों के ऊपर नीचा उड़ता है और हरे, पीले तथा लाल धब्बों वाला मानचित्र भेजता है। खेत एक है, फिर भी कहीं गहरा हरा है और कहीं पीला पड़ गया है। नंगी आंख को वह बस समान रूप से हरा धान का खेत दिखता है।

अंतर रोशनी बनाती है। पत्ती का क्लोरोफिल प्रकाश संश्लेषण के लिए जरूरी लाल प्रकाश सोखता है। मानव आंख से अदृश्य निकट-अवरक्त प्रकाश पत्ती के भीतर कोशिकाओं की परतों से टकराकर लौटता है। स्वस्थ पत्ती में ये परतें मोटी और अधिक ढीली होती हैं, इसलिए वे निकट-अवरक्त प्रकाश को अधिक ताकत से परावर्तित करती हैं। रोगी या सूखी पत्तियां कम परावर्तित करती हैं। अवशोषित और परावर्तित प्रकाश का अनुपात स्वस्थ पत्ती को मुरझाई पत्ती से अलग करता है। मानव आंख यह अनुपात नहीं पढ़ सकती, लेकिन अलग तरंगदैर्घ्य पकड़ने वाले सेंसर पढ़ सकते हैं।

नॉर्मलाइज्ड डिफरेंस वेजिटेशन इंडेक्स, यानी NDVI, इस अनुपात को एक संख्या में बदलता है। वह निकट-अवरक्त परावर्तन से लाल प्रकाश का परावर्तन घटाता है और परिणाम को दोनों के जोड़ से भाग देता है। एक संख्या बताती है कि खेत आज फल-फूल रहा है या झुक गया है। इस सूचकांक की एक सीमा है। धान की छतरी घनी होने और निकट-अवरक्त परावर्तन एक स्तर पार करने के बाद मान बढ़ना बंद हो जाता है। यह ऐसी तराजू जैसा है जिसकी सुई सौ पर खत्म हो जाती है और सौ किलोग्राम तथा डेढ़ सौ किलोग्राम के व्यक्ति के लिए एक ही सौ दिखाती है। नॉर्मलाइज्ड डिफरेंस रेड-एज इंडेक्स, यानी NDRE, इस सीमा से आगे जाने के लिए बनाया गया।

वह हरे और निकट-अवरक्त प्रकाश के बीच की संकरी पट्टी, रेड-एज बैंड, पढ़ता है और पत्तियों में क्लोरोफिल तथा नाइट्रोजन की सांद्रता को अधिक बारीकी से अलग करता है।

परावर्तित प्रकाश ही एकमात्र संकेत नहीं है। पत्ती की सतह का तापमान इस बात के साथ बदलता है कि नीचे के रंध्र कितने खुलते और बंद होते हैं। पानी की कमी वाला धान वाष्पोत्सर्जन घटाने के लिए रंध्र बंद कर देता है। तब पत्ती हल्की गर्म होती है, जैसे किसी व्यक्ति को मामूली बुखार हो। थर्मल सेंसर दूर से तापमान का यह बदलाव मापता है और मानव आंख से पहले सूखे का तनाव पहचानता है। लाइडार सेंसर दसियों हजार बार लेजर चलाता है और मापता है कि प्रकाश को पत्तियों की छतरी से टकराकर लौटने में कितना समय लगा, फिर उससे फसल की ऊंचाई और आयतन निकालता है।

हाइपरस्पेक्ट्रल सेंसर पत्ती को पास-पास के दसियों या सैकड़ों तरंगदैर्घ्य चैनलों में बांटकर रोगजनक से घिरी कोशिकाओं के सूक्ष्म रंग परिवर्तन भी पकड़ता है।

उपग्रह सैकड़ों किलोमीटर ऊपर से उसी जमीन की बार-बार तस्वीर लेते हैं। Sentinel-2 का डेटा मुफ्त है और वह लगभग पांच दिन के अंतर पर फिर आता है। Landsat 8 और 9 भी मुफ्त हैं। हर उपग्रह उसी जगह पर सोलह दिन में एक बार आता है, या दोनों को साथ इस्तेमाल करने पर आठ दिन में। PlanetScope लगभग हर दिन देखता है, लेकिन वह वाणिज्यिक सेवा है। व्यापक और मुफ्त चित्र देश जितना क्षेत्र देखने में उपयोगी है। कुछ दिनों में फैलते रोग को देखने के लिए कम अंतराल की तस्वीरें चाहिए। खेतों को लगातार कीमत और समयिक विभेदन के बीच संतुलन चुनना पड़ता है।

दक्षिण कोरिया ने 2026 में एक और अवलोकन उपग्रह जोड़ा। जुलाई में कोरिया एयरोस्पेस रिसर्च इंस्टीट्यूट ने अमेरिका के वैंडेनबर्ग स्पेस फ़ोर्स बेस से Compact Advanced Satellite 4 छोड़ा। कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों के मंत्रालय के जारी विनिर्देशों के अनुसार उपग्रह का वजन 514 किलोग्राम है, अवलोकन पट्टी 120 किलोमीटर चौड़ी है और विभेदन 5 मीटर श्रेणी का है। इसमें फसलों और जंगलों की वृद्धि अलग करने के लिए उपयुक्त पांच वर्णक्रमीय बैंड हैं और लक्ष्य हर तीन दिन में पूरे कोरियाई प्रायद्वीप को स्कैन करना है।

मगर उपग्रह अभी प्रदर्शन सत्यापन और छवि अंशांकन से गुजर रहा है, इसलिए खेतों को सूचना देने वाली सेवा अगले वर्ष से पहले शुरू नहीं होगी। उपग्रह छोड़ने और उसकी तस्वीरों को ठीक से पढ़ना सीखने के बीच समय लगता है।

ड्रोन उपग्रह मानचित्र के एक कोने पर रखा आवर्धक कांच जैसा है। बादलों के नीचे उड़ने के कारण वह उस बादल आवरण से कम बाधित होता है जो उपग्रह चित्र रोकता है। फिर भी बारिश, धुंध, हवा के झोंके और कम दृश्यता उड़ान तथा छवि गुणवत्ता दोनों में रुकावट डालते हैं। ड्रोन इतने सूक्ष्म चित्र दर्ज कर सकता है कि एक पिक्सेल केवल कुछ मिलीमीटर या सेंटीमीटर दिखाए, लेकिन वह एक बार में बड़ा क्षेत्र नहीं जांच सकता। बैटरी, पायलट और उड़ान की अनुमति भी चाहिए।

ड्रोन से लौटी तस्वीरें शुरू में एक मानचित्र नहीं होतीं। एक उड़ान सैकड़ों अलग चित्र बनाती है जिनके किनारे आपस में चढ़े होते हैं। स्ट्रक्चर फ्रॉम मोशन, यानी SfM, नाम की फोटोग्रामेट्रिक तकनीक इन साझा हिस्सों को संकेत बनाकर सैकड़ों टुकड़े जोड़ती है और फिर ऊंचाई डेटा जोड़कर पूरे धान के खेत का त्रिआयामी मानचित्र बनाती है। इससे पहले एक और प्रक्रिया करनी होती है। ज्ञात परावर्तन वाला अंशांकन पैनल स्थल पर रखा जाता है और उस समय सूर्य की रोशनी की तीव्रता मापी जाती है। इस संदर्भ मान के बिना बादल वाले और धूप वाले दिन की तस्वीरें अलग मानक से पढ़ी जाती हैं। कल से आज तक न बदला धान भी अलग दिख सकता है।

मानसून में बादल कई सप्ताह तक जमीन को प्रकाशीय उपग्रह से छिपा सकते हैं। तब सिंथेटिक अपरचर रडार, यानी SAR, उपग्रह माइक्रोवेव भेजकर और लौटे संकेत को मापकर धान के खेत का पानी तथा फसल संरचना पढ़ सकता है। वह रात में भी देख सकता है। धान उगाने वाले क्षेत्र वर्गीकृत करने के लिए रडार और प्रकाशीय चित्र जोड़ने वाले एक क्षेत्रीय अध्ययन ने लगभग 95 प्रतिशत सटीकता बताई। यह हर देश और हर मौसम में निश्चित प्रदर्शन नहीं है। रोपाई का समय, किस्म, भूभाग और प्रशिक्षण डेटा बदलने पर वर्गीकरण बदलता है।

बनी हुई छवि खेत के काम तक पहुंचती है। तूफ़ान के बाद ड्रोन तस्वीरों पर डीप लर्निंग मॉडल चलाकर यह मानचित्र बनाया जाता है कि धान कहां गिरा और कितनी गंभीरता से गिरा। यह पैदल गिनने वाले व्यक्ति से बहुत तेज और अधिक सूक्ष्म होता है। मानचित्र सीधे उस नुकसान आकलन में इस्तेमाल हो सकता है जो बीमा भुगतान तय करता है। धान में फॉल्स स्मट या ब्लास्ट आए तो नजदीकी ड्रोन चित्र और रेड-एज सूचकांक साथ पढ़े जाते हैं ताकि रोगी क्षेत्र को नाइट्रोजन की कमी वाले क्षेत्र से अलग किया जा सके। सूचना ऐसा प्रिस्क्रीप्शन मानचित्र बनती है जो किसान को केवल उन हिस्सों में अधिक उर्वरक और कीटनाशक डालने को कहता है।

लक्षण सतह पर आने से पहले रोग ऊतक के परावर्तक गुण बदल देता है। गेहूं में *Fusarium* हेड ब्लाइट के शोध में ट्रैक्टर पर लगा हाइपरस्पेक्ट्रल उपकरण खेत में संक्रमण के संकेतों का मानचित्र बनाता है। Remote Sensing में प्रकाशित 2021 के अध्ययन ने UAV हाइपरस्पेक्ट्रल डेटा से धान के फॉल्स स्मट से प्रभावित क्षेत्र निकाले। 2026 के एक अलग अध्ययन ने सुधरे YOLOv12n मॉडल से रोगी बालियां खोजीं और 80.7 प्रतिशत औसत सटीकता बताई। एक अध्ययन ने तरंगदैर्घ्य से रोगी क्षेत्र खींचे; दूसरे ने तस्वीरों में बालियों की जगह खोजी।

गेहूं के खेतों में ड्रोन पत्ती का क्षेत्रफल और पानी का तनाव पढ़कर उपज का पूर्वानुमान लगाते हैं। एक अध्ययन में निर्धारण गुणांक किस्म और वृद्धि अवस्था के अनुसार लगभग 0.75 से 0.99 तक बहुत बदला। नई पत्तियों की तस्वीर वाले दिन का प्रदर्शन बालियां निकलने के बाद के प्रदर्शन जैसा नहीं था। मक्के के अलग पौधे गिनने वाले मॉडल और लक्षित निराई के मॉडल भी अलग परीक्षणों से गुजरते हैं। पौधों की गिनती, उपज पूर्वानुमान और खरपतवारनाशक की बचत हर एक को अलग मानक से मापना चाहिए।

सटीकता बढ़ाने का एक तरीका किसी एक सेंसर पर जोर न देना है। गेहूं की उपज का पूर्वानुमान लगाने वाले एक अध्ययन में ड्रोन कैमरा, थर्मल सेंसर और मिट्टी की नमी के मान एक साथ मॉडल में देने पर किसी एक सेंसर के मुकाबले त्रुटि साफ घटी। उपग्रह और ड्रोन जोड़ने वाली विधियों में भी यही होता है। दूसरे शोधकर्ताओं ने फसल की स्थिति आंकने के लिए उपग्रह के व्यापक स्कैन और ड्रोन के सूक्ष्म विवरण को एक मशीन लर्निंग मॉडल में डाला। एक उपकरण दूसरे की खाली जगह भरता है।

नाइट्रोजन पढ़ने का तरीका भी बदल रहा है। वनस्पति सूचकांक पत्ती के हरेपन से नाइट्रोजन की स्थिति का परोक्ष अनुमान लगाता है। हाइपरस्पेक्ट्रल सेंसर अधिक संकरे परावर्तन बैंड इस्तेमाल करता है, लेकिन वह नाइट्रोजन अणुओं को सीधे नहीं गिनता। वह अंशांकन मॉडल से मान का अनुमान लगाता है, जो प्रयोगशाला में मापी नाइट्रोजन सांद्रता को परावर्तन स्पेक्ट्रम से मिलाता है। क्लोरोफिल, नमी और पत्ती की संरचना भी अनुमान को प्रभावित करते हैं। उर्वरक की ऊंची कीमत से रुचि बढ़ने पर भी स्क्रीन का नाइट्रोजन मानचित्र एक पूर्वानुमान है, जिसे अंशांकन और क्षेत्रीय सत्यापन चाहिए।

ड्रोन से बने नाइट्रोजन की कमी वाले क्षेत्रों को भौगोलिक सूचना प्रणाली में संग्रहीत मिट्टी डेटा पर चढ़ाने से परिवर्तनीय-दर उर्वरक प्रिस्क्रीप्शन मानचित्र बन सकता है। Agriculture में 2025 के एक शोध पत्र ने UAV और GIS डेटा जोड़ने वाली परिवर्तनीय-दर प्रयोग प्रणाली का प्रस्ताव रखा और परीक्षण किया। अध्ययन में प्रिस्क्रीप्शन मानचित्र बनाना वाणिज्यिक उर्वरक ट्रक के नोजल को वास्तविक समय में खोलने

और बंद करने जैसा नहीं है। वास्तविक प्रयोग तक पहुंचने वाले विवरण में एप्लिकेटर, स्थान त्रुटि, वाल्व प्रतिक्रिया और नियंत्रण भूखंडों को स्पष्ट करने वाला क्षेत्रीय परीक्षण चाहिए।

फसल बुवाई से कटाई तक एक तय क्रम में चलती है। धान नर्सरी से टिलरिंग, बालियां निकलने और दाना भरने तक जाता है; कोई अवस्था नहीं छोड़ता। हर कुछ दिन में उपग्रह से मिले वनस्पति-सूचकांक अवलोकनों की श्रृंखला टेढ़ी लहर बनाती है। बादलों से बिगड़े मानों को वृद्धि के वास्तविक बदलाव से अलग करना होता है। स्मूदिंग गणना के बाद इस श्रृंखला को समय क्रम याद रखने वाले डीप लर्निंग मॉडल में दिया जा सकता है, जो धान की मौजूदा अवस्था पढ़ता और दाने के पकने का अनुमान लगाता है। दूसरी विधि उपग्रह मानों को लंबे समय से स्थापित प्रक्रिया-आधारित फसल मॉडलों, जैसे APSIM और DSSAT, में लगातार डालकर पूर्वानुमान अद्यतन करती है।

जैसे भोर में नए अवलोकन से मौसम पूर्वानुमान सुधरता है, वैसे उपग्रह का हर नया मान आने पर फसल-वृद्धि मॉडल उपज का अनुमान थोड़ा बदलता है।

मान हमेशा सही नहीं होते। नीची घटा वाले दिन प्रकाशीय उपग्रह छाया वाले क्षेत्र को मुरझाई फसल समझ सकता है। धान का खेत और खेत की सड़क एक पिक्सेल में हों तो कंप्यूटर तय नहीं कर सकता कि उस वर्ग को खेत कहे या सड़क। अभी निकले खरपतवार और मक्के के पौधे रंग तथा रूप में लगभग समान होते हैं। मॉडल ने खरपतवार को मक्का और मक्के को खरपतवार गिना है। एक क्षेत्र में प्रशिक्षित मॉडल को अलग मिट्टी के रंग और धूप वाले दूसरे क्षेत्र में बिना बदले ले जाएं तो सटीकता अक्सर तेजी से गिरती है। उष्णकटिबंधीय या मानसूनी इलाकों में, जहां बादल और छाया आम हैं, एक ही फसल को अलग फसल बताने या अलग फसलों को एक में मिलाने की त्रुटि साफ बड़ी होती है।

यह तकनीक अलग देशों में अलग गति से जड़ पकड़ती है। केन्या की महिला लघु किसानों के 2026 के सर्वेक्षण में, उपकरणों के बारे में जानने की बात कहने वाली महिलाओं में भी एआई आधारित कृषि औजार वास्तव में इस्तेमाल करने वाली बहुत कम थीं। कारण एक-दूसरे पर चढ़े थे: स्मार्टफोन डेटा की कीमत, स्क्रीन पढ़ने और चलाने का बोझ, और सलाह पर अमल करने के लिए पैसे की कमी। मानचित्र कितना भी सटीक हो, अगले काम के लिए धन या मजदूर न हों तो वह स्क्रीन पर ही रहता है।

कीमत दूसरी बाधा है। हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरा वाला ठीक तरह सुसज्जित औद्योगिक ड्रोन सामान्य छोटे ट्रैक्टर से कहीं अधिक महंगा हो सकता है। उड़ान की अनुमति और तस्वीरें संसाधित करने वाले कर्मचारी भी चाहिए। ड्रोन की हर उड़ान कई से लेकर दसियों गीगाबाइट तस्वीरें पैदा करती है। खेत में ही उन्हें छांटने वाले छोटे कंप्यूटिंग उपकरण से प्रणाली को लैस करना छोटे खेत के लिए भारी बोझ है। अपने ड्रोन खरीदने के बजाय कई क्षेत्रों के खेत ड्रोन-एज़-अ-सर्विस मॉडल अपना रहे हैं, जिसमें कृषि सहकारी संस्था या सेवा कंपनी तस्वीर और विश्लेषण संभालती है।

बोझ घटाने के तकनीकी प्रयास चल रहे हैं। Agriculture पत्रिका में 2023 के एक शोध पत्र ने डीप लर्निंग कीट-पहचान मॉडल में ट्रांसफॉर्मर संरचना और सुपर-रिजॉल्यूशन तकनीक जोड़कर मॉडल इतना छोटा करने का शोध बताया कि उसे सीधे ड्रोन पर लगाया जा सके। हर तस्वीर क्लाउड सर्वर पर भेजकर उत्तर की प्रतीक्षा

करने के बजाय ड्रोन या खेत का छोटा कंप्यूटर मौके पर निर्णय लेता है। ऐसा मॉडल पहाड़ी खेतों में अधिक उपयोगी है, जहां संचार आसानी से टूटता है, या धीमी इंटरनेट सेवा वाले क्षेत्रों में।

भविष्य में तीन-परत वाली अवलोकन प्रणाली जड़ पकड़ सकती है: उपग्रह पहले असामान्य क्षेत्र पहचाने, ड्रोन वहां नजदीकी जांच के लिए उड़ान भरे और परिणाम जमीन में लगे सेंसर के मानों से जोड़ा जाए।

हम धान की मेड़ पर लौटते हैं। ड्रोन उतरता है और स्क्रीन पर एक लाल धब्बा बचा रहता है। तस्वीर नहीं बताती कि वह रोग है, छाया है या केवल जमा पानी। अंतिम उत्तर जूते पहनकर खेत में उतरने और पत्ती को हाथ से छूने वाला व्यक्ति देता है।

स्रोत और संदर्भ

1. Integrated AI and Remote Sensing Framework for Sustainable Agriculture and Environmental Monitoring. (2026).
<https://doi.org/10.64137/3108088x/ijaes-v2i2p101>
2. Development of a UAV-based crop disease detection system using deep learning algorithms to enhance precision agriculture. (2026).
<https://doi.org/10.2478/ijssis-2026-0031>
3. Systematic Literature Review: Machine Learning and Deep Learning Approaches for Crop Yield Prediction Using Remote Sensing Data. (2026).
<https://doi.org/10.37595/mediainfo.v25i2.496>
4. CMAViT: Integrating Climate, Management, and Remote Sensing Data for Crop Yield Prediction With Multimodal Vision Transformers. (2026). IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.
<https://doi.org/10.1109/jstars.2026.3669511>
5. Trimble Geospatial. (2026). eCognition Webinar: Deep Learning, UAVs and Precision Agriculture [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=alrseDYV8Lo>
6. Solvi. (2026). Webinar: From Sensors to Science: A Research Grade Drone Imaging Workflow for Agricultural Research [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=xTXOXkABmHU>
7. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों का मंत्रालय. (2026). दक्षिण कोरिया के पहले कृषि और वानिकी उपग्रह युग की शुरुआत: कोरियाई प्रायद्वीप के लिए तीन-दिवसीय अवलोकन चक्र की स्थापना. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामलों के मंत्रालय की प्रेस विज्ञप्ति.
<https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/578337/artclView.do>
8. Deep Learning Applications for Crop Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data and Red-Edge Vegetation Indices: Integrating Convolutional and Recurrent Neural Networks. (2025). Remote Sensing, 17(18), 3207.
<https://doi.org/10.3390/rs17183207>
9. Yield Prediction of Winter Wheat (Triticum aestivum) Varieties Using UAV-Derived Multispectral Vegetation Indices Across Growth Stages. (2026). Agronomy, 16(9), 939.
<https://doi.org/10.3390/agronomy16090939>
10. AgTechNavigator. (2026). Fertiliser shock fuels interest in hyperspectral satellites for precision nitrogen use.
<https://www.agtechnavigator.com/Article/2026/04/07/fertiliser-shock-fuels-interest-in-hyperspectral-satellites-for-precision-nitrogen-use/>

11. Artificial intelligence (AI) adoption and its perceptions among smallholder women farmers in Kenya. (2026).

<https://doi.org/10.1007/s44279-026-00626-z>

2.2

कंप्यूटर विजन और वृद्धि फीनोटाइप (फीनोमिक्स) विश्लेषण

धान के खेत के बीच उकड़ूं बैठा व्यक्ति फीता और भीगी नोटबुक पकड़े है। वह धान का एक पौधा चुनकर जड़ के आधार से बाली की नोक तक उसकी ऊंचाई मापता है। अगले पौधे पर जाकर वह एक पौधे से निकली शाखाओं, यानी टिलर, को एक-एक करके अंगुली से गिनता है। पूरा दिन काम करने पर भी एक व्यक्ति कुछ दर्जन से अधिक पौधे नहीं माप सकता। दर्ज आंकड़े उस शाम तालिका में उतारे जाते हैं और अगली सुबह काम फिर शुरू से आरंभ होता है।

पौधे की ऊंचाई, पत्ती का आकार और रंग तथा बालियों की संख्या को उसका फीनोटाइप कहा जाता है। फीनोटाइप बीज में लिखे जीन और उसकी वृद्धि को आकार देने वाली भूमि, मौसम तथा उर्वरक का संयुक्त परिणाम है। इसी कारण एक ही पैकेट के दो बीज पतझड़ तक अलग ऊंचाई के हो सकते हैं, अगर एक को भरपूर पानी वाले धान के खेत में और दूसरे को कम पानी वाले खेत में लगाया जाए। तेज बढ़ता धान जरूरी नहीं कि बेहतर बीज से आया हो। उसके खेत को केवल अधिक उर्वरक या बेहतर सिंचाई मिली हो सकती है। असली मूल्यवान जीन पहचानने के लिए एक ही बीज को कई खेतों में लगाना पड़ता है। शोधकर्ताओं को पर्यावरण से बने अंतर हटाकर बचा हुआ अंतर खोजना होता है।

प्रजनक यह अलग करना चाहता है कि जीन ने क्या बनाया और खेत के वातावरण ने क्या जोड़ा। पहले अनुभव और अंतर्ज्ञान इस फर्क को खोजने वाली आंख थे। अब कैमरे और गणना यह भूमिका निभाते हैं।

कंप्यूटर विजन मानव हाथ और आंख की क्षमता से आगे का काम करता है। एआई से जुड़ा कैमरा पौधे की तस्वीर लेकर उसकी ऊंचाई, पत्तियों की संख्या और रंग अपने आप पढ़ता है। इस विधि को हाई-थ्रूपुट फीनोटाइपिंग, यानी HTP, कहा जाता है। 2025 में पेश TraitDiscover कैमरों का संयोजन साफ दिखाता है। दृश्य रंग दर्ज करने वाला सामान्य कैमरा, मानव आंख से अदृश्य सैकड़ों तरंगदैर्ध्य अलग करने वाला हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरा, पत्ती की सतह का तापमान मापने वाला थर्मल कैमरा और गहराई मापने वाला त्रिआयामी लेजर स्कैनर एक भुजा पर साथ लगे हैं। इनके साथ पत्ती में वास्तव में चल रहे प्रकाश संश्लेषण की मात्रा बताने वाले फ्लोरेसेंस संकेत का सेंसर जोड़ा जाता है।

भुजा तीन-अक्ष ड्राइव पर बैठी है जो मिलीमीटर के क्रम में चलती है। वह आज उसी पत्ती की तस्वीर ठीक उसी स्थान से लेती है जहां कल थी। कुछ प्रणालियां अपनी रोशनी जलाकर सूर्यास्त के बाद भी तस्वीरें लेती हैं, जिससे सूर्य के कोण के साथ बदलती छाया का शोर बचता है।

पहले मान दो-आयामी तस्वीर से निकाले जा सकते हैं। ऊपर से ली तस्वीर में मिट्टी के रंग के बजाय हरे पिक्सेल कितनी जगह ढकते हैं, इसे गिनने पर कैनोपी कवर मिलता है। उस अनुपात को पत्तियों के आपसी

चढ़ाव की मात्रा से गुणा करने पर लीफ़ एरिया इंडेक्स मिलता है, जो बताता है कि जमीन की हर इकाई पर पत्ती की कितनी इकाई फैली है। सूचकांक जितना ऊंचा, धान के पौधे को धूप लेने और प्रकाश संश्लेषण करने के लिए उतनी बड़ी सतह मिलती है। पहले यह एक मान पाने के लिए पत्तियां एक-एक करके तोड़नी, स्कैनर पर रखनी और उनका क्षेत्र मापना पड़ता था। माप के बाद पौधा बढ़ना जारी नहीं रख सकता था।

तस्वीर पौधे को तोड़े बिना वही मान देती है और अगले दिन फिर ली जा सकती है। मगर समतल तस्वीर केवल ऊपर से दिखने वाली पत्तियां गिनती है। वह नीचे छिपी परतें नहीं गिन सकती। इसलिए अगला कदम त्रिआयामी पॉइंट क्लाउड है।

कैमरे और लाइडार पत्तियों, तनों और बालियों की सतह को बिंदुओं में बदलकर त्रिआयामी पॉइंट क्लाउड बनाते हैं। अनेक तस्वीरों को जोड़ने वाले न्यूरल रेडिएंस फ़ील्ड और Gaussian Splatting भी पौधे की त्रिआयामी संरचना फिर बनाने के लिए इस्तेमाल होते हैं। 2026 में जारी एक प्रीप्रिंट ने 26 पौधा-छवि अनुक्रमों पर औसत पुनर्निर्माण समय 6.52 मिनट से घटाकर 1.58 सेकंड करने की सूचना दी। फिर भी इसे प्रकाशन-पूर्व अध्ययन के सीमित परीक्षण का परिणाम ही कहना होगा, सहकर्मी समीक्षा पूरी कर चुका क्षेत्रीय मानक नहीं।

खेतों में चलने वाले कुछ वाहन कैमरे से फसल की कतार खोजकर उसी रेखा पर चलते हैं। पहले चर्चा किए चार-पहिया वाहन ने मक्का के खेत के 30 मीटर हिस्से में 6.2 से 12.5 सेंटीमीटर तक औसत पार्श्व त्रुटि दर्ज की। परीक्षण ने फसल की कतार का पीछा मापा। उसने धान और खरपतवार को पिक्सेल में अलग करके ब्लेड से खरपतवार नहीं हटाया। एक रोबोट पर आंख और हाथ दोनों लगाने का शोध जारी है, लेकिन केवल दिशा की सटीकता निराई के प्रदर्शन या एक दिन में तय क्षेत्र का स्थान नहीं ले सकती।

न्यूरल नेटवर्क पॉइंट क्लाउड में तने को उस बिंदु से अलग करता है जहां हर पत्ती शुरू होती है। Agriculture में 2025 के मक्का अध्ययन में विभाजन सटीकता प्रशिक्षण डेटा पर 92.6 प्रतिशत और परीक्षण डेटा पर 86.1 प्रतिशत थी। विभाजित पॉइंट क्लाउड से निकाले सात गुणों का मानव मापों से मजबूत सहसंबंध था। मगर सटीकता नहीं बताती कि एक दिन में कितने पौधे संसाधित हो सकते हैं। हजारों पौधे मापने वाला खेत का उपकरण बनने से पहले तस्वीर लेने, संचार और पॉइंट क्लाउड पुनर्निर्माण में लगने वाला समय फिर मापना होगा।

कैमरा हर दिन एक ही जगह से उसी धान के खेत की तस्वीर ले तो अकेली तस्वीर के बजाय तारीख वाला अभिलेख बनता है। रंग और रूप के बदलाव से ही कृत्रिम न्यूरल नेटवर्क रोपाई के बाद नए पौधों के जड़ पकड़ने का समय, टिलर निकलकर पौधों के फैलने का समय, बालियां आने और दाने पकने का समय अलग करता है। वास्तविक धान के खेत में जांची एक प्रणाली ने स्वचालित दिशा वाले कैमरे और थर्मल सेंसर से यह क्रम देखा। उसने पत्ती के रंग विश्लेषण से क्लोरोफिल सांद्रता से जुड़ा दैनिक मान और नाइट्रोजन स्थिति का सूचकांक बनाया।

किसान लंबे समय से जानते हैं कि बालियां आने के ठीक पहले, जब धान कुछ दिनों में पोषक तत्वों का अंतिम तेज अवशोषण करता है, ऊपर से उर्वरक देने पर दाना पूरा भरता है। मगर उन कुछ दिनों का ठीक समय

मानव आंख के लिए अनुमान रहा है। रोज की तस्वीरें जमा हुईं तो अनुमान तारीख बन गया। यही विधि दाना पकने की अंतिम तारीख बताए तो कंबाइन किराए पर लेने का दिन पहले तय हो सकता है।

धान और मक्का ही इन कैमरों के सामने आने वाली फसलें नहीं हैं। गेहूं की बालियों की तस्वीरों पर हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरा और कृत्रिम न्यूरल नेटवर्क लगाया जाए तो हर बाली खोले बिना Fusarium हेड ब्लाइट से प्रभावित दानों का अनुपात निकाला जा सकता है। कैमरा जमीन के नीचे आलू नहीं देख सकता। फिर भी वह ऊपर पत्तियों और तनों का आयतन तथा उस आयतन की वृद्धि की गति मापकर पहले अनुमान दे सकता है कि नीचे कंद कितने बड़े हो रहे हैं।

इन कैमरों, रोबोट और रेल प्रणालियों को लगाने की लागत बढ़ी है। एक ग्रीनहाउस के लिए रेल पर लगी छवि प्रणाली की कीमत दसियों मिलियन डॉलर है और त्रिआयामी स्कैनर तथा हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरा जोड़ने से कीमत फिर बढ़ती है। बने चित्र और पॉइंट क्लाउड भंडारण तेजी से भरते हैं, इसलिए उन्हें व्यवस्थित करने और गणना करने वाले सर्वर तथा कर्मचारी भी चाहिए। बड़े अनुसंधान संस्थान और प्रजनन कंपनियां यह लागत उठा सकती हैं, लेकिन केवल कुछ धान के खेत जोतने वाले किसान की पहुंच से बाहर है। कुछ देशों में शोध निधि लागत उठाकर प्रयोग केंद्रों पर उपकरण लगाती है। जहां यह सहयोग नहीं है, वहां पूंजी वाली बीज कंपनियां पहले पहुंचती हैं।

इसलिए इन कैमरों के नीचे खड़े अधिकतर पौधे नई किस्म चुनने वाले प्रजनन परीक्षणों के हैं। साधारण खेतों तक परिणाम तब पहुंचता है जब वह बीज और खेती की विधि बन चुका होता है।

एक तस्वीर में जीन और पर्यावरण के निशान साथ पढ़ने का यही अर्थ है। पत्ती गहरी हरी है या हल्की, और नसों के बीच रंग बराबर है या चिन्तीदार, यह किस्म से मिले रंग और पिछले कुछ दिनों में पत्ती के अनुभव के मेल से बना पैटर्न है। TraitDiscover ने सोयाबीन, मक्का और धान पर इन पैटर्नों को पढ़ने की जांच की। परिणाम बताने वाले 2026 के शोध पत्र के अनुसार प्रणाली ने दिखाई देने वाले लक्षणों से चार दिन पहले सूखे का तनाव पकड़ा। उसने हाथ से पौधा जांचने वाले व्यक्ति के दर्ज करने से चौबीस घंटे पहले खरपतवारनाशक की चोट पहचानी। मानव आंख पत्ती झुकने या रंग खोने के बाद समस्या पहचानती है।

कैमरा उससे पहले परावर्तित प्रकाश में आए सूक्ष्म बदलाव पकड़ता है। केवल तस्वीरों से इसी प्रणाली ने तुलना की कि अलग जलवायु क्षेत्रों में लगाई एक किस्म ने हर स्थानीय वातावरण के अनुरूप कितना ढलाव किया। दस हजार से अधिक प्रजनन पंक्तियां साथ लगाई जाएं तो तस्वीरें मानव छंटाई के बिना बता सकती हैं कि कौन सी पंक्ति सूखा सहती है और कौन रोग के प्रति संवेदनशील है। पहले ऐसा चयन पानी रोकने, रोग पहुंचाने और आंख से देखने के वर्षों में पूरा होता था।

कैमरा हमेशा सही नहीं होता। हवा पत्तियां हिलाती है और चलती पत्ती अगली तस्वीर में पिछली से अलग जगह दिखती है। अनेक कोणों से ली तस्वीरें चढ़ाकर त्रिआयामी रूप बनाने की गणना मानती है कि पौधा स्थिर रहेगा। हवा इस धारणा को तोड़ती है। बंद दरवाजों से हवा रोकने और स्थिर रोशनी वाले ग्रीनहाउस में स्थिति बेहतर है। समस्या खुले धान के खेतों में आती है। हर बार बादल सूर्य पार करता है तो छाया बदलती है। एक पल पहले चमकीली पत्ती अचानक छाया में आए तो रंग से पत्ती को मिट्टी से अलग करने वाला प्रोग्राम

छाया को नसों के बीच रोग का घाव समझ सकता है। अनुभवी निरीक्षक एक नजर में छाया और घाव अलग कर देता है।

केवल रंग और चमक की संख्याओं से निर्णय करने वाली मशीन अक्सर गलत अनुमान लगाती है।

घने पत्तों वाले खेत में ऊपर की पत्तियां नीचे की पत्तियों को अक्सर ढक देती हैं। कैमरा पत्ती का छिपा हिस्सा नहीं देख सकता, इसलिए वास्तविक से छोटा क्षेत्र निकालता है। एक प्रयोग में बिना सुधार छिपी पत्ती के पॉइंट क्लाउड की गणना से औसत क्षेत्र त्रुटि 15.88 वर्ग सेंटीमीटर और वास्तविक मान से सापेक्ष अंतर 22.11 प्रतिशत था। डीप लर्निंग सुधार ने छिपी सतह का आकार अनुमान लगाकर भरा तो त्रुटि 6.79 वर्ग सेंटीमीटर और सापेक्ष अंतर 8.82 प्रतिशत रह गया। वह खत्म नहीं हुआ। स्थिर ग्रीनहाउस रोशनी में प्रशिक्षित मॉडल को बिना बदले खुले खेत में ले जाएं, जहां दिन में कई बार बादल और धूप बदलते हैं, तो सटीकता अक्सर तेज गिरती है।

मॉडल के गलत होने के क्षण से अलग एक और समस्या है। डीप लर्निंग न्यूरल नेटवर्क पत्ती की तस्वीर को रोगी कह सकता है, लेकिन यह नहीं बता सकता कि क्यों। उसकी गणना में लाखों संख्याएं मिलती हैं और ऐसी तर्क-शृंखला नहीं बनती जिसे व्यक्ति पंक्ति-दर-पंक्ति देख सके। इसे संबोधित करने के लिए शोधकर्ता तस्वीर पर लाल हीट मैप चढ़ाते हैं जो बताता है कि मॉडल ने किस हिस्से को सबूत माना। लाल धब्बा असली घाव पर हो तो मॉडल अधिक विश्वसनीय है। वह अप्रासंगिक पृष्ठभूमि पर हो तो सही उत्तर संयोग हो सकता है। इसलिए प्रजनक कैमरे की संख्याएं बिना सवाल नहीं अपनाते। संदिग्ध परिणाम सामने हो तो वे अब भी खुद पत्ती पलटते हैं।

कोई प्रजनन कंपनी कई वर्ष में विकसित नई किस्म का अनुबंध केवल अस्पष्ट संख्या पर नहीं करेगी।

हम पहले धान के खेत पर लौटते हैं। जो हाथ कभी फीता लेकर उकड़ूं बैठता था, अब टैबलेट पकड़े है। रेल वाले कैमरे से अभी आई तस्वीर पर संख्याएं चढ़ी हैं। साथ में कल और परसों के मान छोटे ग्राफ में हैं। एक वर्ग में ऊंचाई का मान अचानक गिरकर लाल हो गया है। तस्वीर के क्षण हवा के झोंके ने एक पत्ती को दूसरी के पीछे कर दिया। स्क्रीन की संख्या पर विश्वास करना है या जूते पहनकर पौधे को फिर देखना है, यह निर्णय अब भी मनुष्य लेता है।

स्रोत और संदर्भ

1. Advancing computer vision frontiers for sustainable precision agriculture. (2025). Asian-Australasian Journal of Bioscience and Biotechnology, 10(3).
<https://doi.org/10.3329/aajbb.v10i3.83439>
2. Chen, H., Liu, S., Wang, C., Wang, C., Gong, K., Li, Y., & Lan, Y. (2023). Point cloud completion of plant leaves under occlusion conditions based on deep learning. Plant Phenomics, 5, 0117.
<https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0117>
3. Development and field evaluation of an autonomous four-wheel-drive agricultural vehicle tracking crop rows using computer vision technology. (2026).
<https://doi.org/10.56430/japro.1826810>

4. Gupta, S. K., & Agarwal, R. (2025). Comparative analysis of unmanned aerial vehicle and ground-level data using computer vision in agriculture. *Cureus Journal of Computer Science*, 2, es44389.
<https://doi.org/10.7759/s44389-025-10304-8>
5. Jia, H., Zhou, W., Zhou, W., Li, Y., Lu, H., & Wu, T. (2026). The turning point of 3D plant phenotyping: 3D foundation models enable minute-to-second cross-crop reconstruction and beyond. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2607.01753>
6. Pasupuleti, M. K. (2026). Vision transformers for crop intelligence and sustainable precision agriculture. *International Journal of Academic and Industrial Research Innovations (IJAIRI) Research Book Series*.
<https://doi.org/10.62311/nesx/rb-978-81-685658-6-9>
7. Selvaraj, M. (2025). AI-powered phenomics: Transforming crop science for climate-resilient future [Video]. IPPN (International Plant Phenotyping Network).
<https://www.youtube.com/watch?v=eoTvCz3YTzo>
8. Xu, L., Zhang, J., Li, S., Zhu, G., Zhao, H., Yang, J., Li, W., Nie, H., An, W., Yang, B., Hu, W., & Han, Z. (2025). TraitDiscover: An automated high-throughput platform for multimodal plant phenotyping with real-time trait analysis. *Smart Agricultural Technology*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375525009220>
9. Zhao, Y., Liu, D., Wang, Z., Yao, J., Yu, J., Wang, Z., & Jia, Z. (2025). Automated phenotyping of maize from 3D point clouds using an optimized deep learning approach. *Agriculture*, 15(23), 2430.
<https://doi.org/10.3390/agriculture15232430>
10. Zong, Z., Feng, B., Wang, S., Zhang, C., Li, C., & Xu, Y. (2025). Review of Research on Recognition and Monitoring of Plant Growth Phenotype Based on Deep Learning. *INMATEH Agricultural Engineering*, 81-99.
<https://doi.org/10.35633/inmateh-77-07>

2.3

कीटों और खरपतवारों का गहन शिक्षण-आधारित प्रारंभिक निदान

जुलाई में चावल के खेत में खड़ा एक व्यक्ति झुकता है और अपनी उंगलियों से चावल का एक पत्ता उठाता है। पत्तियों के किनारों पर पीली धारियाँ फैल रही हैं। मैं अपनी आंखों से नहीं बता सकता कि यह पानी की कमी, कीड़े या फफूंद के कारण है। जब मैं सेल फोन हाथ में उठाकर पत्ते पर चमकाता हूँ तो स्क्रीन पर बीमारी का नाम और उससे निपटने का तरीका सामने आ जाता है।

खाद्य फसलों को खाने वाली बीमारियाँ, कीड़े और खरपतवार हर साल दुनिया के फसल उत्पादन का 20 प्रतिशत से 40 प्रतिशत तक नष्ट कर देते हैं। यह संयुक्त राष्ट्र के खाद्य एवं कृषि संगठन द्वारा प्रस्तुत रेंज है। पौधों की बीमारियों से अर्थव्यवस्था को प्रति वर्ष \$220 बिलियन का नुकसान होता है, और आक्रामक कीड़ों की लागत \$70 बिलियन से अधिक होती है। वही डेटा यह दर्शाने वाले आंकड़े प्रदान नहीं करता है कि यदि रासायनिक और जैविक नियंत्रण हटा दिए गए तो नुकसान दोगुना हो जाएगा। अकेले नुकसान की भयावहता ही गश्त और शीघ्र निदान के लिए पर्याप्त है।

इस गैप को भरने के लिए जो तकनीक सामने आई, वह डीप लर्निंग है। जब आप एक फोटो डालते हैं, तो एक बहुस्तरीय कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क पत्ती के रंग, पैटर्न और शिरा बनावट की जांच करता है और एक बीमारी का नाम बताता है। यह मनुष्यों द्वारा पहले से निर्धारित नियमों का पालन नहीं करता है, जैसे कि यह कहना कि यदि पीला रंग एक निश्चित प्रतिशत से अधिक हो जाता है, तो यह एक बीमारी है। यदि आप इसे हजारों रोगग्रस्त पत्तियाँ दिखाते हैं, तो मशीन यह पता लगा लेगी कि क्या देखना है। चावल ब्लास्ट, गेहूँ लाल फफूंदी और आलू ब्लाइट जैसे अपरिचित नामों वाली बीमारियों का प्रयोगशाला में 98 प्रतिशत से अधिक सटीकता के साथ पता लगाया जाता है।

यदि आप केवल संख्याओं को देखें, तो यह मानव विशेषज्ञों से बेहतर है।

इस तकनीक के भीतर, कई मॉडल हैं, प्रत्येक एक अलग कार्य के लिए जिम्मेदार है। वर्गीकरण मॉडल जो पूरे पत्ते को देखते हैं और एक रोग का नाम निर्दिष्ट करते हैं, रेसनेट या एफिशिएंटनेट श्रृंखला का उपयोग करते हैं। YOLO श्रृंखला का पता लगाने वाला मॉडल चावल के खेत की तस्वीर के भीतर बिखरे हुए कई कीटों की गिनती और पता लगाने के लिए जिम्मेदार है। यूनेट श्रृंखला विभाजन मॉडल यह दर्शाने के लिए जिम्मेदार है कि पत्ती की सतह का कितना प्रतिशत रोगग्रस्त है और चावल के तने और खरपतवार की पत्तियों को पिक्सेल-दर-पिक्सेल आधार पर कहाँ विभाजित किया गया है।

समान गहन शिक्षा के साथ भी, यदि पूछे गए प्रश्न अलग-अलग हैं, तो उपयोग किया जाने वाला मॉडल अलग होगा।

समस्या प्रयोगशाला है। गहन शिक्षण मॉडल सिखाने के लिए व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले प्लांटविलेज डेटासेट में सफेद कागज या एक समान पृष्ठभूमि पर रखे पत्ते के सामने से ली गई लगभग 54,000 तस्वीरें शामिल हैं। प्रकाश सम है, कोई छाया नहीं है, और पत्तों के पीछे कोई घास-फूस, गंदगी या अन्य पत्तियाँ नहीं हैं। इस तरह से सीखी गई एक मॉडल ने इसी तरह से ली गई परीक्षण तस्वीरों पर 99 प्रतिशत से अधिक अंक प्राप्त किए। हालाँकि, चावल के पेड़ और खेत सफेद कागज नहीं हैं।

फ्रंटियर्स इन प्लांट साइंस में 2026 का पेपर संख्या में इस गिरावट को दर्शाता है। प्लांट विलेज के साथ सीखे गए ResNet50 मॉडल को समान परिस्थितियों में परीक्षण फ़ोटो पर 99.73 प्रतिशत सही पाया गया। हालाँकि, जब उसी मॉडल को वास्तविक क्षेत्र में ली गई प्लांटडॉक तस्वीरों पर लागू किया गया, तो सटीकता गिरकर 32.05 प्रतिशत हो गई। 67.7 प्रतिशत अंक मौके पर ही खो गए। गलत उत्तर देने पर भी मॉडल ने औसतन 79.76 प्रतिशत आत्मविश्वास बनाए रखा। उसने बिना कोई संकेत दिए कि वह गलत था, आत्मविश्वास से गलत निदान कर दिया।

जब शोधकर्ताओं ने ग्रैडकैम का उपयोग यह निर्धारित करने के लिए किया कि मॉडल फोटो में कहाँ दिख रहा है, तो टकटकी प्लांट विलेज फोटो में घाव के केंद्र की ओर निर्देशित थी, लेकिन फ़िल्ड फोटो में, टकटकी मिट्टी, खरपतवार और छाया की ओर बिखरी हुई थी। रंग की गहराई, पत्ती की सीमा की तीक्ष्णता और यहां तक कि तस्वीर में पत्ती के कब्जे वाले क्षेत्र के संदर्भ में दोनों डेटा सांख्यिकीय रूप से भिन्न थे।

इस कमी को पूरा करने की कोशिशें जारी रहीं। उसी पेपर ने आत्मविश्वास को कम करने के लिए एक सुधार तकनीक का प्रयास किया, लेकिन गलत निदान का जोखिम अभी भी अधिक था, और प्रतिकूल शिक्षा जिसने दो डोमेन को मिलान करने के लिए मजबूर करने की कोशिश की, उसने वास्तव में सटीकता को 32 प्रतिशत से घटाकर 25 प्रतिशत कर दिया। यहां तक कि DINOv2 जैसे नए मॉडल का उपयोग करते समय भी, जो पहले बिना लेबल वाली तस्वीरों से सीखा गया था, सटीकता केवल 43.2 प्रतिशत थी। शोधकर्ताओं ने निष्कर्ष निकाला कि मानक अंशांकन और हल्की अनुकूलन तकनीकें इस अंतर को कम कर सकती हैं, लेकिन खत्म नहीं कर सकतीं।

यह उस छात्र की तरह है जो केवल सफेद कागज के टुकड़े पर तस्वीरें देखकर पढ़ाई करता है और फिर वास्तविक परीक्षा कक्ष में शर्मिंदा होता है। यही कारण है कि आपको केवल प्रयोगशाला सटीकता संख्याओं पर भरोसा करते हुए, अपने मॉडल को कभी भी फ़िल्ड में नहीं भेजना चाहिए।

दूसरी बाधा यह है कि दुर्लभ बीमारियों की तस्वीरें बहुत कम हैं। कुछ बीमारियाँ केवल एक क्षेत्र या एक मौसम में दिखाई देती हैं, जिससे हजारों तस्वीरें एकत्र करना मुश्किल हो जाता है। इसलिए, शोधकर्ता तस्वीरों को घुमाने, पलटने और चमक को बदलने के आसान तरीकों से आगे जाते हैं, और नकली घावों की यथार्थवादी तस्वीरें बनाने और उन्हें प्रशिक्षण डेटा के साथ मिलाने के लिए जेनरेटिव एडवरसैरियल नेटवर्क (जीएएन) और प्रसार मॉडल का उपयोग करते हैं। यह विधि कम डेटा के साथ बीमारियों की पहचान दर में सुधार करती है, लेकिन यह मॉडल को भ्रमित भी कर सकती है जब नकली तस्वीर की बनावट वास्तविक घाव से थोड़ी अलग होती है।

खरपतवारों में अंतर करना कठिन होता है क्योंकि वे रंग और आकार में युवा फसलों के समान होते हैं। अंकुर चरण में रक्त का पता लगाने के लिए हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरों और गहन शिक्षण के संयोजन के बाद अनुसंधान, और एक बेहतर रेटिनानेट अध्ययन जिसमें चावल और आठ प्रकार के धान के खरपतवारों का पता लगाया गया, ने 94.1 प्रतिशत और 24.3 फ्रेम प्रति सेकंड की औसत सटीकता की सूचना दी। ये स्कोर उच्च-प्रदर्शन वाले उपकरणों से प्राप्त पहचान परिणाम हैं। रास्पबेरी पाई पर अपलोड किए गए हल्के मॉडल का उपयोग चावल के खेतों में केवल तभी किया जा सकता है जब इसकी गति और सटीकता फिर से मापी गई हो।

एक अध्ययन में स्क्रीन को तीन श्रेणियों में विभाजित करने के लिए सेगनेट का उपयोग किया गया: चावल, पृष्ठभूमि और खरपतवार। मुख्य खरपतवार सैजिटारिया ट्राइफोलिया था, जिसकी औसत पिक्सेल सटीकता 92.7 प्रतिशत और आवृत्ति-भारित प्रतिच्छेदन अनुपात 84.4 प्रतिशत था। पहली संख्या स्क्रीन पर सही पिक्सेल का प्रतिशत है, और बाद वाली संख्या मापती है कि अनुमानित क्षेत्र वास्तविक क्षेत्र के साथ कितना ओवरलैप होता है। भले ही वे एक ही स्क्रीन को देखते हों, दोनों संकेतक अलग-अलग सवालों के जवाब देते हैं।

सूखे के कारण सूख गई पत्तियों और रोगग्रस्त पत्तियों के बीच अंतर करने की समस्या समान है। एक पत्ता जो पानी की कमी के कारण पीला हो गया है और एक पत्ता जो फफूंद लगने के कारण पीला हो गया है, कैमरे के सामने लगभग एक ही रंग का दिखता है। इस मामले में सिर्फ वीडियो के आधार पर फैसला नहीं लिया जाता। मिट्टी में नमी सेंसर और तापमान सेंसर द्वारा भेजे गए मूल्यों को एक साथ रखा जाता है, और यदि मिट्टी में पर्याप्त पानी होने के बावजूद पत्तियां पीली हो जाती हैं, तो रोग के निदान की पुष्टि की जाती है। छवियों और सेंसर मूल्यों को ओवरलैप करने से गलत निदान कम हो जाता है।

इसके अलावा, यदि मॉडल स्क्रीन पर लाल रंग में प्रदर्शित होता है, जो पत्ती पर अंकित है, तो ग्रेडकैम जैसी स्पष्टीकरण तकनीक का उपयोग करके इसे एक बीमारी माना गया है, यहां तक कि जो किसान अविश्वास में हैं क्योंकि वे आधार नहीं जानते हैं, वे निर्णय की पुष्टि कर सकते हैं।

ऐसे क्षण भी आते हैं जब एक ग्रेडकैम भी पर्याप्त नहीं होता है। यदि आप कीटों के नाम, मौसम की स्थिति और मिट्टी की स्थिति के बीच कारण संबंध निर्धारित करने के लिए गहन अध्ययन को अकेला छोड़ देते हैं, तो यह कभी-कभी प्रशंसनीय लेकिन गलत उत्तर, तथाकथित मतिभ्रम देगा। इस समय, एक ज्ञान ग्राफ का उपयोग किया जाता है जो कीटों के शरीर विज्ञान और रोग प्रकोप की स्थितियों को पहले से सारांशित करता है। जब दृष्टि मॉडल किसी बीमारी का पता लगाता है, तो ज्ञान ग्राफ उस समय के तापमान, आर्द्रता और हाल की वर्षा के रिकॉर्ड की तुलना करता है ताकि यह निर्धारित किया जा सके कि बीमारी होने के लिए स्थितियां वास्तव में आवश्यक थीं या नहीं।

यदि दोनों निर्णय भिन्न हैं, तो सिस्टम पुष्टि के बजाय पुनः पुष्टि का अनुरोध करता है।

कोरिया की राष्ट्रीय फसल रोग और कीट प्रबंधन प्रणाली किसानों द्वारा अपलोड की गई रोगग्रस्त पत्तियों की तस्वीरों के आधार पर रोग के नामों की पहचान करने के लिए वीडियो निदान संचालित करती है। ग्रामीण विकास प्रशासन की 2024 की घोषणा में, औसत सटीकता 95 प्रतिशत से अधिक थी और मानव पहचान सटीकता 95.3 प्रतिशत थी। उस समय, निदान लक्ष्य 31 फसलें और 182 रोग और कीट थे। एकीकृत

पूर्वानुमान, जो मौसम और खेती के माहौल दोनों को पढ़ता है, विकास का अगला चरण है। एक तस्वीर से निदान और पूरे सीज़न के बाद की भविष्यवाणी के बीच अभी भी एक दूरी है।

केवल बड़े खेतों को ही इन प्रणालियों की सख्त जरूरत नहीं है। एशिया में चावल की खेती छोटे-छोटे खेतों पर केंद्रित है जिनमें कई ताड़ के आकार के चावल के खेत एक साथ जुड़े हुए हैं। जो किसान किसी पेशेवर कीट निदानकर्ता को बुलाने का जोखिम नहीं उठा सकते, उनके हाथ में मौजूद सेल फोन वस्तुतः उनका एकमात्र परामर्श बिंदु बन जाता है। जैसे-जैसे उपकरण की कीमतें कम होंगी, छोटे क्षेत्र सबसे पहले इस तकनीक का उपयोग करेंगे।

फसल रोग निदान की संख्या अलग-अलग चीजों को मापती है। सटीकता सही उत्तरों के समग्र प्रतिशत को मापती है, रिकॉल बिना चूके प्रतिशत को मापता है, एफ1 सटीकता और रिकॉल के बीच संतुलन को मापता है, और एमएपी कई निर्णय सीमाओं पर पता लगाने के प्रदर्शन को मापता है। कठिनाई का स्तर प्रयोगशाला पत्ती फोटोग्राफी, ड्रोन फुटेज, सूक्ष्म बीजाणु फोटोग्राफी और मोबाइल फील्ड फोटोग्राफी के बीच भिन्न होता है। चावल, मक्का और आलू मॉडल के प्रतिशत को एक साथ रखने से पहले, हमें डेटासेट और मेट्रिक्स का मिलान करना होगा।

चावल के खेतों के लिए बुद्धिमान कीट जाल उपकरण विकसित किया जा रहा है, जो लालटेन में एकत्रित कीड़ों की तस्वीर लेगा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता का उपयोग करके कीड़ों की प्रजातियों और संख्या की गणना करेगा। ग्रामीण विकास प्रशासन ने घोषणा की कि वह इस उपकरण को पतंगों और कीड़ों की तीन प्रजातियों पर लागू कर रहा है। इसे सामान्यीकृत नहीं किया जा सकता है कि सभी कीड़े वास्तविक समय में YOLO का निर्धारण करते हैं और आर्थिक क्षति सीमा से अधिक होने पर टेलीग्राम और फार्म ऐप्स के माध्यम से अलर्ट भेजते हैं। प्रत्येक उपकरण के लिए लक्ष्य प्रजाति, विकास चरण और चेतावनी विधि की अलग से पुष्टि की जानी चाहिए।

कीट मानचित्रों को लक्षित स्प्रे उपकरण से जोड़ने से आप केवल वहीं नोजल खोल सकते हैं जहां रसायनों की आवश्यकता होती है। अर्कांसस विश्वविद्यालय में तीन साल के परीक्षण में, सी एंड स्प्रे ने शाकनाशी अनुप्रयोग दरों को 43 प्रतिशत से घटाकर 59 प्रतिशत कर दिया। कम संवेदनशीलता से पामर ऐमारेथ की आबादी में प्रति वर्ष 280 प्रतिशत की वृद्धि का जोखिम भी दिखा। 2027 मशीन को पिछली पीढ़ी की तुलना में लगभग चार गुना अधिक खरपतवार प्रजातियों, साथ ही एक चौथाई इंच व्यास वाले छोटे खरपतवारों को पहचानने के लिए डिज़ाइन किया गया है। यह भी ध्यान दिया जाना चाहिए कि चूंकि कम दवा का उपयोग किया जाता है, छूटे हुए खरपतवार बीज छोड़ देते हैं।

दवा बचाने से लागत और पर्यावरणीय बोझ कम हो सकता है। फसल को कितने समय तक सुरक्षित रखा जाता है यह फसल, बीमारी, संक्रमण के समय, दवा और नियंत्रण पर निर्भर करता है। भले ही रोगग्रस्त स्थान का जल्दी पता चल जाए, लेकिन अगर दवा काम नहीं करती है या छिड़काव के तुरंत बाद बारिश हो जाती है तो नुकसान कम नहीं होगा। उपकरण, बैटरी और सॉफ्टवेयर अपडेट की लागत भी किसान की पसंद निर्धारित करती है। यही कारण है कि सामान्य कटौती दर के बजाय प्रत्येक फसल के लिए क्षेत्र परीक्षण की आवश्यकता है।

मॉडल को अधिक सटीक बनाने के लिए चावल के खेतों की अधिक तस्वीरों की आवश्यकता है। हालाँकि, किसी बाहरी सर्वर पर व्यक्तिगत फार्मों के कीटों और बीमारियों की सभी तस्वीरें एकत्र करने से गोपनीयता और सुरक्षा के मुद्दे उठते हैं। इसलिए, एक फ़ेडरेटेड शिक्षण पद्धति का प्रयास किया जा रहा है जिसमें फ़ोटो केवल प्रत्येक फ़ार्म के टर्मिनल में संग्रहीत की जाती हैं, और केवल सीखे गए परिणामों को विलय के लिए एक केंद्रीय सर्वर पर भेजा जाता है। हालाँकि, प्रत्येक खेत के लिए किस्मों और जलवायु में अंतर के कारण परिणामों के संयोजन की प्रक्रिया में सटीकता के अस्थिर होने की समस्या का समाधान अभी भी किया जा रहा है।

जितनी जल्दी निदान किया जाएगा, आप उतनी ही अधिक फसल की रक्षा कर सकेंगे। भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान की 2011 की एक रिपोर्ट में अनुमान लगाया गया है कि प्रोपिकोनाज़ोल के समय पर छिड़काव से गेहूं के रतुआ से होने वाले 2 से 3 मिलियन टन के नुकसान को रोका जा सकता है। इसे उपचारित और अनुपचारित क्षेत्रों के बीच वास्तविक उपज अंतर के रूप में नहीं पढ़ा जाना चाहिए। टमाटर लीफ कर्ल वायरस परीक्षण में, रोपाई के 30 दिन बाद संक्रमित होने पर 98.43 प्रतिशत और रोपाई के 75 दिन बाद संक्रमित होने पर 5.44 प्रतिशत की हानि बताई गई, लेकिन इसमें बार-बार न किए जाने वाले क्षेत्र परीक्षण होने की सीमा है।

इसका उपयोग अवधि को चित्रित करने के लिए एक उदाहरण के रूप में किया जाता है, लेकिन यह शोध डिजाइन को छिपाता नहीं है।

सूर्यास्त के समय, जो व्यक्ति सबसे पहले चावल के खेत पर खड़ा था, वह फिर से फ़ोन स्क्रीन पर लाल निशान को देखता है। घाव केवल चावल के खेत के एक कोने में कुछ पौधों पर ही बचे हैं। अपनी पीठ पर स्प्रे बोतल ले जाने के बजाय, वह हाथ में एक नक्शा लेकर उसकी ओर बढ़ता है जिसमें केवल कोने दिखाई देते हैं। चावल के बाकी खेत हरे रहते हैं।

स्रोत और संदर्भ

1. अल्बायरक, ए., कुरान, ई.सी., और कायाल्प, एफ. (2025)। सटीक कृषि में गहन शिक्षण दृष्टिकोण: फसल वर्गीकरण, रोग का पता लगाने और खरपतवार का पता लगाने की तकनीकों की व्यापक समीक्षा। कोन्या जर्नल ऑफ इंजीनियरिंग साइंसेज, 13(4), 1318-1360।
<https://doi.org/10.36306/konjes.1583103>
2. ग्रामीण विकास प्रशासन. (2024)। कृत्रिम बुद्धिमत्ता-आधारित फसल कीट छवि निदान प्रदर्शन।
https://rda.go.kr/board/boardfarminfo.do?CONTENT1=&dataNo=100000798541&mode=view&prgId=day_farmpmnmninfoEntry
3. ठाकुर, एम., और सोनी, बी. (2026)। सटीक कृषि के लिए गहन शिक्षण-आधारित फसल रोग का पता लगाना: एक सर्वेक्षण। एप्लाइड साइंस एंड इंजीनियरिंग टेक्नोलॉजी में रिसर्च के लिए इंटरनेशनल जर्नल, 14(3), 77562।
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2026.77562>
4. पसुपुलेटी, एम.के. (2026)। फसल बुद्धिमत्ता और टिकाऊ सटीक कृषि के लिए विजन ट्रांसफार्मर। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ एकेडमिक एंड इंस्ट्रियल रिसर्च इनोवेशन रिसर्च बुक सीरीज़।
<https://doi.org/10.62311/nesx/rb-978-81-685658-6-9>
5. नेज़ामी, एम., और कुमार, आर. (2026)। सटीक कृषि में फसल रोग का पता लगाने और सिंचाई सलाह के लिए मल्टीमॉडल एज इंटेलेजेंस। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ साइंस, स्टैटिस्टिकल मैनेजमेंट एंड टेक्नोलॉजी, 2(5), 1-9।
<https://doi.org/10.55041/ijst.v2i5.232>

6. मा, एक्स., डेंग, एक्स., क्यूई, एल., जियांग, वाई., ली, एच., वांग, वाई., और जिंग, एक्स. (2019)। धान के खेतों में अंकुरण अवस्था में चावल के अंकुर और खरपतवार छवि विभाजन के लिए पूरी तरह से संकेंद्रित नेटवर्क। प्लस वन, 14(4), ई0215676।
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215676>
7. इंजीनियरिंग प्रौद्योगिकी और विज्ञान में आधुनिकीकरण के अंतर्राष्ट्रीय अनुसंधान जर्नल। (2025)। म्यांमार चावल की फसलों के लिए मशीन लर्निंग का उपयोग करके कीट और रोग का पता लगाने वाली प्रणाली।
<https://doi.org/10.56726/irjmets81664>
8. असामी, एच., और नाकामुरा, टी. (2026)। अर्ध-पहाड़ी क्षेत्र में धान के खेतों के लिए स्वचालित खरपतवार दमन रोबोट का खरपतवार दमन और धान चावल की वृद्धि और उपज पर प्रभाव। जापानी जर्नल ऑफ क्रॉप साइंस, 95(1), 28-35।
<https://doi.org/10.1626/jcs.95.28>
9. जियांग, के., शि, डी., और झू, एक्स. (2026)। क्रॉस-डोमेन पादप रोग वर्गीकरण में विश्वसनीयता अंतर को मापना: नियंत्रित-से-क्षेत्र बदलाव के तहत मानक शमन तकनीकों की सीमित प्रभावकारिता को बेंचमार्क करना। फ्रंटियर्स इन प्लांट साइंस, 17, अनुच्छेद 1826962।
<https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1826962>
10. लवेट, जे. (2025)। सटीक कृषि अनुसंधान देखें और स्प्रे तकनीक की प्रभावशीलता को मापता है। अरकंसास विश्वविद्यालय कृषि प्रणाली प्रभाग, अरकंसास कृषि प्रयोग स्टेशन।
<https://aaes.uada.edu/news/see-and-spray-research/>
11. संयुक्त राष्ट्र का खाद्य एवं कृषि संगठन। (रा।)। सन्दर्भ को समझना. एफएओ कीट और कीटनाशक प्रबंधन।
<https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/about/understanding-the-context/en/>
12. कोरिया आईटी उद्योग समाचार। (2026)। मई 2026 में सेब, कैक्टस और हांगकांग पाम के कीटों और रोगों पर परामर्श... NCPMS AI निदान के साथ तत्काल प्रतिक्रिया संभव।
<https://www.koreaiin.com/news/903825>

अध्याय 3

वृद्धि पूर्वानुमान और संसाधन अनुकूलन

3.1

मशीन लर्निंग और डीप लर्निंग उपज पूर्वानुमान मॉडल

अप्रैल के अंत में, नर्सरी से अभी-अभी रोपे गए धान के पौधे खेत के पानी से मुश्किल से दो अंगुलियों की पोर जितने ऊपर उठे हैं। जड़ें अभी ठीक से जमी नहीं हैं और बालियों का कोई चिह्न नहीं है। फिर भी उसी समय प्रांतीय कृषि प्रशासन कार्यालय के मॉनिटर पर यह संख्या पहले ही दिख रही है कि वह खेत शरद ऋतु में चावल के कितने बोरे देगा। खेत अभी पूरी तरह हरा भी नहीं हुआ है।

उपज पहले से जानने का अर्थ भविष्य बताना नहीं है। यदि किसी शिक्षक को मालूम हो कि एक विद्यार्थी रोज कितने घंटे मेज पर बैठता है और पिछली परीक्षा में उसे कितने अंक मिले, तो वह अगली परीक्षा के अंकों की मोटी सीमा का अनुमान लगा सकता है। धान का खेत भी अलग नहीं है। उस खेत में पिछले कुछ वर्षों में कितनी कटाई हुई, इस वसंत में कितनी बारिश हुई और मिट्टी में कितनी उर्वरता बची है, इन्हें साथ रख दें तो शरद में आने वाली संख्या की रूपरेखा पहले ही उभर जाती है। यह गणना मनुष्य के लिए हाथ से करना बहुत भारी है। हर चर अलग-अलग आसान है, पर जब लाखों धान के खेतों और अन्य खेतों को एक साथ रखना हो तो मानव मस्तिष्क संभाल नहीं सकता।

इसलिए मशीन लर्निंग (Machine Learning) और डीप लर्निंग (Deep Learning) यह गणना संभालते हैं।

मॉडल मौसम, मिट्टी, उपग्रह चित्र और पिछले फसल रिकॉर्ड देखता है। फसल की संचित ऊष्मा मापने वाले ग्रीडिंग डिग्री डेज़ (GDD) सामान्यतः दैनिक अधिकतम और न्यूनतम तापमान के औसत में से फसल-विशिष्ट आधार तापमान घटाकर, ऋणात्मक मान को 0 मानकर, जोड़े जाते हैं। ऊपरी तापमान सीमा रखनी है या नहीं, यह मॉडल पर निर्भर है। मिट्टी की नमी और पोषक विश्लेषण, तथा बुवाई, सिंचाई और उर्वरक रिकॉर्ड भी साथ लिए जाते हैं। उपग्रह का सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) पत्तियों की हरियाली और वृद्धि की दशा परोक्ष रूप से दिखाता है, और बादल वाले दिन रडार डेटा प्रकाशीय चित्रों के रिक्त स्थान भर सकता है।

कुछ विद्वानों ने सैकड़ों शोधपत्र जमा कर गिना है कि कौन-सा डेटा कितना इस्तेमाल हुआ। उस गणना में तापमान वाले 88 अध्ययन सबसे अधिक थे और वर्षा वाले 79 अध्ययन उनके बाद थे। मिट्टी का प्रकार, खेती प्रबंधन रिकॉर्ड और उपग्रह डेटा आगे थे, जबकि रोग-कीट प्रकोप रिकॉर्ड और मिट्टी के पोषक मान अपेक्षाकृत कम इस्तेमाल हुए। हर तरह का डेटा डाल देने से उत्तर बेहतर नहीं होता। उल्टे, अनावश्यक संख्याएँ मिल जाने पर मॉडल गलत जगह नियम ढूँढने लगता है। इसलिए शोधकर्ता सैकड़ों उम्मीदवार चरों में से केवल वास्तव में उपयोगी चरों को चुनने पर मेहनत लगाते हैं।

डेटा को जोड़कर उत्तर देने के कई तरीके हैं। रैंडम फॉरेस्ट अनेक निर्णय-वृक्षों के उत्तर इकट्ठा करता है और LSTM तापमान, वर्षा तथा वनस्पति सूचकांक की समय-धारा याद रखता है। मौसम रिकॉर्ड, कृषि प्रबंधन और उपग्रह चित्र साथ पढ़ने वाले मल्टीमॉडल मॉडल भी आए हैं। 2026 के FARM अध्ययन ने R^2 0.8105

रिपोर्ट किया, जो कनाडा के कैनोला की काउंटी-स्तरीय उपज को 30 मीटर ग्रिड में अंतर्वेशित कर बनाए लेबलों के लिए था। स्वतंत्र वास्तविक कंबाइन माप से मिलाए गए परीक्षण में लगभग $R^2 = 0.768$ था। यह खेत में सीधे मापी उपज के मिलान से एक स्तर दूर, मानचित्र पर किया गया मूल्यांकन था।

फसल के शरीर-क्रिया विज्ञान को समीकरणों में उतारने वाले APSIM या DSSAT को मशीन लर्निंग से मिलाने का तरीका भी है। यदि खेती मॉडल से निकला पत्ती क्षेत्रफल, मिट्टी नमी और नाइट्रोजन तनाव सीखने के डेटा में जोड़ा जाए, तो शारीरिक नियम और प्रेक्षण डेटा दोनों साथ दिखते हैं। कुछ अध्ययनों में संयुक्त मॉडल शुद्ध सांख्यिकीय मॉडल से बेहतर रहे, पर सुधार की चौड़ाई फसल, क्षेत्र, आधार मॉडल और मूल्यांकन वर्ष के अनुसार बहुत बदली। केवल भौतिक नियम जोड़ देने से हर बार एक ही मात्रा में त्रुटि घटने की गारंटी नहीं मिलती।

पूर्वानुमान प्रदर्शन पढ़ते समय पहले सूचकों की दिशा अलग करनी चाहिए। निर्धारण गुणांक $R^2 = 1$ के जितना निकट होगा, प्रेक्षणों का परिवर्तन उतना अच्छा समझाएगा; 0 पर वह केवल औसत मान वाले पूर्वानुमान जैसा है। RMSE और MAE पूर्वानुमान और प्रेक्षण की दूरी मापते हैं, इसलिए कम होना बेहतर है। चीन के धान, अमेरिका के मक्का और यूरोप के गेहूँ के अंक तुलना करने के लिए देखना होगा कि समान सूचक और स्वतंत्र परीक्षण डेटा इस्तेमाल हुए या नहीं। संख्या के आकार से पहले यह देखना चाहिए कि वह किस आधार पर मापी गई है।

मॉडल ने वह संख्या कैसे निकाली, भीतर देख पाना कठिन होना भी बाधा है। विशाल डेटा को पूरा निगलने वाली डीप लर्निंग के भीतर झाँकना और कठिन होता है। किसान के लिए बिना आधार मालूम हुई संख्या पर भरोसा करके उस वर्ष की खाद योजना बनाना संकोच की बात है। इस समस्या के लिए आया उपकरण SHAP है। SHAP हर पूर्वानुमान के लिए संख्यात्मक रूप से दिखाता है कि किस चर ने कितना योगदान दिया। गर्मियों के सूखे ने अपेक्षित उपज कितनी घटाई और उसके बाद के साफ मौसम ने उस हानि की कितनी भरपाई की, यह मदवार खुलता है। ऐसा स्पष्टीकरण जुड़ने पर किसान पूर्वानुमान पर अधिक भरोसा कर सकता है।

समस्या तब आती है जब खेत ऐसी गर्मी से मिलता है जो उसने कभी नहीं झेली। एक क्षेत्र में सीखा मॉडल, अलग मिट्टी, जलवायु, किस्म और खेती पद्धति वाले पड़ोसी क्षेत्र में अधिक त्रुटि कर सकता है। शोधकर्ता इसे डोमेन शिफ्ट कहते हैं। सूखा और लू साथ आने वाले वर्ष जैसे प्रशिक्षण डेटा में दुर्लभ हालात में यह समस्या अधिक दिखाई देती है। किसी स्थान के 95 प्रतिशत जैसे निराधार प्रतिनिधि अंक से बेहतर है कि प्रशिक्षण क्षेत्र के बाहर के स्वतंत्र परीक्षण का परिणाम दिखाया जाए।

जहाँ प्रेक्षण स्टेशन विरल हैं, वहाँ मॉडल का मौसम भी विरल है। पर्वतीय क्षेत्रों में निकट दूरी पर भी बारिश और तापमान अलग हो सकते हैं, पर विरल प्रेक्षणों को बड़े ग्रिड में फैलाने पर स्थानीय अंतर मिट जाते हैं। नेपाल के मैदान और पर्वत तथा जॉर्डन की शुष्क कृषि भूमि पर शोध दिखाते हैं कि प्रेक्षण नेटवर्क का घनत्व और डेटा गुणवत्ता पूर्वानुमान की नींव तय करते हैं। जिस वर्षा या पाले का रिकॉर्ड नहीं है, उसे मॉडल भी नहीं जान सकता।

2026 में Frontiers in Plant Science में प्रकाशित AgriFM ने 24 लाख field-season समय-श्रृंखलाओं पर प्रशिक्षण लिया। पिछले डेटा के पूर्वव्यापी मूल्यांकन में उसने केवल उपग्रह डेटा वाले आधार मॉडल से 18 से 24 दिन पहले सूखे और लू के संयुक्त तनाव की सूचना दी। शोध दल ने कहा कि वास्तविक किसान उपयोगिता दिखाने के लिए अग्रदर्शी परीक्षण चाहिए। 18 दिन का यह आंकड़ा आने वाली आपदा का मैदान में पूर्वानुमान देने वाली व्यावसायिक सेवा का रिकॉर्ड नहीं, बल्कि बीती घटनाओं को फिर से हल करने वाले परीक्षण में प्रारंभिक चेतावनी का अंतर है।

यह सब मुफ्त नहीं है। उपग्रह डेटा लाना, कई वर्षों का मौसम डेटा खरीदना और मॉडल चलाने को सर्वर किराये पर लेना, सबकी लागत है। हजारों हेक्टेयर खेती करने वाला बड़ा खेत उपज वृद्धि से इसे आसानी से भर सकता है, पर कुछ माजिगी धान उगाने वाले छोटे किसान के लिए सदस्यता शुल्क ही बोझ है। इसलिए सरकार या सहकारी संस्था अक्सर पूर्वानुमान सेवा खरीदकर किसानों को मुफ्त या बहुत कम दाम पर देती है।

फिर भी, पूर्वानुमान सही निकले तो लाभ बहुत हैं। आलू का उदाहरण लें: खोदने से पहले उसी वर्ष कितना आलू निकलेगा जान लेने से भंडार गृह आरक्षण और भेजने की योजना कटाई से महीनों पहले बनाई जा सकती है। किसान शरद आने से पहले तय कर सकता है कि कब मजदूर बुलाने हैं और कब ट्रक। गेहूँ या सोयाबीन उगाने वाला किसान भी पहले जानकर कि कौन-सा क्षेत्र अच्छा और कौन कमजोर है, केवल कमजोर क्षेत्र को अतिरिक्त खाद देकर खर्च घटा सकता है।

खाद्य सुरक्षा संभालने वालों के लिए इन संख्याओं का अलग भार है। यदि गर्मियों में ही यह अनुमान लगे कि पूरे देश की गेहूँ या मक्का उपज सामान्य वर्ष से कितनी कम होगी, तो शरद कटाई समाप्त होने से पहले कहाँ से कितना खरीदना है उसकी बातचीत शुरू हो सकती है। उलटे, भरपूर फसल की आशा वाले वर्ष में महँगे दाम पर जल्दी आयात करने का कारण नहीं है। ऐसे निर्णय कुछ सप्ताह देर हों तो अंतरराष्ट्रीय अनाज बाजार में दाम बढ़ सकते हैं या माल हाथ से निकल सकता है।

कोरिया का कृषि एवं वानिकी उपग्रह 7 जुलाई 2026 को प्रक्षेपित हुआ और पहले संपर्क में सफल रहा। 5 मीटर विभेदन, 120 किलोमीटर अवलोकन पट्टी, 5 वर्णक्रमीय बैंड और लगभग 3 दिन की पुनरावृत्ति के विनिर्देश सही हैं। लेकिन उपग्रह अभी आरंभिक संचालन और चित्र अंशांकन के चरण में है, और नियमित मिशन 2027 में शुरू होना है। कृषि प्रेक्षण और आपदा आकलन से जोड़ने की योजना है, किंतु बीमा भुगतान की स्वचालित गणना या क्षति आकलन अवधि के सप्ताहों से दिनों तक घट जाने के परिणाम पहले ही आ गए हों, ऐसा नहीं है। प्रक्षेपण सफलता और व्यावसायिक सेवा के प्रभाव को एक ही काल में नहीं लिखना चाहिए।

बाजार में संख्या आते ही दाम चलते हैं। अमेरिका में कृषि विभाग का मासिक आपूर्ति-मांग अनुमान जारी होने पर मक्का और सोयाबीन वायदा कीमतें हिलती हैं। अधिकारियों की हाथ से की गई गणना के साथ XGBoost जैसे मशीन लर्निंग एल्गोरिदम से रोज उपज फिर गिनकर तुलना करने वाले स्वचालित तंत्र भी परखे जा रहे हैं। पूर्वानुमान एक दिन भी तेज और सही हो जाए तो सूचना पहले पाने वाला पक्ष खरीद-बिक्री निर्णय में आगे निकलता है।

फिर अप्रैल की नर्सरी पर लौटिए। पानी से केवल दो अंगुलियों की पोर ऊपर निकली वह मंडई शरद में सचमुच कितने बोरे बनेगी, इसे अपनी आँखों से जानने वाला अभी कोई नहीं है। सर्वर की संख्या ने उत्तर पहले ही तय

कर लिया है, पर खेत में बैठकर मिट्टी छूने वाला व्यक्ति शायद कुछ और महसूस कर रहा हो। शरद आने पर स्क्रीन की संख्या और उसकी उँगलियों का अंदाज़, इनमें से कौन सही होगा?

स्रोत और संदर्भ

1. Chowdhury, P., Maiti, B., Mudi, L. K., & Chatterjee, S. (2026). Artificial intelligence for sustainable agriculture: A review of machine learning and deep learning techniques for crop growth and yield prediction. *International Journal of Applied Resilience and Sustainability*, 2(3), 176-207.
<https://doi.org/10.70593/deepsci.0203007>
2. Haikal, M. F., & Furqon, M. A. (2026). Systematic literature review: Machine learning and deep learning approaches for crop yield prediction using remote sensing data. *Media Informatika*, 25(2), 126-137.
<https://doi.org/10.37595/mediainfo.v25i2.496>
3. Jagadeesan, J., & Nagarajan, R. (2026). A review of federated machine learning for crop yield prediction: Sustainable integration of IoT and smart agriculture. *Indian Journal of Computer Science and Technology*, 2026(502), 532-543.
<https://doi.org/10.59256/indjst.20260502059>
4. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. (2026). CMAViT: Integrating climate, management, and remote sensing data for crop yield prediction with multimodal vision transformers.
<https://doi.org/10.1109/jstars.2026.3669511>
5. Albahli, S., & Shiraz, M. (2026, July). A multimodal geospatial foundation model anticipates crop stress and yield failure across climates and species. *Frontiers in Plant Science*, 17, 1883297.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1883297>
6. Nejadshamsi, S., Zhang, Y., Porth, B., Zaki, S., Porth, L., & Khoshdel, V. (2026). FARM: Crop yield prediction via regression on Prithvi's encoder for satellite sensing. *AgriEngineering*, 8(1), 2.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering8010002>
7. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामले मंत्रालय. (2026, 5 जुलाई). कोरिया के पहले कृषि एवं वानिकी उपग्रह युग का उद्घाटन, हर 3 दिन पूरे कोरियाई प्रायद्वीप के प्रेक्षण से वैज्ञानिक कृषि प्रशासन की ओर आरंभ. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामले मंत्रालय प्रेस विज्ञप्ति.
<https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/578337/artclView.do>
8. NewsPim. (2026, 3 जुलाई). कोरिया का पहला कृषि एवं वानिकी उपग्रह प्रक्षेपित... फसल वृद्धि से आपदाओं तक हर 3 दिन सटीक प्रेक्षण.
<https://www.newspim.com/news/view/20260703000799>

3.2

सटीक सिंचाई और परिवर्ती दर उर्वरीकरण (VRA) नियंत्रण

जुलाई की दोपहर, जब सूर्य सिर पर है, किसान पानी के प्रवेश के पास मिट्टी को उँगली से दबाता है। पानी आने वाले मुहाने के पास धान के पौधे गहरे हरे और भरे हुए हैं, पर खेत के अंदरूनी कोने के पौधों की पत्ती की नोक पीली और सूखी है। एक ही दिन रोपे गए और एक ही बारिश पाने वाले धान में, केवल 20 कदम के भीतर, वृद्धि अलग है। हाथ में फोन की स्क्रीन पर खेत को चौकोर खानों में बाँटने वाला मानचित्र है: नीले खाने पर्याप्त पानी वाले और लाल खाने पानी की कमी वाले हैं।

एक ही खेत में भी मिट्टी का स्वभाव जगह-जगह बदलता है। किसी क्षेत्र में रेत अधिक होने से पानी जल्दी निकलता है, किसी में चिकनी मिट्टी अधिक होने से पानी देर तक ठहरता है। ढाल वाले खेत में ऊपर सूखा और नीचे कीचड़ भरा होता है। मिट्टी में बिजली कितनी आसानी से बहती है मापने वाले विद्युत चालकता मान, अम्लता दिखाने वाले हाइड्रोजन आयन सांद्रता (pH) मान और समोच्च रेखाओं को ज्यों का त्यों उतारने वाला डिजिटल ऊँचाई मानचित्र मिलाएँ तो दिखता है कि एक जैसा लगने वाला खेत वास्तव में अनेक छोटे खेतों में बँटा था।

पुराना तरीका ऐसा था जैसे कक्षा के 30 बच्चों को एक-एक समान आकार की पानी की बोतल देना। प्यासे बच्चे और भरे हुए बच्चे, दोनों को समान मात्रा मिलती थी। परिणामतः कहीं खाद बचकर वर्षा में धुलकर नाले में जाती, तो कहीं खाद कम होने से धान दुबला पड़ता। बची खाद मिट्टी को नमकीन बनाने वाले लवणीकरण में जाती है, और जलमग्न धान के खेतों से ग्रीनहाउस गैस भी अधिक निकलती है।

सटीक सिंचाई और परिवर्ती दर उर्वरीकरण खेत के हर क्षेत्र के लिए अलग नुस्खा बनाने की तकनीक है। मिट्टी नमी को धारिता या TDR सेंसर से मापा जा सकता है। विद्युत चालकता सेंसर मिट्टी में घुले आयनों की समग्र स्थिति बताते हैं, न कि नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटैशियम को अलग-अलग। आयन-चयनात्मक सेंसर को भी नमी, तापमान और अन्य आयनों के हस्तक्षेप का सुधार करना पड़ता है। सेंसर स्क्रीन की सांद्रता और फसल की वास्तविक पोषक कमी एक बात नहीं हैं। नुस्खे के लिए क्षेत्रीय सेंसर, मिट्टी परीक्षण और फसल वृद्धि को साथ देखना चाहिए।

केवल भूमिगत सेंसर से पूरे खेत का पता नहीं चलता। ड्रोन और उपग्रह वह कमी भरते हैं। ड्रोन कैमरे से ली पत्तियों की रंगत वनस्पति सूचकांक बनती है, पर जब गहरा हरा खेत को घनी तरह ढँक लेता है तो पुराना सूचकांक (NDVI) हर जगह समान ऊँचा मान दिखाकर क्षेत्रों का अंतर छिपा देता है। इसलिए निकट अवरक्त और उससे थोड़ा अधिक लाल तरंगदैर्घ्य साथ पढ़ने वाले नए सूचकांक (NDRE) में बदलने पर नाइट्रोजन कम और अधिक वाले खाने मानचित्र पर रंगों से अलग होते हैं। उपग्रह चित्र भी यही कर सकता है।

जिन खेतों में ड्रोन उड़ाने और सेंसर गाड़ने की क्षमता नहीं, वहाँ कभी-कभी कुछ उपग्रह चित्र, प्रमुख घटक विश्लेषण नामक सांख्यिकीय विधि और मशीन लर्निंग एल्गोरिदम से ही मिट्टी नमी व पोषक कमी वाले क्षेत्र चुने जाते हैं।

नुस्खा मानचित्र का खान आकार सेंसर, उपग्रह, ड्रोन और कृषि मशीन की स्थान सटीकता से बदलता है। 1 मीटर गुणा 1 मीटर हर खेत का मानक नहीं है। मानचित्र और GPS से जुड़ा स्प्रेडर क्षेत्रवार वाल्व नियंत्रित कर सकता है, और सिंचाई वाल्व मिट्टी नमी तथा मौसम पूर्वानुमान साथ पढ़ते हैं। 2025 के हैलापेन्यो ग्रीनहाउस के 8 सप्ताह परीक्षण में रीडिफोर्समेंट लर्निंग नियंत्रण ने स्थायी मुरझान बिंदु से ऊपर मिट्टी नमी रखते हुए परंपरागत समय नियंत्रण की अपेक्षा सिंचाई 36.9 प्रतिशत घटाई। यह एक ग्रीनहाउस और एक फसल का परीक्षण है, इसे खुले खेतों की पूरी स्वचालित सिंचाई क्षमता नहीं कहा जा सकता।

धान खेती में खेत को लगातार जलमग्न न रखकर पानी भरने और निकालने वाली बारी-बारी गीला-सूखा विधि इस्तेमाल होती है। थाईलैंड की राष्ट्रीय विज्ञान और प्रौद्योगिकी विकास एजेंसी ने 2026 में अल्ट्रासोनिक जल-स्तर सेंसर वाला HandySense फिचर, लाम्पांग और चियांग माई के 20 से अधिक धान शोध केंद्रों में लगाया। पानी 15 से 30 प्रतिशत और मीथेन 30 से 50 प्रतिशत घटाने के आंकड़े इन सभी केंद्रों का तय मापा औसत नहीं, बल्कि संस्था के बताए अपेक्षित प्रभाव हैं। डेटा संग्रह की स्थापना और प्रभाव-सत्यापित खेत परीक्षण को अलग रखना चाहिए।

धान ने बारी-बारी गीला-सूखा सिंचाई का पालन किया या नहीं, रडार उपग्रह और जल-स्तर सेंसर से देखा जा सकता है। 2026 के अध्ययन ने परिस्थिति के अनुसार लगभग 80 से 93 प्रतिशत पहचान सटीकता बताई। यह परिणाम दूर से सिंचाई कार्यान्वयन की पुष्टि का शोध है। यह ऐसा मैदान परिणाम नहीं है कि ब्लॉकचेन खाता तुरंत किसान को कार्बन क्रेडिट आय लौटा दे। कार्बन बाजार में प्रयोग के लिए क्षेत्र मापन, अनिश्चितता गणना, स्वतंत्र सत्यापन और व्यापार नियम और चाहिए।

खेत फसलों में ड्रिप सिंचाई और मिट्टी नमी सेंसर को जोड़कर जड़ों के आसपास केवल जितना चाहिए उतना पानी दिया जाता है। रुक-रुक कर पानी देने वाली पल्स सिंचाई मिट्टी दशा के अनुसार जल उपयोग दक्षता बढ़ा सकती है। ड्रोन नाइट्रोजन मानचित्र और ढाल डेटा को उर्वरीकरण योजना में जोड़ने के शोध भी चल रहे हैं। मल्टी-एजेंट और नैव बेयस जैसे गणना तरीके भी परखे जा रहे हैं, पर जल बचत, उर्वरक कमी और उपज वृद्धि एक साथ दिखाई गई या नहीं, इसकी हर फसल के क्षेत्र डेटा से फिर जाँच चाहिए।

बड़े खेतों में सेंटर पिवट सिंचाई मशीन की प्रत्येक नोजल का प्रवाह बदला जा सकता है या उपग्रह से नाइट्रोजन नुस्खा मानचित्र बनाया जा सकता है। ब्रिटेन के YaraPlus ने 2026 में घासभूमि किसानों को मुफ्त नाइट्रोजन परिवर्ती दर उर्वरीकरण मानचित्र दिया। फोन में मानचित्र मुफ्त दिखता है, पर खेत में खाद मात्रा बदलने के लिए मानचित्र पढ़ने वाला संगत स्प्रेडर चाहिए। मानचित्र मुफ्त हो तो भी स्प्रेडर का मूल्य किसान को देना है।

लेकिन इस तकनीक की छाया भी है। मिट्टी में लंबे समय से दबे सेंसर लवण और रासायनिक प्रतिक्रिया के कारण समय के साथ गलत संख्याएँ दे सकते हैं, जिससे जो जगह कल गीली बताई थी उसे आज सूखी दिखाएँ। गलत संख्या पर भरोसा कर गलत सिंचाई करने वाले किसान कभी नुस्खा मानचित्र बंद कर पुरानी

पद्धति पर लौटते हैं। हर कुछ महीनों में किसी व्यक्ति को खेत में जाकर सेंसर मान को हाथ से मापे मान से मिलाना पड़ता है; वायरलेस सिग्नल से दूर पर्वतीय घाटी के खेत में मेहनत से लगाया सेंसर डेटा की एक पंक्ति भेजे बिना रुक सकता है।

ऐसी त्रुटि घटाने के लिए सेंसर के पास छोटा गणना यंत्र रखकर आंकड़े तुरंत छानने वाला स्वचालित अंशांकन कार्यक्रम लगाया जाता है, फिर भी वह मानव हाथ को पूरी तरह नहीं बदलता।

लागत और भारी है। परिवर्ती दर उर्वरक नोजल एक, ड्रोन एक और कई सेंसर जुटाने में सामान्य छोटे किसान की एक वर्ष की शुद्ध आय से अधिक धन लगता है। कुछ किसान पहले वर्ष बचत की आशा में उपकरण लेते हैं, फिर दूसरे वर्ष सेंसर त्रुटि और संचार टूटने पर उपकरण गोदाम में रखकर फावड़े और नजर के अनुमान पर लौट जाते हैं।

केवल उपकरण की कीमत घटाने से प्रसार की समस्या नहीं सुलझती। अंतरराष्ट्रीय खाद्य नीति अनुसंधान संस्थान ने प्रशिक्षण, ऋण, आपूर्ति श्रृंखला और मरम्मत कर्मियों की कमी को छोटे स्तर की सिंचाई तकनीक की बाधा कहा। टिग्रे उत्तरी इथियोपिया में है और Southern Tigray Zone उस राज्य का दक्षिणी क्षेत्र है। उपकरण टूटने पर पुर्जा पहुँचने का रास्ता, पानी बाँटने का नियम और कर्ज वहन करने लायक आय साथ हों तभी पंप अगले मौसम में भी चलेगा।

तकनीक जिस ओर बढ़ रही है वहाँ खेत को कंप्यूटर में प्रतिरूपित करने वाले डिजिटल ट्विन हैं। सेंसर मान से कुछ दिन बाद की मिट्टी नमी गिनकर कई सिंचाई परिदृश्य तुलना करने के परीक्षण जारी हैं। पूरे कृषि क्षेत्र के पानी और बिजली के आवंटन में क्वांटम कंप्यूटिंग लगाने और बचत रिकॉर्ड को कार्बन संपत्ति की तरह व्यापार करने की कल्पना अभी दृष्टि और शोध प्रस्ताव के निकट है। किसानों पर प्रभाव सिद्ध तकनीक और भविष्य में परखे जाने वाले गणना तरीके को एक ही काल में नहीं रखना चाहिए।

फिर सुबह-सवेरे की मेड़ पर लौटिए। फोन स्क्रीन का लाल खाना पानी का प्रवेश और खोलने का संकेत है, और नीला खाना उसे वैसा ही रखने का। किसान स्क्रीन को फिर देखता है और पानी के प्रवेश के कुंडे पर हाथ रखता है। इस मानचित्र को इस्तेमाल करने वाले और न कर पाने वाले खेतों का फर्क तकनीकी क्षमता से अधिक इस बात में है कि वे उसकी कीमत दे सकते हैं या नहीं।

स्रोत और संदर्भ

1. Nezami, M., & Kumar, R. (2026). Multimodal Edge Intelligence for Crop Disease Detection and Irrigation Advisory in Precision Agriculture. *International Journal of Science, Strategic Management and Technology*, 2(5), 1-9.
<https://doi.org/10.55041/ijst.v2i5.232>
2. Sheetal, V. A., Vikranth, B. M., & Adarsha Sagar, H. V. (2026). AI-driven multi-agent framework for smart irrigation and crop health monitoring in Indian rice and sugarcane farming. *Plant Science Today*, 13(sp2), 1-16.
<https://doi.org/10.14719/pst.12797>
3. Hermantoro, Rengga Arnalis Renjani, & Gani Supriyanto. (2026). Artificial intelligence and IoT-based precision irrigation for energy-efficient tropical agriculture. *International Journal of Management and*

Business Intelligence, 4(3), 685-698.

<https://doi.org/10.59890/ijmbi.v4i3.25>

4. Research Square. (2026). Impact of improved irrigation technology adoption under groundwater irrigation and its impact on smallholder farmers' crop productivity, income, and food security in Southern Tigray Zone, Ethiopia (प्रीप्रिंट).

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-9797920/v1>

5. Agremo, & TerraXploreDrones. (2026). AI crop monitoring & variable rate applications (वेबिनार वीडियो). YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=NW9g73zQ4Yo>

6. Ali, A., Hussain, T., & Zahid, A. (2025). Smart irrigation technologies and prospects for enhancing water use efficiency for sustainable agriculture. AgriEngineering, 7(4), 106.

<https://www.mdpi.com/2624-7402/7/4/106>

7. MDPI. (2026). Alternate wetting and drying irrigated rice paddy field water status monitoring with ALOS-2 three components and IoT sensors. Remote Sensing, 18(8), 1183.

<https://www.mdpi.com/2072-4292/18/8/1183>

8. MDPI. (2025). Greenhouse irrigation control based on reinforcement learning. Agronomy, 15(12), 2781.

<https://doi.org/10.3390/agronomy15122781>

9. National Science and Technology Development Agency. (2026). HandySense alternate wetting and drying (AWD) by NSTDA advances low-carbon rice farming in Thailand. NSTDA News.

<https://www.nstda.or.th/en/news/news-years-2026/handysense.html>

10. Yara UK. (2026). Variable rate nitrogen mapping available free to grassland farmers. Yara UK News.

<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/news/news/2026/variable-rate-nitrogen-mapping-available-free-to-grassland-farmers/>

11. Ringler, C., & Lefore, N. (2026, June 10). Are subsidies the solution for 'costly' small-scale irrigation technologies? International Food Policy Research Institute.

<https://www.ifpri.org/blog/are-subsidies-the-solution-for-costly-small-scale-irrigation-technologies/>

irrigation technologies? International Food Policy Research Institute.

<https://www.ifpri.org/blog/are-subsidies-the-solution-for-costly-small-scale-irrigation-technologies/>

3.3

फसल विकास चरण (DVS/DVI) पूर्वानुमान अनुकरण

जून की एक सुबह, रोपाई अभी पूरी हुई धान की क्यारी के पास किसान फोन देखता है। स्क्रीन पर एक छोटा वाक्य है: इस खेत का धान लगभग 15 अगस्त को बालियाँ निकालेगा। नर्सरी से आए नन्हे पौधे अभी टखने तक भी नहीं पहुँचे, पर हाथ का यंत्र दो महीने बाद का एक दिन पहले ही चिन्हित कर चुका है।

वह दिन अकेला नहीं आता। बाली निकलने से लगभग 20 दिन पहले एक बार और खाद देनी होती है, और बाली निकलने के दिन से पहले-पश्चात कुछ दिन खेत में पानी गहरा रखना पड़ता है ताकि ठंड और ऊँचे तापमान की क्षति रुके। बाली निकलने के बाद धान झुलसा और false smut रोकने की दवा का समय तय होता है, और दाने पूरे पकें तो कंबाइन के खेत में आने का दिन तथा सुखाने केंद्र में उतारने का क्रम भी तय होता है। धान कब बाली निकालेगा इसका अनुमान लगाना, इसलिए पूरे वर्ष की खेती की कैलेंडर तय करना है।

इस तारीख को बताने की पुरानी विधि तापमान जोड़कर गिनना थी। तापमान किसी दहलीज के नीचे रहे तो धान की बढ़ने की गति लगभग नहीं बढ़ती, और दहलीज से ऊपर का भाग ही उस दिन की वृद्धि में जुड़ता है। इस दहलीज को आधार तापमान कहते हैं, और दैनिक औसत तापमान से आधार तापमान घटाकर उसके मान को रोज गुल्लक में डालने की तरह जोड़ने वाली गणना ग्रीडिंग डिग्री डेज़ (GDD) कहलाती है। घटाया मान 0 से कम हो तो उस दिन बस 0 डालकर आगे बढ़ते हैं। धान एक भी दिन छोड़े बिना इस गुल्लक को भरते हुए बढ़ता है।

संचित तापमान को विकास पैमाने में बदलने वाला मान मॉडल के अनुसार DVS या DVI कहलाता है। कुछ धान मॉडल रोपाई को 0, बाली निकलने को 1 और पकने को 2 मानते हैं। पर 0.2 को अंकुर चरण, 0.5 को कल्ले चरण और 1.5 को दाना भरने का चरण स्थिर रखने का नियम सभी किस्मों और मॉडलों में समान नहीं है। संदर्भ बिंदु और मध्य चरण फसल, किस्म और गणना सूत्र के अनुरूप अंशांकित होते हैं। एक संख्या से खेत पढ़ने के लिए उस संख्या को बनाने वाले मॉडल की परिभाषा पहले बतानी चाहिए।

लेकिन धान केवल तापमान पर नहीं प्रतिक्रिया करता। वह दिन की लंबाई कम होने को भी महसूस करता है। धान वह पौधा है जो रात लंबी होने पर पत्ते और तना बढ़ाने से बाली बनाने की ओर बदलता है, इसलिए गर्मियों में दिन छोटा होने का संकेत भी विकास गति में आता है। खेत में पानी कम हो और जड़ सूख जाए तो विकास धीमा होता है, उलटे पानी की कमी झेल चुके धान जल्दी बाली भी निकाल सकते हैं। तापमान, दिन की लंबाई और पानी, ये तीनों उस दिन की विकास गति तय करते हैं।

किसानों की पुरानी विधि हाथ की अभ्यस्त कैलेंडर थी: रोपाई के कुछ दिन बाद बाली निकलेगी वाला अनुभव नियम। लेकिन हर वर्ष वसंत और शरद के तापमान ऊपर-नीचे होते हैं, इसलिए इस विधि से तय बाली निकलने की तारीख का वास्तविक तारीख से एक सप्ताह से लगभग पखवाड़े तक चूकना दुर्लभ नहीं था। बहुत

जल्दी खाद दें तो धान बढ़कर गिरता है, बहुत देर दें तो बालियों की संख्या घटती है। एक तारीख चूकने की कीमत पूरे खेत की फसल बनकर लौटती थी। दूसरी गणना न होने के समय में उस त्रुटि को आसमान के मत्थे डालकर अगले वर्ष की प्रतीक्षा ही की जा सकती थी।

मशीन लर्निंग ने संचित तापमान गणना में मुख्यतः दो चीजें जोड़ीं। एक, भौतिक नियमों वाले मॉडल को रिकॉर्ड से नियम खोजने वाले मॉडल के साथ रखना। APSIM, DSSAT और जापान में धान के लिए सुधारे SIMRIW जैसे फसल वृद्धि मॉडल तापमान, पानी और नाइट्रोजन धान के भीतर कैसे चलते हैं उसे समीकरण से हल करते हैं। लॉन्ग शॉर्ट-टर्म मेमरी (LSTM) और ट्रांसफॉर्मर जैसे कृत्रिम तंत्रिका जाल समीकरणों के बजाय हजारों खेतों के पुराने रिकॉर्ड से पैटर्न सीखते हैं। दोनों मॉडल जोड़ें तो उस खेत की वे विशेषताएँ जो केवल समीकरण नहीं समझा सकता, तंत्रिका जाल भर देता है।

धान 0 से 2 की ओर ही बढ़ता है, पीछे नहीं लौटता, इस एक तथ्य को नियम बना देने पर तंत्रिका जाल विकास चरण उलटा गिनने की त्रुटि भी नहीं करता।

एक कृषि क्षेत्र में भी जल्दी पकने वाली और मध्यम-देर से पकने वाली किस्में साथ रोपी जाती हैं। केवल एक क्षेत्रीय औसत तापमान से विकास सूचकांक चलाने पर जल्दी और देर से पकने वाली किस्में एक गणना में मिल जाती हैं। इसलिए गणना हर किस्म की अलग आधार तापमान और दिन-लंबाई संवेदनशीलता अलग रखती है, ताकि पास के खेत में भी हर किस्म अलग वक्र बनाए।

दूसरी चीज आकाश से ली तस्वीर से गणना को वास्तविक समय में सुधारना है। उपग्रह और ड्रोन खेत की तस्वीर लें तो पत्तियाँ कितनी घनी हैं बताने वाले पत्ती क्षेत्र सूचकांक जैसे मान मिलते हैं। इस मान को गणना में धान की स्थिति से मिलाकर केवल अंतर जितना आगे या पीछे खिसकाने की विधि को डेटा समाकलन कहते हैं। यह वैसा है जैसे नेविगेशन वास्तविक स्थान संकेत मिलते ही पहुंचने का अनुमानित समय फिर बताता है। महीनों पहले की गणना ज्यों की त्यों सही नहीं हो सकती, इसलिए खेत की हर तस्वीर उसे थोड़ा-थोड़ा ठीक करती है।

इस सुधार के भीतर particle filter नाम की विधि है। कंप्यूटर में एक ही खेत की सैकड़ों प्रतियां बनाकर, हर एक को थोड़ा अलग अनुमान पर विकास सूचकांक गिनने देते हैं। उपग्रह तस्वीर आने पर तस्वीर के निकट उत्तर देने वाली प्रति को अधिक भार मिलता है और दूर उत्तर वाली छान दी जाती है। ensemble Kalman filter की विधि भी ऐसी ही है: वह हर बार प्रेक्षण और गणना मान के अंतर भर से पूर्वानुमान थोड़ा सुधारती है।

कोरिया का पहला कृषि एवं वानिकी उपग्रह 7 जुलाई 2026 को अमेरिका के वैडेनबर्ग स्पेस फोर्स बेस से प्रक्षेपित हुआ और पहले संपर्क में सफल रहा। उसकी 5 मीटर विभेदन, 120 किलोमीटर अवलोकन पट्टी और लगभग 3 दिन चक्र की अवलोकन क्षमता है। पर 2026 में आरंभिक संचालन और चित्र अंशांकन चलेंगे और नियमित मिशन 2027 में शुरू होना है। धान और सोयाबीन की वृद्धि छवियाँ किसानों को पहले ही हर 3 दिन पहुँच रही हैं, ऐसा वर्तमान काल में लिखने का समय नहीं है।

ऐसे 3 दिन अंतराल के अवलोकन हजारों खेतों में जोड़ें तो किसी क्षेत्र और आगे चलकर एक देश का धान उस वर्ष कितना कटेगा, यह पहले ही चित्रित हो सकता है। कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामले मंत्रालय इस संचित

विकास जानकारी को सोयाबीन और पत्तागोभी जैसी अन्य फसलों की आपूर्ति-मांग दृष्टि के साथ देखकर दाम अचानक बढ़ने या घटने से पहले प्रतिक्रिया का समय पाने की योजना बना रहा है। एक खेत की बाली निकलने की तारीख बताने वाली गणना इस तरह भोजन की कीमत संभालने वाली गणना बनती है।

किसानों के प्रश्नों के अनुसार गणना परिणाम समझाने का रास्ता भी बन रहा है। ग्रामीण विकास प्रशासन कृषि तकनीकी सामग्री और भाषा मॉडल जोड़कर AI एजेंट “AI Isak” बना रहा है। उसके आधिकारिक 2026 कार्ययोजना में सेवा का निर्धारित समय 2027 है। आज किसान के फोन में चल रहा रोग-कीट छवि निदान और भविष्य में बातचीत से बाली निकलने की तारीख व फूलने का समय समझाने वाला AI Isak, दोनों की शुरुआत का समय अलग है।

यदि यह तारीख एक दिन खिसक जाए तो वास्तव में क्या होगा? बाली निकलने से करीब 20 से 25 दिन पहले, जब धान के भीतर बाली बनती है उस युवा बाली निर्माण चरण में नाइट्रोजन खाद देने की अवधि केवल कुछ दिन है। इन दिनों को चूककर देर से दें तो तने ही अधिक बढ़कर गिरेंगे, बहुत जल्दी दें तो बाली में दाने आने से पहले खाद की शक्ति खत्म होकर दाने घटेंगे। विकास सूचकांक 0.75 की एक संख्या तय करती है कि खाद का बोरा कब खोलना है।

पानी देने का समय भी संकरा है। बाली निकलने के पहले और बाद कुछ दिनों में खेत का पानी सामान्य से गहरा रखना चाहिए ताकि बाली ठीक से पराग बनाए और ठंड व असामान्य गर्मी सह सके। यह पानी एक दिन देर से दें तो पराग पहले ही खराब हो चुका होता है, और एक दिन पहले निकाल दें तो खतरनाक दिन खेत सूखा होता है। धान, सोयाबीन और गेहूँ को बारी-बारी लगाने वाले खेतों में पिछली फसल काटने और अगली लगाने की तारीख भी इसी एक गणना से बंधी है, इसलिए एक दिन की त्रुटि अगली फसल की बुवाई योजना भी धकेलती है।

यह सूचना केवल एक खेत पर नहीं दिखती। एक ही जलाशय का पानी बाँटने वाले निचले सैकड़ों खेत यह गणना साथ पाते हैं। रोपाई की तारीख, खेत का रुख और मिट्टी की गहराई हर भूखंड में कुछ अलग होने से समान किस्म रोपकर भी विकास सूचकांक अलग होते हैं, और सिंचाई संघ उस अंतर के अनुसार पानी देने का क्रम फिर बनाता है।

पूरी तरह पकने के बाद की कटाई तारीख भी कुछ दिनों के अंतर से गुणवत्ता हिलाती है, क्योंकि कंबाइन कार्य और सुखाने केंद्र का क्रम पहले तय होना है। संचित तापमान और मौसम पूर्वानुमान अनुभव से तय तारीख सुधारने में उपयोगी हैं। लेकिन त्रुटि कितनी घटती है, यह क्षेत्र, किस्म, बुवाई तारीख और मूल्यांकन वर्ष पर निर्भर है। तारीख को एक दिन संकरा करने से उपज का कितने प्रतिशत संबंध है, यह भी तूफान, बारिश और सुखाने केंद्र प्रतीक्षा समय साथ मापने पर पता चलेगा।

यह एक-दो दिन एक खेत पर समाप्त नहीं होते। जिस गाँव में एक कंबाइन कई किसान साझा करते हैं, वहाँ पहले खेत की कटाई तारीख एक चूके तो प्रतीक्षा में अगला और फिर उसके बाद का खेत क्रम से पीछे सरकते हैं। विकास सूचकांक गणना अनेक खेतों की तारीखें साथ दिखाती है, इसलिए पूरा गाँव कंबाइन का क्रम पहले बनाना अधिक आसानी से कर पाता है।

लू और उष्णकटिबंधीय रातों विकास कैलेंडर की धारणा को हिलाती हैं। मक्का में फूलने पर ऊँचा तापमान और पानी की कमी साथ हो तो पराग तथा निषेचन प्रक्रिया क्षतिग्रस्त हो सकती है। अत्यधिक गर्मी शोध में गेहूँ और मक्का के ताप तनाव सूचक के रूप में 32 डिग्री से अधिक KDD इस्तेमाल हुआ। गेहूँ की ठंड क्षति भी किस्म, विकास चरण, तापमान और संपर्क समय साथ देखकर ही समझी जाती है। कैलेंडर की तारीख सही हो फिर भी उस दिन का मौसम पिछले दायरे से बाहर निकले तो दाने खाली रह सकते हैं।

कीट और कवक का विकास भी इसी तरीके से गिना जाता है। मक्का पत्तियाँ खाने वाला fall armyworm तापमान बढ़ने पर लार्वा से पतंगे तक जल्दी बढ़ता है और उसकी गति भी संचित तापमान से गिनी जाती है। समस्या यह है कि कीट और मक्का की वृद्धि गति एक ही गर्मी में अलग ढंग से चलती है। किसी वर्ष कीट सामान्य से पखवाड़ा पहले पंख निकालता है और फसल के सबसे नाजुक विकास चरण में ठीक उसके झुंड से मिलता है। इसलिए नए रोग-कीट पूर्वानुमान मॉडल फसल विकास सूचकांक और कीट विकास गति साथ रखते हैं और दोनों के मिलने वाले खतरनाक कुछ दिन पहले चिन्हित करने की ओर बढ़ रहे हैं।

2025 में अंतरराष्ट्रीय पत्रिका Earth's Future में प्रकाशित विश्लेषण के अनुसार, अमेरिका के गेहूँ और मक्का में सूखा व लू साथ आने पर उपज और वास्तव में काटे जा सकने वाले दानों का अंश, तथाकथित harvestable fraction, दोनों घटते हैं, पर कमी फसल किस विकास चरण में थी इस पर निर्भर करती है। फूलने के आसपास लू पाने वाले खेत और उससे पहले लू पाने वाले खेत एक ही गर्मी के बाद भी अलग हानि पाते हैं। बागवानी फसलों के संचित तापमान मॉडल समेटने वाली 2025 अंतरराष्ट्रीय समीक्षा भी कहती है कि पुराने सूत्र केवल दहलीज से ऊपर तापमान जोड़ते हैं, बहुत गर्म दिन वृद्धि रुकने की बात नहीं गिनते।

इसलिए नए मॉडल अत्यधिक गर्म दिनों की ऊष्मा अलग निकालकर दंड जैसे रूप में गणना बदल रहे हैं।

विकास सूचकांक की गणना केवल इस गर्मी के एक दिन के लिए नहीं है। जलवायु परिवर्तन पर अंतरसरकारी पैनल (IPCC) के कई भविष्य जलवायु परिदृश्यों को उसी सूत्र में डालें तो 30 वर्ष बाद इस खेत की बाली निकलने की तारीख कितनी पहले आएगी, वह भी उभरती है। वर्तमान की तरह ग्रीनहाउस गैस छोड़ते रहने वाला परिदृश्य डालें तो हर वर्ष धान की बाली तारीख थोड़ी आगे आने वाला वक्र मिलता है; उत्सर्जन बहुत घटाने वाला परिदृश्य डालें तो वक्र बहुत समतल होता है।

गणना जितनी सूक्ष्म हुई, शेष समस्या भी हैं। धान हो या गेहूँ, हर किस्म का आधार तापमान और दिन-लंबाई प्रतिक्रिया अलग है, इसलिए नई किस्म आते ही तापमान व रोशनी को कृत्रिम रूप से नियंत्रित करने वाली प्रयोगशाला में कई महीने उगाकर उस किस्म के खास अंक लेने पड़ते हैं। इस प्रयोगशाला को कृत्रिम जलवायु कक्ष कहते हैं। यहाँ तापमान और धूप की लंबाई मनचाही बदलकर नर्सरी से बाली निकलने तक धान वृद्धि की पूरी प्रक्रिया को जल्दी देखा जाता है। मगर हर वर्ष दर्जनों नई किस्में आती हैं और कृत्रिम जलवायु कक्ष के एक खाने में उन सबको उगाने का समय नहीं है।

इसलिए जिन किस्मों का परीक्षण पूरा नहीं हुआ उनमें दिखने में मिलती पुरानी किस्म के अंक उधार लेकर गणना की जाती है; यदि दो किस्मों के आधार तापमान वास्तव में आधा डिग्री अलग हों तो वह आधा डिग्री गर्मियों में कई दिन की त्रुटि बनता है। हाल में कैमरे से एक साथ सैकड़ों पौधे शूट कर वृद्धि गति पढ़ने वाली उच्च-थ्रूपुट फीनोटाइपिंग और उस गति से उलटा आधार तापमान अनुमान करने वाली inverse

calculation को जोड़कर प्रयोगशाला समय घटाने के प्रयास भी आए हैं। मौसम स्टेशन न होने वाले पर्वतीय खेत पड़ोसी स्टेशन के मान को दूरी और ऊँचाई से अनुमान लगाकर भरते हैं, इसलिए गणना कितनी भी सटीक हो, उस खेत की अपनी त्रुटि रहती है।

कुछ किसान विकास सूचकांक की तारीख और उनकी पुरानी आंखों से लगाई तारीख में एक दिन से अधिक अंतर हो तो गणना पर संदेह करते हैं। वास्तव में दुर्लभ होने पर भी मॉडल ने असाधारण सूखे वसंत या देर के पाले से मिलकर कुछ दिन चूके हैं, इसलिए वह संदेह पूरी तरह निराधार नहीं है। फोन अलर्ट और सेंसर मान नए सीखने की परेशानी और आरंभिक उपकरण लागत के कारण कुछ किसान कई वर्ष उपयोग के बाद पुरानी कैलेंडर पर लौटे भी हैं।

डिजिटल ट्विन धान खेत और बाग को कंप्यूटर में प्रतिरूपित कर अनेक मौसम व सिंचाई परिदृश्य पहले चलाने की दिशा में विकसित हो रहे हैं। 2026 में चिली के अंगूर बाग और कई फसलों के शोध में डेटा संचय परीक्षण चल रहे थे, पर इन्हें वास्तविक सिंचाई मात्रा कमी और स्वायत्त खाद डालने के प्रभाव सिद्ध करने वाली वाणिज्यिक प्रणाली कहना अभी जल्दी है। विकास सूचकांक किसी मान पर पहुँचते ही कृत्रिम बुद्धि ड्रोन उड़ाएगी, ऐसा दृश्य भी वर्तमान उपलब्धि नहीं, भविष्य स्वचालन परिदृश्य ही रहना चाहिए।

फिर जून के उसी खेत में लौटिए। फोन स्क्रीन का 15 अगस्त वह दिन है जिसे अब तक की संचित ऊष्मा, हर 3 दिन आने वाली उपग्रह तस्वीरें और पिछले कई वर्षों का मौसम मिलकर बनाते हैं। लंबे समय से इस खेत में आने-जाने वाला व्यक्ति उस संख्या पर अब अपना अंदाजा रखता है। वह दिन सच निकलेगा या जून के अंत में आने वाली एक लू पूरी गणना हिला देगी, यह अभी कोई नहीं जानता।

स्रोत और संदर्भ

1. Xiao, K., Zhou, X., Gui, H., Tian, Y., Chen, X., Li, Y., Matomela, N., & Xin, Q. (2025). Drought and extreme heat reduce wheat and maize production in the United States by lowering both crop yields and harvestable fraction. *Earth's Future*, 13(12), e2024EF005557. <https://doi.org/10.1029/2024EF005557>
2. Chowdhury, P., Maiti, B., Mudi, L. K., & Chatterjee, S. (2026). Artificial intelligence for sustainable agriculture: A review of machine learning and deep learning techniques for crop growth and yield prediction. *International Journal of Applied Resilience and Sustainability*, 2(3), 176-207. <https://doi.org/10.70593/deepsci.0203007>
3. Patil, N., Raut, K., Bhusari, S., & Gharge, A. (2025). Digital twin integration with generative AI and foundation models for real-time precision agriculture and crop resilience. *International Journal of Research in Agronomy*, 8(12S), 170-177. <https://doi.org/10.33545/2618060x.2025.v8.i12sc.4355>
4. Kamangir, H., Sams, B. S., Dokoozlian, N., Sanchez, L., & Earles, J. M. (2026). CMAViT: Integrating climate, management, and remote sensing data for crop yield prediction with multimodal vision transformers. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 19, 8932-8945. <https://doi.org/10.1109/jstars.2026.3669511>
5. Kollipara, Y. V. P., & El-Gayar, O. (2026). AI-driven crop yield prediction for climate-resilient agriculture. *Conference Proceedings of the International Conference on Agriculture, Food Security and Safety*, 94-106. <https://doi.org/10.32789/agrofood.2025.5107>

6. Makouate, H. F., & Zude-Sasse, M. (2025). Advances in Growing Degree Days Models for Flowering to Harvest: Optimizing Crop Management with Methods of Precision Horticulture, a Review. *Horticulturae*, 11(12), 1415.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae11121415>
7. Kalisetti, V. S., Sudharshanam, U., Venkata, N. K. M., Mandla, R., Akula, S., Bedika, M., Dharavath, B., Dogga, S., Ramakrishna Babu, A., & Javaji, C. (2025). Smart agriculture: A climate-driven approach to modelling and forecasting fall armyworm populations in maize using machine learning algorithms. *Frontiers in Plant Science*, 16, Article 1636412.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1636412>
8. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामले मंत्रालय. (2026). कोरिया के पहले कृषि एवं वानिकी उपग्रह युग का उद्घाटन, 3 दिन चक्र से पूरे कोरियाई प्रायद्वीप का प्रेक्षण कर वैज्ञानिक कृषि प्रशासन की ओर आरंभ. कृषि, खाद्य और ग्रामीण मामले मंत्रालय कृषि उद्योग नवाचार नीति अधिकारी विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी नीति विभाग प्रेस विज्ञप्ति (2026. 7. 5.).
<https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/578337/artclView.do>
9. Nongmin Shinmun. (2025, November 19). ग्रामीण विकास प्रशासन ने “AI Isak” को कृषि तकनीकी सूचना सेवा तक बढ़ाने की पहल की.
<https://www.nongmin.com/article/20251119500634>
10. FreshFruitPortal. (2026, June 17). Innovative digital twin model targets growers' real-world irrigation and traceability needs in 2026.
<https://www.freshfruitportal.com/news/2026/06/17/twin-model/>

अध्याय 4

जीनोमिक्स और एआई आणविक प्रजनन

4.1

फसल जीनोम बिग डेटा और पैन-जीनोम (Pan-genome) का निर्माण

आनुवंशिक संसाधन केंद्र के शीत भंडार का तापमान लगभग 4 डिग्री सेल्सियस रखा जाता है। एक कतार में लगे हर दराज़ में कागज़ के पैकेट ठसाठस भरे हैं और हर पैकेट पर हाथ से लिखे नाम या बारकोड का लेबल लगा है। कुछ में जिओल्ला प्रांत के किसी खेत में लगभग सौ वर्षों से पीढ़ी-दर-पीढ़ी उगाया गया देशी धान है, तो कुछ में हिमालय की तलहटी के दलदली क्षेत्र से एकत्र किया गया जंगली धान। बाहर से वे बाज़ार में बिकने वाले चावल से बहुत अलग नहीं दिखते, लेकिन उनके भीतर मौजूद जीन पूरी तरह अलग हैं।

अब तक धान के जीनोम को देखने की मानक विधि यह थी कि इन असंख्य पैकेटों में से केवल एक किस्म चुनकर उसका पूरा अनुक्रम पढ़ा जाए और फिर बाकी सभी धानों को उसी एक संदर्भ पर रखकर पढ़ा जाए। अंतरराष्ट्रीय धान जीनोम परियोजना ने सबसे पहले जापानी जैपोनिका धान निप्पोनबारे को मानक किस्म बनाया था। उसके बाद कई दशकों तक दुनिया भर में धान अनुसंधान इसी एक किस्म के जीन अनुक्रम को शब्दकोश की तरह खोलकर और दूसरी किस्मों के अनुक्रमों को उस शब्दकोश के पृष्ठों के अनुसार बैठाकर किया गया।

यह एक ही शब्दकोश में संसार की सभी भाषाओं को समेटने की कोशिश जैसा है। मानक भाषा के शब्दकोश में न मिलने वाली बोली का शब्द आए, तो उसे दर्ज करने के लिए कोई पृष्ठ नहीं होता। केवल जंगली या देशी धान में मौजूद जीन अथवा दूसरे धानों में बिल्कुल न मिलने वाले अनुक्रम को मानक जीनोम में जबरन बैठाने पर वह अनुक्रम पूरा छूट जाता है या गलत जगह जुड़ जाता है। आनुवंशिकीविद इस घटना को संदर्भ पक्षपात कहते हैं। केवल मानक बनाई गई किस्म के जीन दिखाई देते हैं और उस किस्म में न होने वाले जीनों को शुरू से ही अनुपस्थित मान लिया जाता है। इस तरह गायब होने वाले जीन अक्सर वे वास्तविक धरोहर होते हैं जिन्होंने सूखे और कीट-रोगों का सामना किया है।

इस अंधे क्षेत्र को मिटाने के लिए अनेक संस्करणों को एक ही मेज़ पर साथ खोलना पड़ता है। धान, गेहूँ या सोयाबीन की सैकड़ों से हजारों किस्मों के जीनोम को साथ रखकर एक-दूसरे पर अंकित करने पर दो परतें दिखती हैं। सभी किस्मों में समान रूप से मौजूद जीनों की परत को कोर जीनोम कहते हैं। केवल किसी खास किस्म, देशी नस्ल या जंगली प्रजाति में मौजूद जीनों की परत को परिवर्ती जीनोम कहते हैं। परिवर्ती जीनोम में सूखा सहने, लवणीय मिट्टी में जड़ जमाने और अपरिचित रोगाणु को पहचानने जैसी प्रतिरक्षा क्षमताएँ छिपी होती हैं, जो मानक किस्म में नहीं थीं। इन दोनों परतों को मिलाकर बनाए गए मानचित्र को पैन-जीनोम कहते हैं।

अंतरराष्ट्रीय धान अनुसंधान दल ने दुनिया भर से जुटाई गई लगभग 3,000 धान वंशावलियों का पुनः अनुक्रमण किया और 2014 में 3,000 Rice Genomes Project का डेटा सार्वजनिक किया। यह डेटा

लाखों विविधताओं की तुलना करके इंडिका, जैपोनिका और स्थानीय किस्मों के आनुवंशिक अंतर पढ़ने का आधार बना। Green Super Rice की संकल्पना प्रस्तुत करने वाला PNAS शोधपत्र इससे पहले, 2007 में प्रकाशित हुआ था। यह कालक्रम संभव नहीं कि 2007 का शोधपत्र 3,000 धान जीनोम डेटा से निकला हो।

Green Super Rice अनुसंधान की परंपरा और 3,000 Rice Genomes Project की उपलब्धियों को साथ रखा जाना चाहिए, लेकिन पहले के अनुसंधान को बाद के डेटा से उत्पन्न हुआ नहीं दिखाना चाहिए।

धान की खेती का इतिहास बदलने वाले जीन अलग-अलग रास्तों से खोजे गए थे। SD1 की पहचान हरित क्रांति को आगे बढ़ाने वाले बौनेपन के जीन के रूप में बहुत पहले हो चुकी थी और SH1 परिवार कई एशियाई धानों में मौजूद है तथा दाने झड़ने के गुण से जुड़ा है। Xa21 जंगली धान में मिला बैक्टीरियल लीफ ब्लाइट प्रतिरोधी जीन है। इन तीनों जीनों को एक साथ ऐसे जीनों की श्रेणी में नहीं रखा जा सकता जिनके अस्तित्व का पता केवल एक मानक जीनोम देखने पर बिल्कुल न चलता।

पैन-जीनोम की शक्ति केवल जीनों की उपस्थिति या अनुपस्थिति दिखाने में नहीं, बल्कि संरचनात्मक विविधताओं, उपस्थिति-अनुपस्थिति विविधताओं, किस्म-विशिष्ट एलील और नियामक क्षेत्रों को साथ दिखाने में है।

पैन-जीनोम अनेक किस्मों के समान और अलग होते अनुक्रमों को एक ग्राफ में जोड़ता है। एक अक्षर के अंतर से लेकर उलटाव, प्रतिलिपिकरण, बड़े अंतःस्थापन और विलोपन तक एक ही मानचित्र पर रखे जा सकते हैं। PacBio HiFi और Oxford Nanopore जैसी लॉन्ग-रीड तकनीकें गुणसूत्र-स्तरीय असेंबली की गुणवत्ता बढ़ाती हैं। लेकिन ग्राफ पैन-जीनोम बनाने के लिए हर किस्म के अनुक्रम का टेलोमियर से टेलोमियर तक पूरा होना आवश्यक नहीं है। प्रतिनिधि वंशावलियों की उच्च-गुणवत्ता असेंबली और बड़ी संख्या में वंशावलियों के पुनः अनुक्रमण डेटा को साथ इस्तेमाल करने वाली रूपरेखा भी व्यापक है।

2026 में Nature Genetics में प्रकाशित मूंग ग्राफ पैन-जीनोम अध्ययन ने 11 प्रतिनिधि वंशावलियों की नई असेंबली की और 580 वंशावलियों को पुनः अनुक्रमण, जनसंख्या आनुवंशिकी और संबद्धता विश्लेषण पैनल के रूप में इस्तेमाल किया। अनुसंधान दल ने 75,268 जीन परिवार और 66,862 संरचनात्मक विविधताएँ व्यवस्थित कीं तथा पाँच क्षेत्रों में खेती के परीक्षणों के जरिए 20 लक्षणों से जुड़े प्रत्याशी क्षेत्रों की जाँच की। इस अध्ययन में सभी 580 जीनोम की नई असेंबली नहीं की गई थी। असेंबली नमूनों और जनसंख्या विश्लेषण नमूनों को अलग बताना आवश्यक है, तभी मानचित्र का घनत्व और साक्ष्य स्पष्ट होते हैं।

पैन-जीनोम यहीं नहीं रुकता। उगाई जाने वाली किस्मों और स्थानीय देशी नस्लों से आगे जाकर, उन दूर की जंगली संबंधी प्रजातियों को भी एक जगह रखकर तुलना करने का प्रयास, जिनसे संकरण तक संभव नहीं, सुपर पैन-जीनोम कहलाता है। Oryza वंश में एशिया में उगाए जाने वाले धान के अलावा अफ्रीका में लंबे समय से उगाया जाता एक अलग धान है और ऐसी कई वास्तविक जंगली संबंधी प्रजातियाँ भी हैं जिनका इन दोनों से संकरण नहीं होता। इन दूर के संबंधियों के जीनोम को भी मानचित्र पर रखने से वे रक्षा जीन या जड़ संरचनाएँ फिर दिखने लगती हैं जो खेती की प्रजातियों से बहुत पहले लुप्त हो चुकी हैं।

गेहूँ अलग-अलग पूर्वज जीनोमों के संयोजन से बनी षट्गुणित फसल है, इसलिए उसकी असेंबली कठिन है। 2024 के Nature अध्ययन ने चीन की 17 किस्मों का विश्लेषण करके 249,976 संरचनात्मक विविधताएँ

व्यवस्थित कीं। इस मानचित्र में VRN-A1, वसंतकालीन और शरदकालीन बुवाई के गुण तथा 1RS से जुड़ी विविधताएँ सामने आईं। यह दुनिया भर के सभी गेहूँ को मिलाकर बनाया गया मानचित्र नहीं था, लेकिन एक ही देश की किस्मों ने दिखाया कि संरचनात्मक विविधता कितनी व्यापक हो सकती है।

सोयाबीन पैन-जीनोम अध्ययन में भी नमूनों की भूमिकाएँ अलग की गईं। खेती वाले और जंगली सोयाबीन की 2,898 वंशावलियों का गहन पुनः अनुक्रमण किया गया और उनमें से 26 प्रतिनिधि वंशावलियों की असेंबली की गई। इसे ऐसा मानचित्र नहीं कहा जा सकता जिसमें लगभग 2,800 सभी जीनोमों की नई असेंबली हुई हो। जंगली सोयाबीन के जल अवशोषण और सुप्तावस्था नियंत्रण जीन, सूखा और रोग प्रतिरोध तथा प्रोटीन मात्रा को एक ही अध्ययन की अगली उपलब्धियों की तरह जोड़ने के बजाय, प्रत्येक लक्षण की पुष्टि करने वाला मूल शोधपत्र अलग प्रस्तुत किया जाना चाहिए।

मक्का में परिवर्तन और बढ़ा है। आज के मक्के का जंगली पूर्वज टेओसिन्टे है, जो खरपतवार जैसी घास है और जिसकी पतली बालियों पर केवल कुछ दाने लटके होते हैं। टेओसिन्टे और आधुनिक मक्के के जीनोम साथ रखकर अंकित किए गए, तो कुछ ऐसे जीन सामने आए जो कुछ दानों वाली पतली बाली के आज की तरह दानों से भरी मोटी बाली बनने की प्रक्रिया निर्धारित करते हैं। हजारों वर्षों तक खेत में मनुष्य के हाथों हुए चयन के निशान अब कंप्यूटर स्क्रीन पर जीन निर्देशांकों के रूप में दर्ज हैं।

समस्या यह है कि इस तरह जमा मानचित्रों में इतनी अधिक सूचना है कि मनुष्य उसे आँखों से पढ़ नहीं सकता। धान के एक पौधे के जीनोम में ही 40 करोड़ से अधिक अक्षरों की अखंड शृंखला होती है। अक्षर केवल A, T, G और C हैं, पर उनके क्रम में कहाँ रोग का कारण है और कहाँ सूखा सहने की क्षमता, यह अक्षरों का रूप देखकर नहीं जाना जा सकता। कृत्रिम बुद्धिमत्ता यह काम करती है। मनुष्य के लिखे वाक्य पढ़कर अगला शब्द अनुमानित करने के लिए प्रशिक्षित भाषा मॉडल के समान सिद्धांत वाला कार्यक्रम वाक्यों की जगह जीन अनुक्रमों पर लागू किया जाता है। शोधकर्ता ऐसे कार्यक्रमों को डीएनए (DNA) भाषा मॉडल या जीनोम फाउंडेशन मॉडल कहते हैं।

सैकड़ों पौध प्रजातियों के जीनोम पहले से पढ़ा दिए जाएँ, तो मॉडल किसी पहले कभी न देखे गए अनुक्रम के आगे-पीछे के संदर्भ से अनुमान लगा सकता है कि वह जीन का प्रारंभ संकेत है, किसी प्रोटीन की रूपरेखा है या अत्यधिक अभिव्यक्ति वाला क्षेत्र है। 2026 की एक समग्र समीक्षा ने निष्कर्ष दिया कि ऐसे जीनोम फाउंडेशन मॉडल पौधों के नियामक व्याकरण को समझने के चरण तक पहुँच चुके हैं।

जीनोमिक चयन बीजों के आनुवंशिक चिह्नों को कई वर्षों की उपज और रोग प्रतिरोध के अभिलेखों से जोड़कर अभी पूरी तरह न बढ़े पौधों के प्रदर्शन का अनुमान लगाता है। हर पीढ़ी की प्रत्येक वंशावली को अंत तक उगाना आवश्यक नहीं रहता, इसलिए आरंभिक चयन का समय घट सकता है। लेकिन संकरण वंशावलियाँ छाँटने का समय, पीढ़ियाँ स्थिर करने का समय, अनेक क्षेत्रों में अनुकूलन परीक्षण और किस्म पंजीकरण अलग-अलग समय-सारिणियों पर चलते हैं। कंप्यूटर वसंत में प्रत्याशियों को जल्दी चुन ले, तब भी नया बीज किसान के शरदकालीन भंडार तक पहुँचने में कई मौसम और लेता है।

पर मानचित्र अधिक सघन होने से तुरंत अच्छी किस्म नहीं बनती। कोरिया कृषि प्रौद्योगिकी संवर्धन एजेंसी ने कृषि, खाद्य और ग्रामीण कार्य मंत्रालय के सहयोग से मिर्च और धान सहित 12 फसलों की जीनोम सूचना और

लगभग 4,000 आणविक चिह्न जुटाकर डिजिटल प्रजनन सूचना प्रणाली शुरू की। क्लाउड से जुड़कर कोई भी यह डेटा डाउनलोड कर सकता है। समस्या उसके बाद आती है। 2025 की एक अंतरराष्ट्रीय समग्र समीक्षा ने बताया कि जीनोटाइप डेटा कितना भी जमा हो, वास्तविक खेत में उपज या रोग प्रतिरोध जैसे लक्षणों की पुष्टि करने वाला फीनोटाइप डेटा साथ न हो तो पूर्वानुमान मॉडल उपयोगहीन हो जाता है।

कई वर्षों और कई क्षेत्रों में विश्वसनीय फीनोटाइप डेटा जुटाने की लागत जीनोम पढ़ने की लागत से अधिक होती है। जो वंशावली एक खेत में अच्छी बढ़ती है, उसका दूसरे क्षेत्र या दूसरे वर्ष में खराब प्रदर्शन आम है। उपज जैसे किसान की सबसे प्रतीक्षित लक्षणों में एक जीन नहीं, बल्कि दर्जनों या सैकड़ों जीन थोड़ा-थोड़ा योगदान करते हैं और उनके संयोजन मिट्टी तथा मौसम के अनुसार अलग प्रतिक्रिया देते हैं।

पैन-जीनोम द्वारा प्रत्याशी जीन बताए जाने के बाद संकरण और जीन संपादन होता है। CRISPR लक्ष्य अनुक्रम काटने या कुछ अक्षर बदलने में सक्षम है, लेकिन जंगली प्रजाति के लंबे जीन और नियामक खंड को खेती वाली प्रजाति के इच्छित स्थान पर सीधे डालने वाला लक्षित अंतःस्थापन कम दक्ष है तथा पुनर्जनन और सत्यापन का भार भी बढ़ा है। यह संकरण से हर बार तेज और आसान रास्ता नहीं है। एक संपादित जीन का उपज, गुणवत्ता और दूसरे प्रतिरोधों पर प्रभाव अनेक परिवेशों में दोबारा जाँचना पड़ता है।

आनुवंशिक डेटा और पेटेंट का कुछ कंपनियों में केंद्रित होना वास्तविक समस्या है। लेकिन USDA का 71 प्रतिशत आँकड़ा दुनिया के सभी आनुवंशिक संसाधन पेटेंटों का नहीं है। यह 1976 से 2021 तक अमेरिका में पंजीकृत नई किस्मों के उपयोगिता पेटेंटों में Bayer, Corteva और Syngenta तीन कंपनियों की हिस्सेदारी है। विधियों, GM लक्षणों और जीन अनुक्रमों के पेटेंट इस गणना में शामिल नहीं हैं। Monsanto का 2018 में Bayer ने अधिग्रहण किया था। पेटेंट संकेंद्रण बताते समय देश, अवधि, पेटेंट श्रेणी और कंपनियों के संबंध साथ लिखने चाहिए।

फिर वही शीत भंडार। दराज़ में रखा हर पैकेट आज भी ऐसा आनुवंशिक संसाधन है जिसे मनुष्य को अपने हाथों से एकत्र करना, बोना और जाँचना पड़ता है। स्क्रीन पर पैन-जीनोम का मानचित्र कितना भी सटीक हो, उसके बताए जीन से वास्तविक धान के खेत में दाने कितने भरेंगे, यह जानने के लिए एक मौसम की प्रतीक्षा करनी पड़ती है। उन दराज़ों के दसियों हजार पैकेटों में कितने ऐसे जीन होंगे जिन्हें अभी नाम तक नहीं मिला है?

स्रोत और संदर्भ

1. Farooq, M. A., Gao, S., Hassan, M. A., et al. (2024). Artificial intelligence in plant breeding. *Trends in Genetics*, 40(10), 891-908.
[https://www.cell.com/trends/genetics/fulltext/S0168-9525\(24\)00167-7](https://www.cell.com/trends/genetics/fulltext/S0168-9525(24)00167-7)
2. Jiao, C., Xie, X., Hao, C., et al. (2025). Pan-genome bridges wheat structural variations with habitat and breeding. *Nature*, 637(8045), 384-393.
<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08277-0>
3. Shang, L., Li, X., He, H., et al. (2022). A super pan-genomic landscape of rice. *Cell Research*, 32(10), 878-896.
<https://doi.org/10.1038/s41422-022-00685-z>

4. Chen, H., et al. (2026). Graph-based pan-genome reveals structural variations associated with agronomic traits in mung bean. *Nature Genetics*.
<https://doi.org/10.1038/s41588-026-02644-5>
5. Zhu, W., Li, W., Zhang, H., & Li, L. (2025). Big data and artificial intelligence-aided crop breeding: Progress and prospects. *Journal of Integrative Plant Biology*, 67(3), 722-739.
<https://doi.org/10.1111/jipb.13791>
6. Fu, J., Zheng, S., Fan, L., Zheng, X., & Qian, Q. (2025). Breeding 5.0: Artificial intelligence (AI)-decoded germplasm for accelerated crop innovation. *Journal of Integrative Plant Biology*.
<https://doi.org/10.1111/jipb.70008>
7. Yu, H. (2026). AI foundation models in plant biology. *New Phytologist*.
<https://doi.org/10.1111/nph.71395>
8. Nasir, S., Khan, L., Murtaza, A., Raza, A., Nasir, F., & Azam, U. (2026). Bridging traditional plant breeding with precision agriculture: A path to smarter crop improvement. In *Explicable Agriculture: Microbial Ecology, Bio-Innovations and Crop Production* (pp. 194-201). Unique Scientific Publishers.
<https://doi.org/10.47278/book.tl/2026.383>
9. World Agriculture Forum. (2026). WAF Interactive Webinar on Biotechnology and AI Contributions to Plant Breeding [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=xkVT9D7Nqy0>
10. Prasanna, B. M. (2026). Predictive Breeding: Bridging Genetics, Artificial Intelligence and Agriculture [Video]. SHARE GENES.
<https://www.youtube.com/watch?v=FWcxeEC90JA>
11. मनीटुडे। (16 मई 2025)। फसल जीनोम सूचना और लगभग 4,000 आणविक मार्कर... 'K-डजिटल प्रजनन' शुरू।
<https://www.mt.co.kr/economy/2025/05/16/2025051613191936623>

4.2

जीन संपादन (CRISPR) और सटीक प्रजनन

ग्रामीण विकास प्रशासन के राष्ट्रीय कृषि विज्ञान संस्थान के आनुवंशिक अभियांत्रिकी विभाग के ग्रीनहाउस में हर गमले पर एक छोटा नाम-पट्ट लगा है। 2024 में OsNAC-संपादित धान का अध्ययन राष्ट्रीय खाद्य फसल विज्ञान संस्थान ने नहीं, राष्ट्रीय कृषि विज्ञान संस्थान ने किया था। एक पत्ता काटकर जीन पढ़ने पर ऐसा धान मिल सकता है जो मूल किस्म के लगभग समान है, लेकिन पहले से निर्धारित स्थान का क्षारक बदला हुआ है। CRISPR इसी तरह किसी निश्चित लक्ष्य को चुनकर जीन काटने या बदलने का उपकरण है।

पौधे के जीन A, T, G और C चार अक्षरों का लंबा अनुक्रम हैं। गाइड RNA लगभग 20 अक्षरों के लक्ष्य अनुक्रम तक ले जाता है और Cas9 पास के PAM अनुक्रम की पुष्टि करने के बाद काटता है। यह मान लेना आसान है कि कट केवल एक सटीक स्थान पर लगेगा, पर ऐसा नहीं है। बेमेल अक्षरों की स्थिति और संख्या तथा आसपास के अनुक्रम के अनुसार आंशिक रूप से मिलता-जुलता कोई दूसरा स्थान भी कट सकता है। इसे ऑफ-टारगेट कहते हैं। इसी कारण गाइड डिजाइन और संपूर्ण जीनोम सत्यापन आवश्यक हैं।

काटे जाने के बाद कोशिका टूटे DNA को स्वयं जोड़ती है। बिना टेम्पलेट के जुड़ने पर कुछ अक्षर हट या जुड़ सकते हैं और जीन निष्क्रिय हो सकता है। इच्छित DNA टेम्पलेट साथ डालकर सटीक सुधार करने वाली समजाति-आधारित मरम्मत भी संभव है, लेकिन पौधों में इसकी दक्षता कम है और फसल तथा ऊतक के अनुसार अंतर बढ़ा है। बेस एडिटिंग किसी खास अक्षर को बदलती है और प्राइम एडिटिंग अधिक प्रकार के छोटे सुधारों का लक्ष्य रखती है। केवल यह कहना कि रूपरेखा देने पर सटीक अक्षर भर जाता है, सफलता दर और विफलता के प्रकारों को छिपा देता है।

संपादन उपकरण *Agrobacterium*, जीन गन या प्रोटोप्लास्ट में RNP पहुँचाकर कोशिका के भीतर डाला जाता है। प्रोटीन और गाइड RNA को बाँधने वाली RNP विधि का लाभ है कि उससे विदेशी DNA अंतःस्थापित हुए बिना संपादित जीव बनाया जा सकता है। फिर भी आणविक सत्यापन से पहले यह निश्चित नहीं कहा जा सकता कि कोई विदेशी जीन बिल्कुल शेष नहीं रहा। वाहक और पुनर्जनन प्रक्रिया में पैदा हुई अप्रत्याशित विविधताएँ भी जाँचनी चाहिए। नैनो-वाहक कई फसलों में परीक्षणाधीन अनुसंधान-चरण की विधि है।

समस्या यह है कि धान का अनुक्रम बहुत लंबा है। धान के जीनोम में 40 करोड़ अक्षर हैं और उसके भीतर शोधकर्ता के चुने 20 अक्षर वाले लक्ष्य से लगभग हूबहू मिलते क्षेत्र जगह-जगह छिपे हैं। यदि गाइड RNA वास्तविक लक्ष्य के बजाय ऐसे मिलते-जुलते क्षेत्र से जुड़कर गलत जगह काट दे, तो अनियोजित जीन खराब हो सकता है या अप्रत्याशित लक्षण आ सकता है। मनुष्य के लिए 40 करोड़ अक्षर आँखों से देखकर सभी समान क्षेत्र ढूँढ़ना शुरू से ही असंभव है। इसलिए यह काम कृत्रिम बुद्धिमत्ता करती है।

गेहूँ की स्थिति और कठिन है। गेहूँ का जीनोम तीन अलग पूर्वजों के जीनोमों का एक ही जीव में सम्मिलित षट्गुणित रूप है। चूर्णिल आसिता पैदा करने वाला जीन भी इन तीनों जीनोमों में लगभग एक जैसा मौजूद है, इसलिए संकरण प्रजनन से किसी एक प्रति को चुनकर दबाना संभव नहीं था। उस जीन का नाम TaMLO है और तीनों जीनोमों में उसे क्रमशः TaMLO-A1, TaMLO-B1 और TaMLO-D1 कहा जाता है। एक प्रति में बदलाव करने पर बाकी दो बची रहती थीं और रोग हो जाता था। CRISPR एक ही मार्गदर्शक को तीनों प्रतियों में अलग-अलग भेजकर तीनों स्थान एक साथ निष्क्रिय कर सकता है, और उन तीनों को सटीक ढूँढ़कर एक साथ लक्षित करने की गणना कृत्रिम बुद्धिमत्ता बखूबी करती है।

जीन संपादन और वाणिज्यिक फसलों के इतिहास को तकनीक के अनुसार अलग करना चाहिए। अमेरिका में पहली बार व्यावसायिक हुआ उच्च ओलिक अम्ल वाला सोयाबीन FAD2 जीन को TALEN से संपादित उत्पाद था, CRISPR फसल नहीं। भूरापन रोकने वाला वाणिज्यिक Innate आलू RNA इंटरफेरेंस तकनीक से PPO की अभिव्यक्ति घटाता है। CRISPR से रोग प्रतिरोध, पत्ती का कोण या पोषक उपयोग दक्षता बदलने वाले मक्का और आलू के अध्ययन जारी हैं, पर अनुसंधान वाले CRISPR उदाहरणों और पहले से बिक रहे TALEN तथा RNAi उत्पादों को एक ही तकनीक की उपलब्धि नहीं मानना चाहिए।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता पहले पूरे जीनोम में लक्ष्य से थोड़ा भी मिलते सभी क्षेत्रों को खोजती है। फिर डीप लर्निंग मॉडल प्रत्येक प्रत्याशी स्थान पर कैची के वास्तव में जुड़कर काटने की संभावना को अंक देता है। ये अंक अनुमान से नहीं, वास्तविक मापन डेटा से आते हैं। मॉडल जीवित कोशिकाओं में कैची डालकर फ्लोरोसेंट चिह्न से यह पता लगाने वाले हजारों प्रयोगात्मक परिणाम सीखता है कि वास्तव में कहाँ कट लगा।

2025 में arXiv पर प्रकाशित अब्बासज़ादेह और शल्लार्ड के शोधपत्र के अनुसार, कन्वोल्यूशनल न्यूरल नेटवर्क, रिकरेंट न्यूरल नेटवर्क और ट्रांसफॉर्मर संरचनाओं वाले हालिया मॉडल पुराने सांख्यिकीय सूत्रों से कहीं अधिक सटीक बताते हैं कि कौन-सा अनुक्रम कटने के प्रति संवेदनशील है। ये मॉडल केवल अंक नहीं देते, बल्कि यह भी दिखाते हैं कि अनुक्रम में अक्षरों का कौन-सा संयोजन जोखिम बढ़ाता है। इसका अर्थ है कि शोधकर्ता कारण को आँखों से देखकर समझ सकता है।

कैची को स्वयं बदलने का उपाय भी है। मानक कैची से अधिक लक्ष्य-विशिष्टता वाला परिवर्तित एंजाइम प्रयोग करने पर वह शुरू से ही गलत क्षेत्र से आसानी से नहीं जुड़ता। शोधकर्ता इस अंकतालिका और नए एंजाइम को साथ देखकर सबसे कम जोखिम वाला संयोजन प्रयोगशाला में जाँचता है और संपादन पूरा होने के बाद फिर सत्यापन करता है। पौधे के पूरे जीनोम को दोबारा पढ़कर मूल जीनोम से अक्षर-अक्षर मिलाया जाता है और कृत्रिम बुद्धिमत्ता उस तुलना में मनुष्य की आँख से छूटने वाले पैटर्न तक खोजकर देखती है कि लक्ष्य से बाहर कोई विविधता तो नहीं है।

पूरे जीनोम के पुनः अनुक्रमण से होने वाले इस सत्यापन में एक वंशावली जाँचने पर भी पर्याप्त लागत आती है। कम बजट वाली छोटी प्रजनन कंपनी या विकासशील देश की प्रयोगशाला इस चरण को छोड़ने के प्रलोभन में पड़ती है और कुछ संस्थाएँ वास्तव में खेत में उतारने से पहले अंतिम पुष्टि किए बिना अगले चरण में चली जाती हैं। हाल में प्रोटीन की त्रि-आयामी संरचना सीख चुके कृत्रिम बुद्धिमत्ता मॉडल से प्रकृति में न मिलने वाला नया कैची प्रोटीन डिजाइन करने के प्रयोग भी सामने आए हैं। यह अभी खेत में इस्तेमाल के स्तर पर नहीं है, लेकिन कृत्रिम बुद्धिमत्ता की भूमिका कैची चुनने से कैची बनाने की ओर बढ़ रही है।

संपादन और ऑफ-टारगेट सत्यापन पूरा होने के बाद भी फसल तुरंत खेत में नहीं उतारी जा सकती। देखना पड़ता है कि लक्षण संतति में जाता है या नहीं, फिर स्थानीय अनुकूलन परीक्षण और किस्म पंजीकरण करना होता है। त्वरित प्रजनन ग्रीनहाउस प्रकाश, तापमान और आर्द्रता नियंत्रित करके गेहूँ तथा जौ जैसी फसलों की पीढ़ियाँ जल्दी बढ़ाता है। धान और मक्के की प्रतिक्रिया किस्म और प्रकाशावधि के अनुसार बदलती है। वंशावली जल्दी स्थिर करने और किसानों को बेचने योग्य किस्म पूरी करने में अलग-अलग समय लगता है।

कोरिया के ग्रामीण विकास प्रशासन ने 2024 में बताया कि उसने धान की रक्षा से संबंधित लगभग 2,600 जीन स्थलों को लक्ष्य बनाया और पहले चरण में NAC परिवार के 146 प्रकार के संपादित जीव बनाए। OsNAC30-संपादित धान में बैक्टीरियल लीफ ब्लाइट के घाव 51.9 प्रतिशत घटे और OsNAC59-संपादित धान में बाकाने रोग से मृत्यु दर 24.5 प्रतिशत कम हुई। अनुसंधान दल ने संपादित समूह को सीधे संक्रमित करके ये दो रक्षा जीन खोजे।

जीन-संपादित फसलों के लिए पार करने वाले द्वार देश के अनुसार अलग हैं। अमेरिका में 2020 का SECURE नियम दिसंबर 2024 के अदालती निर्णय से निरस्त हुआ और APHIS ने पुरानी अनुमति, सूचना, याचिका तथा 'Am I Regulated' प्रक्रिया फिर शुरू की। यह कथन 2026 के मौजूदा सामान्य नियम को नहीं दर्शाता कि विदेशी DNA न हो तो एक पन्ने के कागज़ से खेत परीक्षण किया जा सकता है। यूरोपीय संघ का Regulation (EU) 2026/1388 पूरी तरह 17 जुलाई 2028 से लागू होगा।

NGT1 मानदंड यह नहीं है कि मूल जीनोम से 20 या कम स्थानों पर अंतर हो, बल्कि अंतःस्थापन और प्रतिस्थापन की लंबाई, प्रत्येक कोडिंग अनुक्रम में परिवर्तनों की संख्या और अगुणित जीनोम में परिवर्तनों की कुल संख्या को साथ देखता है। खरपतवारनाशी सहनशीलता और ज्ञात कीटनाशी पदार्थ उत्पन्न करने वाले लक्षण NGT1 से बाहर हैं।

पेटेंट भी बाधा हैं। मूल Cas9 पेटेंटों के प्रमुख अधिकारधारी UC Berkeley-Vienna समूह और Broad-MIT समूह हैं तथा Corteva सहित कंपनियों ने कुछ अधिकार लाइसेंस पर लिए हैं। छोटी प्रजनन कंपनियाँ और सार्वजनिक अनुसंधान संस्थान यह जाँचने और उपयोग अनुबंध करने में समय तथा धन लगाते हैं कि उन्हें कौन-सा पेटेंट चाहिए। कभी-कभी तकनीक सीखने से अधिक समय उसे कानूनी रूप से प्रयोग करने का अधिकार हासिल करने में लगता है।

इन दोनों नियामक व्यवस्थाओं के बीच जापान ने रक्तचाप घटाने वाला बताए गए गामा-अमीनोब्यूटिरिक अम्ल की मात्रा बढ़ाए संपादित टमाटर को गैर-आनुवंशिक रूप से परिवर्तित जीव के रूप में मंजूरी दी है और वह वास्तव में बिक रहा है। लेकिन बिक्री होने का अर्थ यह नहीं कि हर व्यक्ति उसे खरीदेगा। फिलीपींस के विद्वानों के 2025 के सर्वेक्षण के अनुसार, सुरक्षित मानने वाले उपभोक्ताओं में ऐसा संपादित केला खरीदकर खाने की इच्छा चीन में 267 प्रतिशत और जापान में 171 प्रतिशत बढ़ी। इसके विपरीत अपरिचित खाद्य पदार्थ से हिचकिचाहट ने तीनों देशों में खरीदने की इच्छा घटाई।

अमेरिका के तीन विश्वविद्यालयों ने कम एक्रिलामाइड वाले आटे पर 1,638 लोगों से पूछा, तो निष्कर्ष समान था। लोगों ने CRISPR का पशुओं या मनुष्यों पर प्रयोग करने की अपेक्षा फसलों पर प्रयोग अधिक सहजता से

स्वीकार किया। फिर भी यह चिंता बनी रही कि दुष्प्रभाव बाद में सामने आ सकते हैं और इस तकनीक के पेटेंट कुछ बड़ी बीज कंपनियों के पास होने से छोटे किसानों तथा गरीब देशों के शोधकर्ताओं की पहुँच कठिन है।

इन सभी प्रक्रियाओं से गुजर चुके लक्षण के सामने भी एक अंतिम द्वार बचता है। ग्रीनहाउस में बिना किसी कमी के बढ़ने वाला धान वास्तविक खेत में कमजोर पड़ जाए, ऐसा होना असामान्य नहीं है। ग्रीनहाउस में तापमान, पानी और प्रकाश मनुष्य नियंत्रित करता है, जबकि खेत में मानसून, तूफान और कीट-रोग एक साथ आते हैं। 2026 में ईरानी शोधकर्ता रहीमी के शोधपत्र ने बताया कि प्रयोगशाला की सफलता खेत तक क्यों नहीं पहुँचती। लक्ष्य चुनने वाले कृत्रिम बुद्धिमत्ता मॉडल सामान्यतः केवल सामान्य परिस्थितियों से सीखते हैं, इसलिए सूखे या लू जैसे तनाव पहले नहीं देखते।

संपादन सफल हो जाए, तब भी उस जीन की कोशिका के दूसरे जीनों के साथ अंतःक्रिया की जाँच किए बिना आगे बढ़ जाना आम है। कभी-कभी केवल एक-दो स्थानों पर उगाकर, कई क्षेत्रों के खेतों में कई वर्षों तक दोहराया परीक्षण किए बिना पहले प्रकाशन कर दिया जाता है।

2025 के Cell शोधपत्र में धान के CWIN प्रोमोटर में 10 क्षारक लंबा ताप-प्रतिक्रियाशील तत्व डाला गया। उच्च तापमान में संपादित धान की प्लॉट उपज Zhonghua 11 से 25 प्रतिशत अधिक थी और गर्मी से हुई उपज हानि अधिकतम 41 प्रतिशत तक वापस मिली। एक छोटे अनुक्रम के अंतःस्थापन का परिणाम स्पष्ट था, पर कई क्षेत्रों में कई वर्षों तक दोहराए जाने वाले दीर्घकालिक अनुकूलन परीक्षण बाकी हैं। ग्रीनहाउस और प्लॉट परीक्षण में सफल धान किसान के खेत में भी वैसा ही प्रदर्शन करेगा या नहीं, यह कई मौसमों बाद पता चलेगा।

इसलिए प्रजनन कंपनियाँ और राष्ट्रीय अनुसंधान संस्थान ग्रीनहाउस की सफलता प्रकाशित करने से पहले कई खेतों में बाँटकर लगाने और कई वर्षों तक देखने की प्रक्रिया लंबी कर रहे हैं। CRISPR एक अक्षर सटीक काट सकता है, लेकिन वह एक अक्षर उपयोगी धान बनाएगा या नहीं, इसकी पुष्टि कई वर्षों के खेत परीक्षण के बाद होती है। अगले तूफान के गुजरने के बाद नाम-पट्टे लगे उस गमले का धान पास के खेत की देशी किस्म से कितना अधिक खड़ा रहेगा, यह अभी कोई निश्चित नहीं कह सकता।

स्रोत और संदर्भ

1. Nasir, S., Khan, L., Murtaza, A., Raza, A., Nasir, F., & Azam, U. (2026). Bridging traditional plant breeding with precision agriculture: A path to smarter crop improvement. In *Explicable Agriculture: Microbial Ecology, Bio-Innovations and Crop Production* (pp. 194-201). Unique Scientific Publishers. <https://doi.org/10.47278/book.tl/2026.383>
2. U.S. Department of Agriculture, APHIS. (2025). Vacatur of 2020 Biotechnology Regulations. <https://www.aphis.usda.gov/vacatur-2020-regulations>
3. European Union. (2026). Regulation (EU) 2026/1388 on Plants Obtained by Certain New Genomic Techniques. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202601388
4. Fu, B. X. H., et al. (2022). Target-dependent Nickase Activities of the CRISPR-Cas Nucleases Cpf1 and Cas9. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04470-1>

5. Lou, H., Li, S., Shi, Z., et al. (2025). Engineering source-sink relations by prime editing confers heat-stress resilience in tomato and rice. *Cell*, 188(2), 530-549.e20.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.11.005>
6. U.S. Food and Drug Administration. Genome Editing in Agricultural Biotechnology.
<https://www.fda.gov/food/agricultural-biotechnology/genome-editing-agricultural-biotechnology>
7. ग्रामीण विकास प्रशासन। (2024)। बैक्टीरियल लीफ ब्लाइट और बाकाने रोग के प्रति अधिक प्रतिरोधी धान जीनों की खोज।
https://www.rda.go.kr/board/board.do?dataNo=100000798693&mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry
8. ISAAA. (2025, July 30). Survey shows consumer acceptance of gene-edited bananas in the Philippines, Japan, and China. *Crop Biotech Update*.
<https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/ged/article/default.asp?ID=21404>
9. ISAAA. (2025, February 26). Study reveals consumer acceptance of gene-edited food. *Crop Biotech Update*.
<https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=21220>
10. ISAAA. (2021, September 22). Japan starts sale of genome-edited high-GABA tomato. *Crop Biotech Update*.
<https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=19024>
11. न्यूज़िस। (2 अक्टूबर 2024)। ग्रामीण विकास प्रशासन ने बैक्टीरियल लीफ ब्लाइट और बाकाने रोग के प्रति अधिक प्रतिरोधी धान जीन खोजे। न्यूज़िस।
https://www.newsis.com/view/NISX20241002_0002907293
12. Sangwa, S., & Mutabazi, P. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Ethical stewardship, responsible innovation, and governance for sustainable food systems. *Intelligent Agriculture*, 1(2), 25-45.
<https://doi.org/10.54963/ia.v1i2.1684>

4.3

जलवायु परिवर्तन के अनुकूल सहनशील किस्मों का विकास

बंगाल की खाड़ी से अधिक दूर नहीं, निचले इलाके के धान के खेत में तीन दिन तक लगातार मानसूनी वर्षा हुई। रोपाई को एक महीना भी न हुए धान के छोटे पौधे कमर तक चढ़े पानी में डूबे हैं। तीन दिन पहले तक हरे खड़े तने अब दिखाई नहीं देते। लेकिन इसी खेत में ऐसा धान भी उगता है जो पानी उतरने पर फिर सिर उठाता है और ऐसा धान भी जिसके जीनों को 10 दिन डूबे रहने योग्य बनाया गया है।

अंतरराष्ट्रीय धान अनुसंधान दल ने जलमग्नता-सहनशील 6,274 जर्मप्लाज्म वंशावलियों की जाँच करके 89 उत्कृष्ट वंशावलियाँ और मजबूत सहनशीलता वाली 37 वंशावलियाँ चुनीं। अध्ययन में खेत चयन, लगभग तीन सप्ताह के जलमग्नता परीक्षण, QTL विश्लेषण और जीनोमिक चयन को मिलाया गया। यह एकदिश क्रम मूल शोधपत्र से अलग है कि पहले मशीन लर्निंग से प्रत्याशी घटाए गए और फिर टंकी में 10 से 21 दिन परीक्षण हुआ। मजबूत 37 वंशावलियों की जीवित रहने की दर SUB1A अंतःप्रवेशित वंशावलियों से 40 से 50 प्रतिशत अधिक थी, यह परिणाम बनाए रखना चाहिए, पर चयन प्रक्रिया सही लिखी जानी चाहिए।

चाहे पीला सागर हो या बंगाल की खाड़ी, समुद्र के पास के धान खेतों की चिंता अलग है। पानी भरने के कारण नहीं, बल्कि मिट्टी स्वयं खारी होने के कारण धान नहीं बढ़ता। पुनः प्राप्त भूमि या समुद्र-स्तर बढ़े डेल्टा में सूखे खेत की सतह पर सफेद नमक पाले की तरह जम जाता है। जड़ें खारा पानी खींचते समय आवश्यक पोषक तत्वों को छोट नहीं पातीं और पत्तियाँ सिरों से झुलसने लगती हैं। लवण-सहनशीलता भी जलमग्नता-सहनशीलता की तरह एक जीन से हल नहीं होती। आयन छोटने, जड़ कोशिका का दबाव सहने और पानी बचाकर इस्तेमाल करने की क्षमताएँ दर्जनों अलग जीनों में बँटी हैं और उन सभी के साथ काम करने पर ही धान खारी भूमि में बालियाँ बनाता है।

परंपरागत प्रजनन में ऐसे लक्षण आँखों से चुनने पड़ते थे। खारे खेत में हजारों वंशावलियाँ लगाकर कई वर्ष प्रतीक्षा की जाती और केवल बची हुई वंशावलियों को फिर लगाया जाता था। इस बीच पानी देना, लवणता मापना और पत्तियों के झुलसने की मात्रा पैमाने पर दर्ज करना, सब मनुष्य के हाथों होता था। इसीलिए एक किस्म को सामने आने में आठ से बारह वर्ष लगते थे।

खारी भूमि के लिए मजबूत धान बनाने का विचार नया नहीं है। चीनी कृषिविज्ञानी झांग छीफा ने 2007 में अंतरराष्ट्रीय शोध पत्रिका PNAS में प्रस्ताव रखा कि धान की जंगली संबंधी प्रजातियों में बिखरे सूखा प्रतिरोध और नाइट्रोजन उपयोग दक्षता के जीन एक किस्म में एकत्र किए जाएँ। इसका नाम Green Super Rice था। उस समय एक जीन को चिह्न से ट्रैक करके संकरण करने में भी कई वर्ष लगते थे। अब पूर्वानुमान प्रजनन ने उस विचार को आगे बढ़ाया है। जंगली धान के जीन बैंक में निष्क्रिय पड़े सहनशीलता जीनों के दर्जनों संयोजनों को कंप्यूटर पहले गणना से छोटता है और केवल अधिक संभावनाशील संयोजनों को वास्तविक खेत में जाँचा जाता है।

फूल आने और दाना भरने के समय लू पड़े तो गेहूँ में पराग और दाना निर्माण प्रभावित होता है। दुनिया भर के अध्ययनों के संयुक्त अनुमान में वृद्धि अवधि का औसत तापमान 1 डिग्री बढ़ने पर गेहूँ की उपज औसतन लगभग 6 प्रतिशत घटी। 21 प्रतिशत कुछ खास परिस्थितियों और अध्ययनों में दर्ज ऊपरी मान है, इसलिए उसे सभी गेहूँ खेतों की प्रतिक्रिया की तरह साथ नहीं लिखा जाना चाहिए। शीतकालीन और वसंतकालीन गेहूँ की संवेदनशील अवधियाँ भी क्षेत्र तथा किस्म के अनुसार बदलती हैं। प्रजनन में आनुवंशिक चिह्नों और फूल आने के समय के तापमान अभिलेखों को साथ देखकर उच्च तापमान सहने वाली वंशावलियाँ चुनी जाती हैं।

फूल खिलने की छोटी अवधि में उच्च तापमान से धान में बाँझपन और गुणवत्ता हानि हो सकती है। जापान के राष्ट्रीय कृषि अनुसंधान संगठन के शोधकर्ताओं ने लगभग 1 किलोमीटर की मौसम ग्रिड और बाली तापमान मॉडल से जल्दी फूल आने, ताप-सहनशीलता और बालियाँ निकलने का समय समायोजित करने के संयोजनों की तुलना की। उन्होंने गणना की कि फूल आने का समय 3 घंटे पहले करने या ताप-सहनशीलता 3 डिग्री बढ़ाने के परिदृश्य क्षेत्रवार बाँझपन जोखिम को कैसे बदलते हैं। यह अध्ययन 2026 में Field Crops Research के खंड 344 में लेख संख्या 110519 के रूप में प्रकाशित हुआ।

लू और सूखे से केवल गेहूँ और धान प्रभावित नहीं होते। जड़ के सिरे की जलवाहिनी से ऊपर आने वाला पानी कम होने पर सोयाबीन फलियों को पूरा भरे बिना पक जाता है। जड़-गाँठ बैक्टीरिया के साथ सहजीविता से नाइट्रोजन पाने वाले सोयाबीन में जड़ों के आसपास की मिट्टी सूखने पर यह सहजीवी संबंध पहले टूटता है। नाइट्रोजन न पाने वाली पत्तियों का रंग हल्का पड़ता है और दाने सिकुड़ते हैं। पूर्वानुमान प्रजनन शोधकर्ता पूरे सोयाबीन जीनोम में ऐसे जीन संयोजन खोजते हैं जो सूखे में भी जड़-गाँठ सहजीविता और प्रोटीन संश्लेषण बनाए रखते हैं, और केवल उन संयोजनों वाली वंशावलियों को सूखा परीक्षण खेत में लगाते हैं।

यह धान और गेहूँ में प्रयुक्त विधि को सोयाबीन खेत में ज्यों का त्यों लाना है।

जलमग्नता सहने वाला धान, नमक सहने वाला धान और लू सहने वाला गेहूँ एक साझा चुनौती रखते हैं। भविष्य की जलवायु सहने वाला जीन संयोजन पहचानने में बहुत अधिक समय लगता है। परंपरागत प्रजनन में संकर संतति को वास्तविक खेत में लगाकर सुखाने, पानी में डुबोने या नमक डालने और कई वर्षों तक देखने के अलावा कोई उपाय नहीं था। कृत्रिम बुद्धिमत्ता ने इस प्रतीक्षा का बहुत-सा समय कंप्यूटर के भीतर पहुँचा दिया है। इसका नाम पूर्वानुमान प्रजनन (Predictive Breeding) है। जीनोम पहले पढ़कर परिणाम की गणना करने के अर्थ में इसे जीनोमिक चयन भी कहते हैं।

छोटे पौधे की पत्ती से DNA निकालकर एक साथ हजारों आनुवंशिक चिह्न पढ़े जाते हैं। ये चिह्न बताते हैं कि उस पौधे में कौन-से जीन हैं। पौधे को अंत तक उगाए बिना चिह्न पढ़कर अनुमान लगाया जा सकता है कि बड़ा होकर वह सूखा और गर्मी कितनी सहेगा। गणना में कई निर्णय वृक्षों का बहुमत लेकर उत्तर देने वाली विधि और मानव मस्तिष्क की तंत्रिका कोशिकाओं की नकल करने वाले कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क सहित कई विधियाँ साथ इस्तेमाल होती हैं। चिह्नों और पर्यावरण डेटा के जुड़ने का तरीका क्षेत्रवार अलग होता है, इसलिए प्रजनक कई गणना विधियाँ साथ आजमाकर वास्तविक परिणाम से सबसे अच्छी मिलने वाली विधि चुनते हैं।

एक वर्ष और एक स्थान का अभिलेख पर्याप्त नहीं है। भीषण तथा सामान्य सूखे वाले वर्षों और रेतीली तथा चिकनी मिट्टी के अभिलेख बढ़ने पर गणना वास्तविकता के करीब आती है। इसमें कई वर्षों और अनेक क्षेत्रों

के मौसम तथा मिट्टी के अभिलेख जोड़ दिए जाएँ, तो दसियों हजार संकरण संयोजनों में से केवल कुछ सौ चुने जा सकते हैं जिन्हें वास्तविक खेत में लगाना उचित होगा।

कंप्यूटर की गणना का डेटा केवल आनुवंशिक चिह्न नहीं है। परीक्षण खेत में ड्रोन उड़कर पत्तियों का रंग और उनकी सतह का तापमान दर्ज करते हैं। पानी की कमी वाले धान की पत्तियों का तापमान स्वस्थ धान से थोड़ा अधिक होता है। यह मनुष्य की आँख को नहीं दिखाता, लेकिन तापीय कैमरे में साफ दिखाई देता है। प्रतिदिन जमा ये तस्वीरें और संख्याएँ आनुवंशिक चिह्नों के साथ रखी जाती हैं और कंप्यूटर सीखता है कि वास्तविक खेत में कौन-सा जीन संयोजन किस रूप में दिखाई देता है।

अंतरराष्ट्रीय मक्का और गेहूँ सुधार केंद्र की DTMA परियोजना ने 2007 से 2012 तक 60 सूखा-सहनशील संकर और 57 खुले परागण वाली किस्में वितरित कीं। परियोजना ने अफ्रीका के 13 देशों में अधिकतम 4 करोड़ लोगों को लक्षित किया था। यह 4 करोड़ कृषक परिवार नहीं थे। मध्यम सूखे में लगभग 1 टन प्रति हेक्टेयर या 20 से 30 प्रतिशत उपज लाभ लक्ष्य था। इस उपलब्धि को इस प्रमाण से जोड़ने वाला डेटा नहीं है कि कृत्रिम बुद्धिमत्ता पूर्वानुमान ने प्रजनन अवधि दस वर्ष से घटाकर तीन-चार वर्ष कर दी।

त्वरित प्रजनन कृत्रिम प्रकाश से दिन की लंबाई और तापमान नियंत्रित करके पीढ़ियाँ जल्दी बढ़ाता है। 22 घंटे के लंबे दिन में प्रति वर्ष 6 पीढ़ियाँ प्राप्त करने का परिणाम वसंतकालीन गेहूँ और जौ जैसी फसलों में दर्ज हुआ है। मक्के की कई किस्में छोटे होते दिन पर प्रतिक्रिया करती हैं, इसलिए वही उपचार ज्यों का त्यों लागू नहीं किया जा सकता। पीढ़ी त्वरण से वंशावली जल्दी स्थिर हो जाए, तब भी अनेक क्षेत्रों के खेती परीक्षण और किस्म पंजीकरण में अलग समय लगता है।

इस तेज प्रजनन की भी सीमाएँ हैं। कंप्यूटर ने पिछले कुछ वर्षों में वास्तव में अनुभव किए गए मौसम और मिट्टी की स्थितियों से सीखा है। लेकिन जलवायु परिवर्तन ऐसी लू या सूखा पैदा करता है जिसे किसी ने अनुभव नहीं किया। प्रशिक्षण डेटा में न रहे चरम मौसम में कृत्रिम बुद्धिमत्ता का अनुमानित अंक भी डगमगाता है। पहले कभी न आई लू में कृत्रिम बुद्धिमत्ता सहनशीलता श्रेणी वास्तविकता से अधिक आँके, तो किसान उस पर विश्वास करके बो सकता है और उस वर्ष की खेती बिगाड़ सकता है। इसलिए कंप्यूटर द्वारा चुने गए प्रत्याशी को भी खेत में लगाकर वास्तव में सहन करने की पुष्टि करने की प्रक्रिया समाप्त नहीं हुई।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता लगाने योग्य प्रत्याशियों को दसियों हजार से घटाकर कुछ सौ करती है।

कंप्यूटर गणना की भी अपनी बाधाएँ हैं। हजारों आनुवंशिक चिह्नों और कई वर्षों के मौसम तथा मिट्टी डेटा को एक साथ चलाने के लिए उच्च-प्रदर्शन कंप्यूटर और परिणाम समझने वाले विशेषज्ञ चाहिए। CIMMYT या IRRRI जैसे अंतरराष्ट्रीय संगठनों से सहायता पाने वाले संस्थानों के पास ये उपकरण और कर्मचारी हैं, पर सीमित बजट वाले देशों के राष्ट्रीय प्रजनन संस्थानों की स्थिति अलग है। गणना ही न कर सकें, तो वे अपनी मिट्टी और जलवायु के अनुकूल पूर्वानुमान मॉडल स्वयं नहीं बना पाते और अक्सर दूसरे देश का मॉडल उधार लेते हैं।

उधार मॉडल ने उस देश के धान खेतों और अन्य खेतों से कभी नहीं सीखा होता, इसलिए प्रशिक्षण डेटा में न मौजूद परिस्थितियों में पूर्वानुमान डगमगाने की समस्या बनी रहती है। गणना क्षमता वाले और उससे वंचित देशों के बीच नई खाई बनने का जोखिम है।

नई किस्म को परीक्षण केंद्र के रेफ्रिजरेटर से किसान के हाथ तक पहुँचने में लंबा रास्ता तय करना पड़ता है। अफ्रीका के छोटे किसानों द्वारा इस्तेमाल किए जाने वाले बीजों में अनौपचारिक हिस्सेदारी देश और फसल के अनुसार अलग है। युगांडा के डेटा में पड़ोसियों, बाज़ार और स्वयं बचाए बीज सहित अनौपचारिक मार्ग लगभग 85 से 89 प्रतिशत अनुमानित हैं। इसे पूरे अफ्रीका के 90 प्रतिशत से अधिक छोटे किसानों का निश्चित आँकड़ा नहीं माना जा सकता। क्षेत्रवार देखना होगा कि किसान बीज न मिलने, अपरिचित होने या महँगा होने के कारण नहीं बोता।

अमेरिकी बीज बाज़ार का संकेंद्रण फसल के अनुसार अलग है। USDA के अनुमान में दो शीर्ष कंपनियों की हिस्सेदारी मक्के में लगभग 71.6 प्रतिशत और सोयाबीन में लगभग 65.9 प्रतिशत थी। कपास में चार शीर्ष कंपनियों की हिस्सेदारी लगभग 94 प्रतिशत थी। 1990 से 2020 तक GM-केंद्रित बीज मूल्य सूचकांक 463 प्रतिशत बढ़ा, जबकि फसल मूल्य सूचकांक 56 प्रतिशत बढ़ा। बीज की कीमत किसान को अनाज बेचने पर मिलने वाली कीमत से कहीं अधिक तेजी से बढ़ी।

अफ्रीका के कई देशों के कृषि अर्थशास्त्रियों द्वारा 2026 में अंतरराष्ट्रीय शोध पत्रिका Journal of Agricultural Economics में प्रकाशित अध्ययन इस बाधा को घटाने का एक तरीका दिखाता है। नई किस्म को बड़ी बोरी के बजाय हथेली जितने छोटे पैकेटों में बाँटने पर बीज पाने वाले कृषक परिवारों में किस्म की समझ और अगले वर्ष खरीद की दर दोनों बढ़ीं। International Seed Federation ने भी 2026 के एक लेख में ऐसी ही बात कही। गाँव के बुजुर्ग द्वारा पहले लगाए गए खेत को पास से देखने देना या कृषि प्रसारक का घर-घर जाकर बीज का पैकेट सीधे हाथ में देना एक विज्ञापन पर्चे से बेहतर है।

लक्षण कितना भी उत्कृष्ट हो, किसान पहले भरोसा करके एक बार न लगाए तो वह नहीं फैलता।

फिर बंगाल की खाड़ी का वही निचला धान खेत। पानी उतरने के बाद SUB1 जीन वाला धान वास्तव में फिर सिर उठाएगा या नहीं, इसकी पुष्टि उसी खेत, उसी किसान और अगले मानसून के आने पर होगी। पानी उतरने में अब भी कई दिन लगते हैं और उस दौरान मेड़ पर उकड़ूँ बैठकर पानी का रंग देखने वाला कंप्यूटर नहीं, किसान होता है।

स्रोत और संदर्भ

1. Prasanna, B. M. (2026). Predictive Breeding: Bridging Genetics, Artificial Intelligence and Agriculture [Video]. SHARE GENES.
<https://www.youtube.com/watch?v=FWcxeEC90JA>
2. Anumalla, M., Khanna, A., Catolos, M., Ramos, J., Sta Cruz, M. T., Venkateshwarlu, C., Konijerla, J., Pradhan, S. K., Dash, S. K., Das, Y., Chowdhury, D., Chetia, S. K., Das, J., Nath, P., Merugumala, G. R., Roy, B., Pradhan, N., Jana, M., Dana, I., ... Hussain, W. (2025). Future flooding tolerant rice germplasm: Resilience afforded beyond Sub1A gene. The Plant Genome, 18(2), e70040.
<https://doi.org/10.1002/tpg2.70040>
3. Zheng, Y., Cai, Z., Wang, Z., Maruza, T. M., & Zhang, G. (2025). The genetics and breeding of heat stress tolerance in wheat: Advances and prospects. Plants, 14(2), 148.
<https://doi.org/10.3390/plants14020148>

4. CIMMYT. (2026). Drought Tolerant Maize for Africa (DTMA). International Maize and Wheat Improvement Center.
<https://www.cimmyt.org/projects/drought-tolerant-maize-for-africa-dtma/>
5. BusinessWorld Online. (2024, March 27). Rice variety resistant to heat, drought to be launched in 2026, IRRI says.
<https://www.bworldonline.com/economy/2024/03/27/584553/rice-variety-resistant-to-heat-drought-to-be-launched-in-2026-irri-says/>
6. Mulungu, K., Subakanya, M., Setimela, P., Essegbemon, A., Chivasa, W., Gethi, J., Chiduwa, M., Sigalla, J., Mvungi, H. H., & Ngoma, H. (2026). Small seed packs, big potential? Effect of seed packs on knowledge and adoption of improved crop varieties. *Journal of Agricultural Economics*.
<https://doi.org/10.1111/1477-9552.70040>
7. International Seed Federation. (2026). Inclusive seed systems: Building trust with farmers. World Seed 2026.
<https://worldseed.org/2026/06/03/inclusive-seed-systems-farmers-world-seed-2026/>
8. Catholic Relief Services. (2026). Seed systems smallholder farmers use.
https://www.crs.org/sites/default/files/documents/2025-12/seed_systems_farmers_use_embargoed_until_jan_20.pdf
9. Zhang, Q. (2007). Strategies for developing Green Super Rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(42), 16402-16409.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0708013104>
10. Toda, Y., et al. (2026). Simulation of Heat-Induced Spikelet Sterility in Rice and Evaluation of Adaptation Options Under Historical and Projected Meteorological Conditions in Japan. *Field Crops Research*, 344, 110519.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2026.110519>
11. Dawson, J., Hubbard, K., & Jenney, P. (2026, June 23). How everyone pays the cost for patents on seeds, and private companies get rich from keeping them secret. *The Conversation*.
<https://theconversation.com/how-everyone-pays-the-cost-for-patents-on-seeds-and-private-companies-get-rich-from-keeping-them-secret-284144>

अध्याय 5

एआई निर्णय-निर्माण और स्वचालन

5.1

कृषि-विशिष्ट बहुमाध्यमी विशाल भाषा मॉडल (Agri-LLM)

दोपहर ढलने लगी है और धान के एक पत्ते पर पीले धब्बे फैल रहे हैं। कल तक पत्ता बिल्कुल ठीक था। किसान अपना मोबाइल फ़ोन निकालता है, धब्बे की तस्वीर खींचकर परामर्श विंडो में डालता है और स्क्रीन की ओर देखकर स्थानीय बोली मिली आवाज़ में पूछता है, “यह ऐसा क्यों हो रहा है, क्या दवा छिड़कनी पड़ेगी?” उत्तर गलत हुआ तो मामला एक पत्ते तक सीमित नहीं रहेगा, पूरे साल की खेती दाँव पर लग जाएगी। इस प्रश्न का सही उत्तर देने के लिए बनाई गई तकनीक कृषि-विशिष्ट बहुमाध्यमी विशाल भाषा मॉडल है, जिसे संक्षेप में एग्री-एलएलएम (Agri-LLM) कहा जाता है।

मोबाइल फ़ोन में मौजूद किसी आम कृत्रिम बुद्धिमत्ता चैट ऐप पर यही तस्वीर डालने पर भी उत्तर मिल जाता है। समस्या यह है कि वह उत्तर अक्सर गलत होता है। सामान्य कृत्रिम बुद्धिमत्ता को मनुष्यों का लिखा पूरा पाठ याद करके विश्वसनीय लगने वाले वाक्य जोड़ने के तरीके से प्रशिक्षित किया जाता है। धान के पत्ते पर उभरा धब्बा ब्लास्ट रोग है या बैक्टीरियल लीफ ब्लाइट, दोनों को अलग करने वाली सीमा आँख से देखने पर भी कुछ मिलीमीटर की होती है। सामान्य मॉडल इस बारीक अंतर को नहीं पहचान पाता। सही उत्तर वास्तव में जानना और सही उत्तर जैसा सुनाई देने वाला वाक्य बनाना बिल्कुल अलग बातें हैं, पर सामान्य मॉडल केवल दूसरी क्षमता में निपुण होता है।

रोग या कीट का नाम और उपचार न मालूम हो तो वह उन्हें गढ़ देता है। वह किसी अस्तित्वहीन कीटनाशक का नाम असली बताकर देता है और उस क्षेत्र की जलवायु या नियमों से मेल न खाने वाली सलाह पूरे विश्वास से पेश करता है। कृत्रिम बुद्धिमत्ता उद्योग में इस लक्षण को मतिभ्रम कहा जाता है। खेती में मतिभ्रम को हँसकर टालने की गुंजाइश नहीं होती। गलत दवा को गलत सांद्रता में छिड़कने पर पूरा खेत सूखकर नष्ट हो सकता है।

एग्री-एलएलएम ऐसा मॉडल है जिसे इस मतिभ्रम को घटाने के लिए आरंभ से अलग ढंग से बनाया गया है। पादप रोगविज्ञान के शोधपत्र, कीट पहचान पुस्तिकाएँ और किसानों के परामर्श अभिलेख जैसे कृषि-विशेषज्ञता वाले पाठ अलग से जुटाकर मॉडल को दोबारा प्रशिक्षित किया जाता है। इसके साथ एक सूक्ष्म दृश्य-पहचान तंत्र जोड़ा जाता है, जो तस्वीर में रोग के छोटे घाव और कीट के नन्हे लार्वा की रूपरेखा तक को कई परतों में निकालता है। यह मिट्टी की नमी और नाइट्रोजन, फॉस्फोरस तथा पोटैशियम के स्तर मापने वाले संवेदकों के साथ मौसम पूर्वानुमान संकेत भी पढ़ता है।

पाठ, तस्वीर और सेंसर के आँकड़ों को एक साथ रखकर निर्णय करने के कारण इसे बहुमाध्यमी, यानी मल्टीमॉडल मॉडल कहा जाता है। तस्वीर से निकला धब्बे का नमूना सीधे रोग के नाम से नहीं जुड़ता। इसलिए मॉडल रोगों के नाम और उनके विशिष्ट लक्षण पहले से व्यवस्थित करने वाली ज्ञान-सारणी भी खोलता है और

तस्वीर के नमूने से एक-एक करके उसका मिलान करता है। आँखों से दिखी चीज़ और पहले से उपलब्ध ज्ञान को जोड़ने की इस प्रक्रिया के बाद ही थब्बा किसी रोग के नाम में बदलता है।

किसान जिस क्षण तस्वीर खींचता है, मोबाइल फ़ोन दूसरी जानकारियाँ भी साथ जुटाता है। उपग्रह से मिली खेत की स्थिति, पास के सेंसर से अभी आए मिट्टी के मान और एक दिन आगे का मौसम पूर्वानुमान एक साथ बाँध दिए जाते हैं। यह प्रणाली तस्वीर, आवाज़ और संख्याएँ, तीनों मिलने के बाद ही निर्णय करना शुरू करती है। कोई एक मान गायब हो तो निर्णय कुछ समय के लिए टाल दिया जाता है, या गायब मद बताकर केवल अस्थायी उत्तर दिया जाता है।

एग्री-एलएलएम उत्तर बनाने से पहले वास्तविक दस्तावेज़ खोजता है। इस विधि को पुनर्प्राप्ति-संवर्धित सृजन (RAG) कहते हैं। इसे पुस्तकालयाध्यक्ष के उदाहरण से आसानी से समझा जा सकता है। पुस्तकालयाध्यक्ष प्रश्न मिलने पर केवल अपनी स्मृति से उत्तर नहीं देता। वह अलमारी तक जाता है, वास्तविक पुस्तक निकालता है और उँगली रखकर बताता है कि बात किस पृष्ठ की किस पंक्ति में लिखी है। एग्री-एलएलएम भी ग्रामीण विकास प्रशासन की निर्देशिका, पादप रोगविज्ञान की पाठ्यपुस्तक या मानक नियंत्रण निर्देशों वाले डेटाबेस को पहले खंगालता है।

संबंधित दस्तावेज़ मिलने के बाद ही उसकी सामग्री के आधार पर उत्तर बनाता है और स्क्रीन पर स्रोत दस्तावेज़ खोलने वाला बटन भी दिखाता है। किसान उस बटन को दबाकर कृत्रिम बुद्धिमत्ता की बात के बजाय वास्तविक दस्तावेज़ का मूल पाठ देख सकता है।

कृषि बहुमाध्यमी मॉडल का प्रदर्शन सार्वजनिक परीक्षण सामग्री और स्वतंत्र मूल्यांकन में सामने आता है। रोगग्रस्त पत्ता पहचानने का अंक, कीट पहचानने का अंक और नियंत्रण संबंधी सलाह की गुणवत्ता अलग-अलग परीक्षण हैं। चित्र की पृष्ठभूमि, फसल की किस्म और मूल्यांकनकर्ता के मानदंड बदलने पर परिणाम भी बदलते हैं। संख्याएँ दशमलव तक लिखी होने मात्र से यह सिद्ध नहीं होता कि उनका खेत में सत्यापन हुआ है। किसान को दवा का नाम देने से पहले डेटा, तुलनात्मक मॉडल और विफलता के उदाहरण भी सामने रखने चाहिए।

धान की खेती में प्रायः मिलने वाले नामों से बात और स्पष्ट होती है। राइस ब्लास्ट और राइस फॉल्स स्मट, गेहूँ का फ्यूजेरियम हेड ब्लाइट, मक्के का नॉर्दर्न कॉर्न लीफ ब्लाइट और तने में सुरंग बनाने वाले लीफ माइनर लार्वा तक, एग्री-एलएलएम जिन रोगों और कीटों को अलग पहचानता है उनकी सूची में खाद्यान्न फसल किसान वास्तव में जिनका सामना करते हैं, वे नाम ज्यों के त्यों शामिल हैं। ऐसे मॉडलों की क्षमता जाँचने वाले शोध भी आगे बढ़ रहे हैं। अमेरिकी शोधकर्ताओं द्वारा 2025 में प्रस्तुत एजीएमएमयू (AgMMU) बेंचमार्क कई कृत्रिम बुद्धिमत्ता मॉडलों को फसल की तस्वीर और प्रश्न एक साथ देकर उनके उत्तरों की सटीकता की तुलना करता है।

इसका अर्थ है कि क्षेत्र किसी एक कंपनी की प्रचार सामग्री से आगे बढ़कर उस चरण में पहुँच गया है जहाँ कई प्रयोगशालाएँ एक ही कसौटी पर एक-दूसरे की जाँच करती हैं। 141 श्रेणियों की संख्या अपने आप में कोई निरपेक्ष मानक नहीं है। फिर भी इसका महत्व इस बात में है कि इसमें प्रयोगशाला के एक-दो उदाहरणों के बजाय खेत में बार-बार आने वाले रोगों और कीटों को व्यापक रूप से शामिल किया गया है।

पाकिस्तानी शोधकर्ताओं द्वारा बनाए गए AgriSmart ने फसल अनुशंसा, रोग निदान और चैटबॉट को एक ही स्क्रीन पर जोड़ा है। शोधपत्र में फसल अनुशंसा की सटीकता 99 प्रतिशत रही, जबकि रोग मॉडल ने F1 0.70 और mAP@50 74 प्रतिशत दर्ज किया। ये संख्याएँ निर्धारित डेटासेट पर प्राप्त मॉडल मूल्यांकन के परिणाम हैं। ये वास्तविक धान के खेत में वर्षा से पहले सिंचाई टालने, चूने की मात्रा तय करने और उपज बचाने के प्रक्षेत्रीय परिणाम नहीं हैं। परामर्श स्क्रीन के अंक और वास्तविक खेत के परिणाम के बीच अभी एक मौसम का सत्यापन बाकी है।

भारत सरकार और Wadhwani AI द्वारा संचालित Kisan e-Mitra 11 क्षेत्रीय भाषाओं में सरकारी योजनाओं और कृषि की जानकारी देता है। भारतीय संसद के आँकड़ों के अनुसार जुलाई 2025 तक प्रश्नों की संख्या 95 लाख और इसका उपयोग करने वाले किसानों की संख्या 53 लाख थी। माइक्रोफोन में बोलकर सब्सिडी और बीमा की जानकारी सुनी जा सकती है, इसलिए पढ़ने में कठिनाई वाले किसान भी परामर्श विंडो तक पहुँच सकते हैं। इन संख्याओं में वे लोग शामिल हैं जिन्होंने स्क्रीन के बदले आवाज़ से पहली बार सरकार से बात की।

दक्षिण कोरिया में रोग और कीट के चित्र-आधारित निदान की मौजूदा सेवा चल रही है। ग्रामीण विकास प्रशासन की 2024 की घोषणा में औसत सटीकता 95 प्रतिशत से अधिक और मनुष्य की पहचान सटीकता 95.3 प्रतिशत थी, तथा इसमें 31 फसलें और 182 रोग एवं कीट शामिल थे। कृषि एआई एजेंट 'AIइसाक' को आधिकारिक कार्ययोजना के अनुसार 2027 में सेवा में लाया जाना है। अभी चल रहा चित्र निदान जहाँ एक तस्वीर पढ़ता है, वहीं AIइसाक का लक्ष्य कृषि प्रौद्योगिकी सामग्री को संवाद से जोड़ने वाला अगला माध्यम बनना है।

तकनीक कितनी भी परिष्कृत हो, कुछ दीवारें अभी बनी हुई हैं। एक दीवार भाषा की है। मानक भाषा सीखने वाला मॉडल ग्रामीण बोलियों और मुहावरों के सामने अक्सर भटक जाता है। “यह ऐसा क्यों हो रहा है” जैसा स्थानीय बोली का वाक्य उस दुभाषिए के लिए समझना कठिन है जो केवल मानक भाषा का शब्दकोश जानता हो। भारत में इस दीवार को पार करने के लिए हिंदी और मराठी जैसी क्षेत्रीय भाषाओं के अनुरूप भाषा-बोध मॉडल के साथ ऑफलाइन चलने वाले वाक् पहचान और वाक् संश्लेषण इंजन अलग से जोड़े गए। फिर भी वह हर बोली नहीं समझता। गहरा उच्चारण या कम प्रचलित मुहावरा मिलने पर वह आज भी कभी-कभी असंगत प्रतिप्रश्न करता है।

स्क्रीन पर लिखा पाठ भी कुछ लोगों के लिए दीवार है। विकासशील देशों के ग्रामीण क्षेत्रों के साथ दक्षिण कोरिया के गाँवों में भी बड़ी संख्या में बुजुर्ग किसान स्क्रीन का पाठ सहजता से नहीं पढ़ पाते। ऐसे किसानों के लिए टेक्स्ट चैट विंडो शुरू से ही बेकार है। इसलिए एग्री-एलएलएम श्रेणी की सभी सेवाएँ आवाज़ को प्राथमिकता देती हैं। किसान बोलकर पूछता और बोलकर उत्तर सुनता है। स्क्रीन को लगातार देखने की जरूरत न होने से खेत में काम कर रहे हाथ रोककर कुछ पल सीधे खड़े होते ही परामर्श पूरा हो जाता है।

इसी कारण संख्याओं और तालिकाओं से भरी परिणाम स्क्रीन के बजाय ऐसा उत्तर चुना जाता है जो किसी मनुष्य की वास्तविक बातचीत की तरह समझाकर बात बताए।

पहाड़ी गाँवों और दूरदराज के खेतों में संचार संकेत बार-बार टूटता है। यह भी पार की जाने वाली दीवार है। बड़े मॉडल को किसी दूरस्थ सर्वर पर रखकर हर बार प्रश्न भेजने की विधि ऐसी जगहों पर काम नहीं करती। इसलिए विकासकर्ता मॉडल को छोटे हिस्सों में बाँटकर और संपीड़ित करके सीधे मोबाइल फ़ोन या खेत की मेड़ पर रखे छोटे उपकरण में स्थापित करते हैं। अभी मिले मौसम डेटा और सेंसर मान कुछ समय के लिए उपकरण में संग्रहीत किए जाते हैं, ताकि संकेत पूरी तरह टूटने पर भी न्यूनतम निर्णय जारी रह सके। उपकरण में छोटे स्तर पर चलने वाला मॉडल सर्वर के बड़े मॉडल से कम जानता है।

फिर भी संकेत टूटने के समय वह सीमित ज्ञान, बिल्कुल ज्ञान न होने से बेहतर है।

हर किसान ने इस तकनीक का स्वागत नहीं किया। स्मार्टफ़ोन कैमरा हिलने से तस्वीर धुँधली आए तो निदान की सटीकता अचानक गिरने की शिकायतें हुईं। डेटा शुल्क के बोझ के कारण कुछ किसानों ने इसे कुछ बार इस्तेमाल करके छोड़ दिया। ऐसे वास्तविक मामले भी दर्ज हुए जिनमें कृत्रिम बुद्धिमत्ता ने मिट्टी के प्रकार या उस क्षेत्र की विशिष्ट मौसमी परिस्थितियाँ ठीक से न पढ़कर अनुचित सलाह दी। तकनीक को पूर्ण कहना अभी जल्दबाजी होगी।

एक प्रश्न बाकी रहता है। गलत सलाह से साल भर की खेती नष्ट हो जाए तो जिम्मेदारी किसकी होगी। सिंचाई का समय गलत बताने या रोग देर से पहचानने से होने वाला नुकसान अब तक अधिकतर किसान अकेले उठाता आया है। फरवरी 2026 में ऑस्ट्रेलिया की ला ट्रोब यूनिवर्सिटी की डॉ. सोफिया डुआन ने कहा कि कृत्रिम बुद्धिमत्ता जब खेत के रोजमर्रा के निर्णयों का हिस्सा बनती है, तब उसकी विफलता का जोखिम कौन उठाएगा, इस प्रश्न पर पर्याप्त चर्चा नहीं हुई है। उन्होंने यह भी कहा कि विकासकर्ता कंपनी और किसान के बीच जोखिम बाँटने की व्यवस्था न हो तो तकनीक कितनी भी सटीक हो जाए, किसान अंततः उसकी सटीकता पर विश्वास नहीं कर पाएगा।

इसी कारण एग्री-एलएलएम हर उत्तर के साथ स्रोत दस्तावेज़ खोलने वाला बटन देता है। प्रमाण सामने रखा जा सकता है, पर यह गारंटी देना अलग बात है कि वह प्रमाण इसी खेत और इसी मौसम पर पूरी तरह लागू होगा। स्थानीय बोली में प्रश्न पूछने वाले उस किसान के साथ भी यही बात है। परामर्श उसे मुफ्त मिला, पर नुकसान होने पर कीमत अंततः वही चुकाता है।

किसान द्वारा दर्ज खेत की स्थिति, उपज और बिक्री मूल्य जैसी जानकारी कहाँ जाती है, यह भी उसी प्रश्न का हिस्सा है। यदि यह जानकारी बड़ी प्रौद्योगिकी कंपनियों के सर्वर पर जमा होकर किसान की सौदेबाजी की शक्ति घटाती है, तो परामर्श सुविधाजनक हो जाएगा पर किसान की स्थिति बिगड़ेगी। जानकारी को उपकरण या स्थानीय सर्वर पर रखने और केवल जरूरी सामग्री खोजकर इस्तेमाल करने वाली रचना को इस समस्या को घटाने का एक उपाय माना जा रहा है। सांग्वा और मुताबाज़ी के 2025 के अध्ययन ने ऐसे जोखिम घटाने के लिए डिजाइन सिद्धांत भी प्रस्तावित किए।

उनका तर्क है कि प्रणाली तैयार करने के चरण से ही किसानों की स्थिति दर्शाने वाला मूल्य-उन्मुख डिजाइन अपनाया जाए और कृषि विशेषज्ञ नियमित रूप से उत्तरों की गुणवत्ता का अंकन करके मनुष्यों की नजर से छूटी त्रुटियाँ छाँटें। यूनिवर्सिटी ऑफ़ कैम्ब्रिज के सेंटर फॉर द स्टडी ऑफ़ एग़्रिस्टेंशियल रिस्क ने इससे पहले 2022 की चेतावनी में कहा था कि केवल उपज के पीछे चलने वाली कृत्रिम बुद्धिमत्ता लंबे समय में मिट्टी और

नालों को नुकसान पहुँचा सकती है। सामने की उपज के बजाय कुछ वर्ष बाद की भूमि की दशा को भी साथ मापने वाली कसौटी चाहिए। तकनीक के स्वयं जिम्मेदारी लेने वाली कोई व्यवस्था अभी नहीं है।

यह प्रवाह एक कदम आगे बढ़ने की तैयारी में है। पूरे खेत को कंप्यूटर में प्रतिरूपित करने वाले डिजिटल ट्विन को एग्री-एलएलएम से जोड़ने पर पहले ही पूछा जा सकेगा कि अगले 2 सप्ताह सूखा जारी रहने पर उपज कितनी घटेगी। मॉडल आभासी खेत में अलग-अलग मौसम पहले चलाकर देखता है और परिणाम को मनुष्यों की समझ में आने वाली भाषा में बदलता है। ड्रोन और स्वचालित जलद्वार वाल्व को सीधे निर्देश देने के चरण तक पहुँचने पर परामर्श देने वाला मॉडल वास्तविक खेत को चलाने लगेगा। जिस क्षण निर्णय और कार्यान्वयन एक ही प्रणाली संभालेंगे, जिम्मेदारी का प्रश्न आज से कहीं अधिक गंभीर हो जाएगा। फिर भी यह चरण अभी शोध और प्रदर्शन तक सीमित है।

वास्तविक खेतों में ऐसा स्वायत्त निर्णय पूरी तरह सौंपने वाले किसान विरले हैं।

हम फिर खेत की मेड़ पर हैं। सुबह की धूप धान के पत्ते पर फैल रही है और किसान स्क्रीन पर आया उत्तर पढ़ता है। एक रोग का नाम और दवा का नाम दिखाई देता है, और नीचे स्रोत दस्तावेज़ तक जाने वाला एक छोटा बटन लगा है। उसकी उँगली उस बटन के ऊपर कुछ पल रुकती है। दवा छिड़कने से पहले क्या वह बटन दबाएगा?

स्रोत और संदर्भ

1. Parliament of India. (2025). Kisan e-Mitra Usage and Language Coverage, Unstarred Question No. 1464. https://sansad.in/getFile/annex/268/AU1464_CSuYc2.pdf?source=pqars
2. Arun, T., Pooja Sri, M., & Priya, K. (2026). FarmGPT: An explainable AI powered smart agriculture system for crop recommendation and decision support. *AIJFR*, 7(3). <https://doi.org/10.63363/aijfr.2026.v07i03.6414>
3. Baloch, S., Ali, A., & Naeem, A. (2025). AgriSmart: An AI-powered farming assistant and crop management platform for precision agriculture. *International Journal of Innovative Science and Technology*, 7(10), 155-162. <https://doi.org/10.33411/ijist/1710>
4. Farmers Weekly. (2026). On-farm AI: New tech must share the risk. <https://www.farmersweekly.co.nz/technology/on-farm-ai-new-tech-must-share-the-risk/>
5. Gauba, A., Pi, I., Man, Y., Pang, Z., Adve, V. S., & Wang, Y.-X. (2025). AgMMU: A comprehensive agricultural multimodal understanding benchmark. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2504.10568>
6. Sangwa, S., & Mutabazi, P. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Ethical stewardship, responsible innovation, and governance for sustainable food systems. *Intelligent Agriculture*, 1(2), 25-45. <https://doi.org/10.54963/ia.v1i2.1684>
7. ग्रामीण विकास प्रशासन। (2026)। 2026 की प्रमुख कार्ययोजना: कृषि एआई एजेंट AIइसाक का उन्नयन, 2027 में सेवा आरंभ निर्धारित। https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=html&prgId=pln_mainbizQuery
8. University of Cambridge. (2022). Risks of using AI to grow our food are substantial and must not be ignored, warn researchers. <https://www.cam.ac.uk/research/news/risks-of-using-ai-to-grow-our-food-are-substantial-and-must-not-be-ignored-warn-researchers>

9. ग्रामीण विकास प्रशासन। (2025)। कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) से किसानों की आय 20% बढ़ाएँ: कृषि विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी और कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) के एकीकरण की रणनीति। ग्रामीण विकास प्रशासन की प्रेस विज्ञप्ति।
https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000806197
10. YTN. (2024)। रोग और कीट से हुई क्षति का स्मार्टफोन से निदान और उपचार करें। YTN साइंस।
https://m.science.ytn.co.kr/program/view_today.php?s_mcd=0082&key=202409261626341200

5.2

कृषि रोबोटिकी और कार्य स्वचालन

गिम्जे के मंग्येओंग मैदानी क्षेत्र में सुबह का कोहरा नीचे छाया हुआ है और एक ट्रैक्टर चालू होता है। चालक की सीट पर कोई नहीं है। स्टीयरिंग अपने आप थोड़ा-थोड़ा दाएँ-बाएँ घूमता है और छत पर लगा छाते के आकार का एंटीना उपग्रह संकेत पाकर चमकता है। खेत के किनारे खड़ा किसान हाथ में पकड़े मोबाइल फ़ोन की स्क्रीन देखता रहता है, पर स्टीयरिंग पकड़ने की तैयारी नहीं करता।

इस ट्रैक्टर के अपने आप चलने का कारण सहज नहीं है। धान, गेहूँ, मक्का और सोयाबीन उगाने वाले खेतों में काम करने वाले लोग घट रहे हैं। साथ मिलकर धान रोपने वाले गाँव के युवा शहर चले गए, और बचे लोगों की उम्र ऐसी हो गई है कि उनकी कमर झुक गई और घुटनों में दर्द रहता है। भोर से शाम तक तेज धूप में झुककर पौध रोपने, दवा छिड़कने और अनाज ढोने के काम के लिए अब पैसा देने पर भी लोग नहीं मिलते। मजदूरी हर साल बढ़ती है और ग्राम भवन तथा कृषि मशीन मरम्मत केंद्र जैसी आधारभूत सुविधाएँ एक-एक कर बंद हो रही हैं। ट्रैक्टर का अकेले खेत जोतना मनुष्यों के खाली हुए स्थान को भरने का विकल्प है।

यह पूरी प्रक्रिया इतनी तेजी से बार-बार होती है कि मनुष्य की आँख उसका साथ नहीं दे सकती। कैमरे और सेंसर ने अभी जो देखा उसे पहचानना, अपनी स्थिति दोबारा मापना, नया रास्ता बनाना और पहियों तथा भुजाओं को आदेश देना, ये चारों चरण मिलीसेकंड के स्तर पर लगातार दोहराए जाते हैं। पुरानी कृषि मशीनों में मनुष्य स्टीयरिंग पकड़कर और आँखों से देखकर उन्हें चलाता था। अब ये चारों चरण मशीन अकेले करती है।

इस ट्रैक्टर को खेत की मेड़ के सहारे सीधा चलाने वाली दो शक्तियाँ हैं। एक आकाश का उपग्रह है और दूसरी ट्रैक्टर के आगे लगा कैमरा। केवल उपग्रह नौवहन (GNSS) संकेत मिलने पर स्थिति की त्रुटि कभी-कभी लगभग 1 मीटर तक हो जाती है। इसलिए भू-आधारित संदर्भ केंद्र से वास्तविक समय में सुधार संकेत पाने वाली सटीक उपग्रह नौवहन प्रणाली (RTK GNSS) भी इस्तेमाल की जाती है। दक्षिण कोरियाई कृषि मशीन कंपनी डेडोंग ने 2023 में अपने ट्रैक्टर से राष्ट्रीय स्वायत्त-चालन परीक्षा दी तो नियोजित मार्ग से दाएँ-बाएँ विचलन 7 सेंटीमीटर के भीतर रहा। कंपनी ने 2026 तक ऐसा स्तर 4 मानवरहित ट्रैक्टर पेश करने की घोषणा की जिसमें कोई व्यक्ति सवार नहीं होगा।

स्पेन की नई कंपनी Voltrac ने पूरी तरह बिजली से चलने वाला मानवरहित ट्रैक्टर 2026 में व्यावसायिक रूप से पेश करने की घोषणा की, और दक्षिण कोरियाई कृषि कंपनी GINT वियतनाम के धान के खेतों में ट्रैक्टर और धान रोपाई मशीन के स्वायत्त चालन का प्रक्षेत्रीय प्रदर्शन जारी रखे हुए है।

स्वायत्त कृषि मशीनों में उपग्रह एंटीना, जड़त्वीय मापन इकाई, कैमरा और बाधा सेंसर लगे होते हैं। 2026 में एक चौपहिया वाहन ने मक्के के खेत के 30 मीटर खंड में दस बार चलकर बादल वाले दिन 6.2 सेंटीमीटर की औसत पार्श्व त्रुटि और 95 प्रतिशत चालन सटीकता दर्ज की। परीक्षण का केंद्र फसल की कतार के साथ चलने

की क्षमता थी। अलग-अलग क्षेत्रों में बीज बोने की गहराई और अंतर बदलने वाली परिवर्ती बुवाई के लिए अलग नियंत्रक और अंकुरण परीक्षण चाहिए।

पहिए भी सामान्य पहिए नहीं हैं। चारों पहियों को अलग-अलग चलाने और अलग-अलग दिशा में मोड़ने वाली प्रणाली (4WD/4WS) से मशीन गीले धान के खेत की चिपचिपी मिट्टी या ढलान वाले खेत में भी फिसले बिना अपनी जगह पर घूम सकती है। जहाँ मनुष्य के चलने पर पैर गीली मिट्टी में गहरे धँसते हैं, वहाँ भी रोबोट चारों पहियों में अलग-अलग शक्ति बाँटकर संतुलन बनाए रखता है।

पुल के नीचे या वायुरोधी वृक्ष-पट्टी की छाया में उपग्रह संकेत कुछ समय के लिए टूटे तो कैमरा काम संभालता है। कैमरा नर्सरी से अभी निकले धान के पौधों की कतार के साथ चलते हुए उसकी मध्यरेखा खोजता है। यह काम करने वाले हर प्रोग्राम का अपना नाम है। धान के खेत में ऐसा प्रोग्राम (Fast-SCNN) इस्तेमाल होता है जो चित्र को छोटे टुकड़ों में बाँटकर रंग भरने की तरह पहचानता है कि कौन-सा टुकड़ा पौध है और कौन-सा पानी। मक्के के खेत में अलग प्रोग्राम (ST-YOLOv8s) हर वृद्धि चरण में बदलती पत्तियों की आकृति दोबारा सीखकर क्यारी की मध्यरेखा नहीं खोने देता। दोनों प्रोग्राम हर क्षण चित्र में एक अदृश्य रेखा फिर खींचते हैं।

दोनों संवेदनाओं को साथ इस्तेमाल करने वाली स्वायत्त धान रोपाई मशीन ने प्रक्षेत्रीय प्रदर्शन में पौध की कतार की त्रुटि 6.2 सेंटीमीटर के भीतर रखी। खेत में लेंस पर कीचड़ उछलता है और दोपहर की धूप सीधे सामने पड़ती है। लाइडार (LiDAR) किरण गीले धान के पत्ते से परावर्तित होकर लौटे तो रोबोट क्षण भर के लिए अपनी स्थिति खो सकता है। इसलिए जलरोधकता और धूलरोधकता का स्तर बढ़ाया जाता है, और कैमरे तथा उपग्रह के मान अलग होने पर संख्याएँ फिर मिलाने का अंशांकन किया जाता है।

जापान के राष्ट्रीय कृषि एवं खाद्य अनुसंधान संगठन (NARO) और कंपनी न्यू ग्रीन द्वारा साथ प्रदर्शित मानवरहित निराई रोबोट सौर ऊर्जा से चलता है और धान के खेत की तली को जंजीर से मथकर पानी मटमैला करता है। धूप पानी के भीतर न पहुँचे तो बार्नयार्ड घास जैसे खरपतवार अंकुरित नहीं हो पाते। जैविक धान के खेत में खरपतवार का शुष्क भार 35.4 ग्राम प्रति वर्ग मीटर से घटकर 5.6 ग्राम हो गया। उसी खेत में धान की उपज 20 प्रतिशत बढ़ी।

सस्ते कैमरे, Raspberry Pi और MobileNetV2 को जोड़ने वाले निराई रोबोट के डिजाइन भी प्रस्तावित हुए हैं। IJRASET में प्रकाशित एक डिजाइन में चार पहिए, कैमरा, रोबोटिक भुजा और क्लाउड अभिलेख एक साथ जोड़े गए, पर वास्तविक रोबोट बनाकर खेत में उसका परीक्षण नहीं किया गया था। यह डिजाइन धूल, कीचड़ और हिलती पत्तियों के सामने टिकेगा या नहीं, इसका उत्तर प्रोटोटाइप और प्रक्षेत्रीय परीक्षण को देना होगा।

फसल-सुरक्षा ड्रोन का मार्ग इस तरह बनाया जा सकता है कि वह एक ही क्षेत्र के ऊपर दोबारा न जाए। SprayCraft शोध ने कृत्रिम स्थिति डेटा पर मार्ग-नियोजन एल्गोरिदम का परीक्षण किया। कंप्यूटर स्क्रीन पर उसने छोटा मार्ग खोजा, पर यह वास्तविक खेत की हवा, बैटरी और दवा टंकी का भार सहने वाली उड़ान नहीं थी। कैमरे से रोग की सघनता पढ़कर नोज़ल की छिड़काव मात्रा बदलने वाले उपकरण भी मार्ग एल्गोरिदम से अलग परीक्षण से गुजरते हैं।

अनाज से भरी पकी बालियाँ सँभालना और कठिन है। मक्के का भुट्टा हो या धान की बाली, पकड़ने का बल थोड़ा भी अधिक हो तो दाना फट सकता है या छिलका खराब हो सकता है, और बल कम हो तो वह पकड़ से फिसलकर गिर जाता है। रोबोटिक भुजा में इस संतुलन के लिए दबाव सेंसर और फिसलन पहचान सेंसर साथ लगे होते हैं। बाहर के सेब बाग में फल तोड़ने वाली रोबोटिक भुजा के परीक्षण में बल स्वयं महसूस करने वाली प्रतिपुष्टि प्रणाली बंद रखकर पकड़ने पर क्षति दर 20 प्रतिशत थी। वही प्रणाली चालू रखकर पकड़ने पर क्षति दर 0 प्रतिशत हो गई। इसका अर्थ है कि रोबोट को स्वयं महसूस करना होगा कि पकड़ने वाली उँगलियाँ उस समय कितना दबाव डाल रही हैं।

धान या गेहूँ आम तौर पर पूरा काटकर मड़ाई मशीन में डाला जाता है, पर बीज के लिए रखी जाने वाली बालियों या छाँटे जाने वाले दानों जैसी एक-एक वस्तु चुनने वाली प्रक्रिया में यह संवेदना महत्वपूर्ण है।

उपज ढोने वाला रोबोट ढलानदार खेत में श्रमिक के पीछे चलता है या पेटियाँ निर्धारित स्थान तक ले जाता है। जापान के कृषि, वानिकी और मत्स्य मंत्रालय के एक मामले में श्रम लगभग 50 प्रतिशत और शारीरिक बोझ लगभग 30 प्रतिशत घटने की सूचना दी गई। श्रम की तीव्रता 70 प्रतिशत से अधिक घटने का आँकड़ा उस सामग्री में नहीं है। मनुष्य के भार उठाने के समय और रोबोट की निगरानी के समय में आए बदलाव की तुलना एक ही मानदंड से करनी चाहिए।

इन सभी रोबोटों के बनाए आँकड़ों को उपयोगी होने के लिए कहीं भेजना पड़ता है। रोबोट की स्थिति, बैटरी और अभी पूरा हुआ काम वास्तविक समय की वेब स्क्रीन (Firebase) पर भेजे जाते हैं, और कोई गड़बड़ी होने पर मैसेंजर बॉट (Telegram Bot) किसान के मोबाइल फ़ोन पर छोटा संदेश दिखाता है। यह स्क्रीन पायथन-आधारित वेब प्रोग्राम (Flask) और वास्तविक समय डेटाबेस को जोड़कर बनाई जाती है। कुछ गलत होने पर मनुष्य स्क्रीन का एक बटन दबाकर रोबोट को उस हिस्से का काम दोबारा करने का आदेश देता है। रोबोट अपने आप सब कुछ करता दिखाई देता है, पर मनुष्य स्क्रीन के पीछे अब भी उसे देख रहा है।

स्वायत्त कृषि मशीन को मनुष्य, पशु और बाधा पहचानने तथा निर्धारित सीमा से बाहर निकलने पर रुकने वाली व्यवस्था चाहिए। ISO 18497-1 और 18497-2 मशीन डिजाइन और बाधा सुरक्षा के सिद्धांतों को शामिल करते हैं। अमेरिका की U.S. Sugar ने 2 लाख 55 हजार एकड़ के अपने संचालन क्षेत्र में पाँच स्वायत्त ट्रैक्टर तैनात करके उन्हें चौबीस घंटे चलाया। पाँच ट्रैक्टरों ने उस पूरे विशाल क्षेत्र का काम नहीं संभाला था। मनुष्य चालक की सीट से उतरकर एक साथ कई स्क्रीन देखने वाले नियंत्रण कक्ष में पहुँच गया।

अनियमित आकार वाले खेतों में अब भी मनुष्य के हाथ की जरूरत है। नालियाँ मुड़ती हों या सीढ़ीदार खेतों की मेड़ें टेढ़ी-मेढ़ी हों तो उपग्रह संकेत और कैमरा पहचान अक्सर एक-दूसरे से मेल नहीं खाते, जिससे रोबोट दिशा खोकर रुक जाता है। ऐसी जगहों पर मनुष्य अब भी ट्रैक्टर पर चढ़कर स्टीयरिंग पकड़ता है। स्वचालन ने सबसे पहले समतल और नियमित आकार वाले खेतों में जगह बनाई है।

इन रोबोटों को अपनाने वाले खेतों के परिणाम जोड़ने पर कुछ समान संख्याएँ सामने आती हैं। लगातार मनुष्य की जरूरत वाला कृषि श्रम 70 से 80 प्रतिशत तक घटा। खाद और कीटनाशक जैसी खेत में डाली जाने वाली सामग्री 30 से 50 प्रतिशत तक बचने की रिपोर्टें भी आईं। ये संख्याएँ निराई, छिड़काव और ढुलाई जैसे उन कामों में प्रमुखता से दिखीं जिन्हें मनुष्य पीठ और कमर के बल करता था। समस्या इसके बाद आती है।

रोबोट खरीदे बिना उसकी सदस्यता लेने वाली RaaS आरंभिक लागत को बाँटने का एक तरीका है। बाजार रिपोर्ट में संपूर्ण उद्योग का RaaS बाजार 2026 के 32 अरब 8 करोड़ डॉलर से बढ़कर 2030 में 67 अरब 85 करोड़ डॉलर होने का अनुमान है। इसमें रसद, सफाई और सुरक्षा रोबोट भी शामिल हैं, इसलिए इसे सीधे कृषि रोबोट बाजार का आकार नहीं माना जा सकता। ग्रामीण क्षेत्रों में गाँव का किराया केंद्र या सहकारी संस्था बुवाई और कटाई के मौसम में क्रम तय करके एक मशीन साझा करे, यह अधिक व्यावहारिक है।

अब तक के परिणाम स्पष्ट सीमा दिखाते हैं। बड़े और नियमित खेतों में एक जैसे दोहराए जाने वाले काम, क्यारी के साथ चलना, निर्धारित मात्रा छिड़कना और निर्धारित वजन ढोना, रोबोट मनुष्य से बेहतर करते हैं। वे चोटिल नहीं होते, थकते नहीं और रात में भी बिना रुके काम करते हैं। दूसरी ओर, पके और अधपके दाने आँख से अलग करने या पहली बार दिखने वाली बाधा के सामने उसी समय निर्णय लेने का काम अभी मनुष्य को करना पड़ता है।

शोधकर्ता अगले चरण की रूपरेखा बना चुके हैं। रोबोट के मनुष्य की भाषा समझकर स्वयं निर्णय लेने और शरीर चलाने की विधि को Embodied AI कहा जाता है। एक वाक्य का निर्देश कि क्षेत्र A से खरपतवार निकालो और क्षेत्र B की उपज ढोओ, मिलने पर कई रोबोट आपस में भूमिकाएँ बाँटकर चलेंगे। हवा में फसल-सुरक्षा ड्रोन पहले खेत का निरीक्षण करके रोग और कीट का नक्शा बनाए, फिर जमीन पर निराई रोबोट और छिड़काव रोवर सीधे उन निर्देशांकों तक जाएँ, इस विधि पर भी शोध हो रहा है। यह रूपरेखा भी बनाई जा रही है कि मनुष्य के सोने के बाद आधी रात में कैमरे और ड्रोन खेत का चक्कर लगाकर अगली सुबह के कामों की सूची तैयार कर दें।

अभी यह शोधपत्र और प्रोटोटाइप का चरण है। वास्तविक खेत की मेड़ पर यह योजना सफल होगी या नहीं, यह धूल, कीचड़ और मूसलाधार वर्षा में कुछ और विफलताओं के बाद ही पता चलेगा।

सूरज पूरी तरह निकलने पर मानवरहित ट्रैक्टर अगले खेत में जाता है। किसान अब भी मेड़ पर खड़ा मोबाइल फ़ोन की स्क्रीन पर बैटरी का शेष स्तर और बचा हुआ खंड देखता है। ट्रैक्टर मिट्टी जोतकर कतारें सीधी करता है और इस दौरान किसान अपने दोनों हाथों से बगल के खेत का जलद्वार खोलता है।

स्रोत और संदर्भ

1. Aldağ, M. C., & Eker, B. (2026). Development and field evaluation of an autonomous four-wheel-drive agricultural vehicle tracking crop rows using computer vision technology. *Journal of Agricultural Production*, 7(1), 13-19.
<https://doi.org/10.56430/japro.1826810>
2. Asami, H., & Nakamura, T. (2026). Effects of an Automatic Weed Suppression Robot for Paddy Fields in a Semi-Mountainous Area on Weed Suppression and the Growth and Yield of Paddy Rice. *Japanese Journal of Crop Science*, 95(1), 28-35.
<https://doi.org/10.1626/jcs.95.28>
3. Chen, K., Li, T., Yan, T., Xie, F., Feng, Q., Zhu, Q., & Zhao, C. (2022). A soft gripper design for apple harvesting with force feedback and fruit slip detection. *Agriculture*, 12(11), 1802.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12111802>
4. International Organization for Standardization. (2024). ISO 18497-1:2024 Agricultural machinery and tractors, safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery, part 1: machine

design principles and vocabulary. ISO.

<https://www.iso.org/standard/82684.html>

5. International Organization for Standardization. (2024). ISO 18497-2:2024 Agricultural machinery and tractors, safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery, part 2: design principles for obstacle protection systems. ISO.

<https://www.iso.org/standard/82686.html>

6. Ayalew, H., et al. (2024). SprayCraft: Efficient Coverage Path Planning for Agricultural Spraying. arXiv.

<https://arxiv.org/abs/2412.12176>

7. अलातांताना। (2026)। कृषि मशीनरी के बुद्धिमत्तापूर्ण रूपांतरण का कृषि उत्पादन दक्षता पर प्रभाव विश्लेषण। कृषि विज्ञान, 9(2), 114-116.

<https://doi.org/10.32629/as.v9i2.3755>

8. डेडोंग। (2023)। डेडोंग की स्वचालित कार्य कृषि मशीन ने उद्योग में पहली बार राष्ट्रीय स्वायत्त-चालन परीक्षा उत्तीर्ण की। डेडोंग न्यूज़।

<https://ko.daedong.co.kr/news/daedongnews/1485>

9. Precision Farming Dealer. (2026). U.S. Sugar launches largest deployment of autonomous tractors in sugar industry.

<https://www.precisionfarmingdealer.com/articles/7129-us-sugar-launches-largest-deployment-of-autonomous-tractors-in-sugar-industry>

10. Future Farming. (2026). Voltrac's fully electric autonomous tractor to launch in 2026.

<https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/voltracs-fully-electric-autonomous-tractor-to-launch-in-2026/>

11. Research and Markets. (2026). Robotics as a Service (RaaS) market report 2026.

<https://www.researchandmarkets.com/reports/5896010/robotics-service-raas-market-report>

12. सियोल इकोनॉमिक डेली। (2026)। GINT ने वियतनाम में ट्रैक्टर और धान रोपाई मशीन सहित कृषि मशीनों के स्वायत्त चालन का प्रदर्शन किया। सियोल इकोनॉमिक डेली।

<https://www.sedaily.com/NewsView/2K7EFUEF1V>

5.3

छोटे किसानों के अनुरूप एआई उपकरणों का उपयोग

धान का एक मजिगी खेत लगभग 200 प्योंग का होता है। सुबह-सवेरे उस पानी भरे खेत की मेड़ पर उकड़ूँ बैठे व्यक्ति के हाथ में ऐसा स्मार्टफ़ोन है जिसकी स्क्रीन का कोना टूटा हुआ है, और संकेत की पट्टियाँ एक और दो के बीच बदलती रहती हैं। रात भर में धान के एक पत्ते पर भूरा धब्बा फैलने लगा है, और वह व्यक्ति ओस से भीगे पत्ते की ओर कैमरा करता है। उसके पास न ड्रोन है, न उपग्रह चित्र, न मिट्टी सेंसर। उसके पास केवल जेब का फ़ोन और उसमें मौजूद एक ऐप है।

विकासशील देशों के लगभग 80 प्रतिशत खेत इसी आकार के छोटे किसान चलाते हैं। फिर भी जहाँ अमेरिका के मक्के के खेत प्रति हेक्टेयर 10 टन से अधिक उपज देते हैं, वहीं उप-सहारा अफ्रीका में यह 2 से 3 टन रहती है। परिशुद्ध कृषि की अवधारणा मूलतः उन बड़े खेतों को ध्यान में रखकर बनी थी जिनके पास करोड़ों वॉन की स्वायत्त ट्रैक्टर मशीनें या ड्रोन हाइपरस्पेक्ट्रल कैमरे हैं। इतनी कीमत एक मजिगी धान खेत जोतने वाले व्यक्ति की गणना में कभी आई ही नहीं। इस आकार पर खेती करने वाले व्यक्ति के काम के उपकरण वही हैं जो उसके हाथ में मौजूद फ़ोन के भीतर चलते हैं।

जर्मनी में बना Plantix पत्ते की तस्वीर अपलोड करने पर रोग का नाम बताने वाला मुफ्त ऐप है और विश्व के कृषि ऐप डाउनलोड क्रम में पहले स्थान पर पहुँचा। केन्या में Digital Green द्वारा बनाया Farmer.Chat चैट विंडो में बातचीत की तरह रोग और कीट के प्रश्न पूछने और उत्तर पाने की सेवा के रूप में शुरू हुआ, और पहले साल में ही 15 हजार उपयोगकर्ताओं से 3 लाख से अधिक प्रश्न मिले। बांग्लादेश में बांग्ला बोलने पर बांग्ला में उत्तर देने वाली ध्वनि-परामर्श सेवा KrishokBondhu आई, जिससे निरक्षर किसान भी फ़ोन कॉल की तरह सलाह माँग सके। तीनों का कोई शुल्क नहीं है और तीनों को एक मजिगी खेत वाले किसान को पहला ग्राहक मानकर बनाया गया है।

इन्हें इस तरह तैयार किया गया है कि किसान तस्वीर, पाठ और आवाज़ में से जिस माध्यम का उपयोग कर सके, उसे स्वीकार करें। इनके बाद SCA-MobiPlant और PlantShield AI जैसे कई समान उपकरण सामने आए।

ताइवान के काऊशुंग शहर की 'नॉड लाइ शुन' मौसम, आपदा, कृषि उपज के बाजार भाव और IoT जानकारी देने वाली सार्वजनिक सेवा है। यह धान के खेत के जलद्वार को स्वचालित रूप से नियंत्रित करने वाला उपकरण कम और किसान के लिए बिखरी जानकारी एक स्क्रीन पर जुटाने वाला माध्यम अधिक है। PlantVillage Nuru आलू और शकरकंद के रोगों के निदान में सहायता देने वाला अलग मोबाइल उपकरण है। EfficientPNet शोध ने स्वच्छ पृष्ठभूमि वाली PlantVillage आलू तस्वीरों पर मॉडल का परीक्षण किया। सार्वजनिक सूचना ऐप, खेत में रोग निदान और प्रयोगशाला का चित्र मॉडल एक ही मोबाइल फ़ोन में हो सकते हैं, पर उनके प्रदर्शन अलग होते हैं।

स्क्रीन पर उत्तर मिलने के बाद की स्थिति कभी-कभी उससे बड़ी बाधा होती है। परामर्श के अनुसार दवा खरीदने के लिए किसान को कई बस पड़ाव दूर कस्बे की कीटनाशक दुकान तक मोटरसाइकिल से जाना पड़ता है, और दवा के पैसे जुटाने के लिए अन्य खर्च घटाने पड़ते हैं। निदान मुफ्त था, पर उपचार मानने के लिए जरूरी यात्रा और पैसा अब भी किसान को ही वहन करना पड़ता है।

कम कीमत वाले एंड्रॉयड फ़ोन पर मॉडल चलाने के लिए गणना घटानी पड़ती है। FP32 मानों को INT8 में क्वांटाइज़ करने पर पैरामीटर का भंडारण सामान्यतः लगभग एक-चौथाई रह जाता है। केवल INT8 परिवर्तन से मॉडल कई दशांश तक छोटा नहीं हो जाता। TensorFlow Lite मोबाइल निष्पादन ढाँचा है और ONNX मॉडल विनिमय प्रारूप है। Vosk वाक् पहचान उपकरण है और mBERT पाठ एनकोडर। इन अलग-अलग उपकरणों को एक साथ संपीड़न विधि या वाक् पहचान मॉडल नहीं कहना चाहिए। संपीड़न के बाद फिर जाँचना चाहिए कि दुर्लभ रोगों और क्षेत्रीय उच्चारणों पर सटीकता कितनी गिरती है।

PxD द्वारा भारत के ओडिशा राज्य में Ama Krushi के मूल्यांकन के अनुसार सेवा पाने वाले खेतों की औसत उपज 4.1 प्रतिशत बढ़ी। लागत की तुलना में 6 से 18 गुना लाभ हर किसान के बैंक खाते में सीधे सत्यापित शुद्ध आय नहीं, बल्कि कार्यक्रम की लागत और अनुमानित लाभ के आधार पर निकाली गई सीमा है। 2025 के Global Food Security मेटा-विश्लेषण ने बताया कि डिजिटल कृषि परामर्श से उपज और आय में अलग-अलग औसतन 6 प्रतिशत वृद्धि हुई, पर कई व्यक्तिगत अनुमानों के परिणाम सांख्यिकीय रूप से स्पष्ट नहीं थे। औसत प्रभाव और प्रत्येक किसान का निश्चित लाभ अलग-अलग पढ़े जाने चाहिए।

वास्तविक किसानों के प्रश्नों से KrishokBondhu की जाँच में उसने कृषि के विविध प्रश्नों में 72.7 प्रतिशत पर ऐसे उत्तर दिए जिन्हें मनुष्य संतोषजनक मान सकते थे। केवल पाठ में उत्तर देने वाली मौजूदा विधि के साथ रखकर अंक देने पर भी KrishokBondhu ने 5 में से 4.53 अंक लेकर 3.13 अंक वाली विधि को पीछे छोड़ा। पढ़ने-लिखने में कठिनाई वाले किसान के लिए यह अंतर किसी भी दूसरी सुविधा से बड़ा होता है। उसे स्क्रीन दबाकर मेन्यू खोजने की जरूरत नहीं, केवल बोलना होता है।

GSMA के 2026 के आँकड़ों में निम्न और मध्यम आय वाले देशों में मोबाइल इंटरनेट उपयोग की दर महिलाओं के लिए 64 प्रतिशत और पुरुषों के लिए 73 प्रतिशत थी। निरपेक्ष अंतर 9 प्रतिशत अंक है, जबकि 13 प्रतिशत पुरुषों की उपयोग दर को आधार मानकर निकाला गया सापेक्ष अंतर है। स्मार्टफ़ोन स्वामित्व और मोबाइल इंटरनेट उपयोग भी अलग-अलग संकेतक हैं। क्षेत्रीय शोध में महिला किसानों के पास फ़ोन, डेटा शुल्क और प्रशिक्षण का समय कम होने की दिशा बनी रहती है, पर यह स्पष्ट लिखा जाना चाहिए कि अंतर किस संकेतक का है।

बुजुर्ग किसान के सामने एक और दीवार खड़ी होती है। बोलकर प्रश्न पूछने और आवाज़ में उत्तर पाने की सुविधा उनके लिए भी प्रवेश की बाधा घटाती है। पर 40 वर्ष से अधिक समय तक आँखों और हाथों से खेत को पढ़ने वाले लोग मशीन का उत्तर तुरंत स्वीकार नहीं करते। कुछ सेवाएँ उपचार के साथ उस निर्देश का स्रोत भी दिखाती हैं जिस पर वह आधारित है। राष्ट्रीय कृषि अनुसंधान संस्थान का निर्देश या फसल-सुरक्षा उत्पाद का मानक दस्तावेज़ सामने हो तो किसान उसी समय आधार की दोबारा जाँच कर सकता है। फिर भी एक अतिरिक्त स्रोत दिखाना पर्याप्त नहीं है।

जिस गाँव में क्षेत्रीय विस्तार कार्यकर्ता ने साथ खड़े होकर कुछ बार बटन दबाकर तरीका दिखाया और जिस गाँव में ऐसा नहीं हुआ, उनकी वास्तविक उपयोग दर में स्पष्ट अंतर रहा।

इस अंतर को भरने के प्रयास भी चल रहे हैं। सरकारी कृषि प्रौद्योगिकी केंद्र या स्थानीय कृषि सहकारी संस्था के विस्तार कार्यकर्ता ग्राम भवन में लोगों को जुटाकर फ़ोन पकड़ने के तरीके से लेकर बटन साथ दबाने तक का अभ्यास कराते हैं। ऐसा क्षेत्रीय प्रशिक्षण स्क्रीन का नया संस्करण बनाने से कहीं अधिक मेहनत माँगता है, पर उसका प्रभाव भी लंबे समय तक रहता है। कई क्षेत्रीय रिपोर्टों के अनुसार जिस गाँव में कंपनी केवल ऐप देकर चली गई और जिस गाँव में स्थानीय संगठन कई महीनों तक साथ रहा, उनकी वास्तविक अंगीकरण दर अलग रही।

गाँव के लोगों का पहले स्वयं उपयोग करके एक-दूसरे को बताना किसी विज्ञापन से अधिक प्रभावी होता है, यह बात भी कई क्षेत्रों से बार-बार सामने आई है।

मुफ्त शुरू हुई सेवा हमेशा मुफ्त रहेगी, इसकी कोई गारंटी नहीं। Plantix इसका उदाहरण है। वह शुरू में कीटनाशक उपयोग घटाने के लिए रोग का निदान करने वाला ऐप था, पर निवेशकों के आने के बाद स्थिति बदल गई। उसने Dow, BASF, Syngenta और Bayer जैसी कंपनियों से बड़ी मात्रा में कीटनाशक और खाद खरीदकर उन्हीं खुदरा दुकानों को दोबारा बेचने का कारोबार बढ़ाया जहाँ किसान जाते हैं, और 2023 में रसायन निर्माता Helm ने पूरी कंपनी का अधिग्रहण कर लिया। किसान के लिए पत्ते की तस्वीर अपलोड करने वाली स्क्रीन अब भी मुफ्त है। पर अब उस मुफ्त सेवा के पीछे यह तय करने वाली एक अलग गणना मौजूद है कि कौन-सा कीटनाशक पहले सुझाया जाए।

किसान द्वारा दर्ज खेत की स्थिति, मिट्टी के आँकड़े और उपज अभिलेख ज्यों के त्यों कंपनी के सर्वर पर जमा होने की बात भी चिंता पैदा करती है। जिसके पास यह जानकारी होगी, वह बाद में उस उपज को खरीदते समय कीमत घटाने के आधार के रूप में इसका इस्तेमाल कर सकता है। इसलिए काऊशुंग की तरह स्थानीय सरकार द्वारा बजट से ऐप सीधे चलाने, या कृषि सहकारी संस्था द्वारा संचालन में भाग लेकर डेटा पर किसान का स्वामित्व स्पष्ट करने की विधियाँ विकल्प के रूप में सामने आती हैं। शुल्क न लेकर कर या सदस्यता अंशदान से संचालन लागत चुकाने की यह व्यवस्था है।

दोनों मुफ्त सेवाएँ भी समय के साथ अलग ढंग से चलती हैं, एक कर और दान पर निर्भर है और दूसरी निवेश की रकम लौटाने के दबाव में है। जिस तरह बड़ा खेत रोबोट या ड्रोन को सदस्यता-आधारित सेवा (RaaS) के रूप में किराये पर लेता है, छोटे किसान की परामर्श सेवा भी लंबे समय तक तभी चल सकती है जब कोई उसकी कीमत चुकाए। Farmer.Chat और KrishokBondhu अभी फाउंडेशन और शोध निधि से चलते हैं। वह धन बंद होने पर मौजूदा मुफ्त सेवा कैसे बदलेगी, इसकी गारंटी कोई नहीं दे सकता।

अगले चरण के रूप में अति-हल्का भाषा मॉडल सीधे फ़ोन में स्थापित करने की बात हो रही है, ताकि इंटरनेट पूरी तरह कटे हुए दूरस्थ इलाके में भी स्वाभाविक बातचीत से परामर्श चलता रहे। अभी यह प्रयोगशाला प्रदर्शन के निकट है और एक मजिगी धान खेत जोतने वाले के हाथ तक वास्तव में पहुँचने में समय लगेगा। तब तक संकेत एक और दो पट्टियों के बीच बदलता रहेगा और फ़ोन की कीमत लगभग 1 लाख वॉन ही रहेगी।

हम फिर उसी खेत की मेड़ पर हैं। तस्वीर अपलोड करने वाला व्यक्ति कुछ सेकंड बाद स्क्रीन पर आया उत्तर पढ़ता है। दवा कब और कितनी छिड़कनी है, इस वाक्य के पास एक छोटा विज्ञापन भी दिखता है। उसे ठीक-ठीक याद नहीं कि वह विज्ञापन वहाँ कब से है। फिर भी इस बार भी वह उत्तर पर भरोसा करके जलद्वारा ठीक करेगा। अगले मौसम में भी स्क्रीन ऐसी ही रहेगी या नहीं, यह सेवा चलाने वाली कंपनी की स्थिति तय करेगी।

स्रोत और संदर्भ

1. Majiwa, E., Ndaka, A. K., Ratemo, H., & Agembo, E. (2026). Artificial intelligence (AI) adoption and its perceptions among smallholder women farmers in Kenya. *Discover Agriculture*, 4(1), 162.
<https://doi.org/10.1007/s44279-026-00626-z>
2. Tesfay, W. (2026). Impact of improved irrigation technology adoption under groundwater irrigation and its impact on smallholder farmers' crop productivity, income, and food security in Southern Tigray Zone, Ethiopia. *Research Square* (preprint).
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-9797920/v1>
3. Beach, R. H., Milliken, C., Franzen, K., & Lapidus, D. (2025). Meta-analysis of the impacts of digital information interventions on agricultural development. *Global Food Security*, 45, 100866.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100866>
4. Mutuku, B., Akuffobe-Essilfie, M., & Kansime, M. (2026). Understanding gender disparities in access to digital advisory services among women and men farmers in Ghana. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 10, 1614245.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2026.1614245>
5. Omotayo, A. O., & Omotoso, A. B. (2026, June 3). AI offers promise for agriculture, but smallholder farmers risk being left behind. *The Conversation*.
<https://theconversation.com/ai-offers-promise-for-agriculture-but-smallholder-farmers-risk-being-left-behind-279013>
6. Singh, N., Wang'ombe, J., Okanga, N., Zelenska, T., Repishti, J., G K, J., Mishra, S., Manokaran, R., Singh, V., Rafiq, M. I., & Gandhi, R. (2024). Farmer.Chat: Scaling AI-powered agricultural services for smallholder farmers. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.08916>
7. Ameen, M. R., Islam, A., Aktar, F., & Rafat, M. S. (2025). KrishokBondhu: A retrieval-augmented voice-based agricultural advisory call center for Bengali farmers. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2510.18355>
8. Miller, S. R. (2024, October). This app set out to fight pesticides. Once VC stepped in, the app helped sell them. *Food and Environment Reporting Network*.
<https://thefern.org/2024/10/this-app-set-out-to-fight-pesticides-once-vc-stepped-in-the-app-helped-sell-the-m/>
9. Precision Development (PxD). (2025, February 26). Customized digital advice can help farmers reduce crop loss and manage weather shocks: A summary.
<https://precisiondev.org/customized-digital-advice-can-help-farmers-reduce-crop-loss-and-manage-weather-shocks-a-summary-or-as-much-as-we-can-summarize/>
10. GSMA. (2026). The mobile gender gap report 2026. GSMA.
<https://www.gsma.com/gender-gap/>

अध्याय 6

जलवायु-स्मार्ट कृषि और टिकाऊ पारिस्थितिकी तंत्र

6.1

जलवायु-स्मार्ट कृषि (CSA) और मृदा पारिस्थितिकी तंत्र प्रबंधन

कुदाल की नोक से निकाली धान के खेत की मिट्टी की एक मुट्ठी उठाइए। हथेली पर टूटती काली मिट्टी में अदृश्य जीव रहते हैं। बैक्टीरिया, कवक और छोटे केंचुए आपस में उलझकर मरे धान के पुआल को टुकड़ों में तोड़ते हैं, जड़ों के पीने योग्य नाइट्रोजन बनाते हैं और अनजान रोगाणु आने पर एक साथ जुटकर उसका रास्ता रोकते हैं। मिट्टी की एक मुट्ठी में इतने जीव साथ रहते हैं।

पिछले कई दशकों में यह मिट्टी धीरे-धीरे खराब हुई है। ट्रैक्टर के हर बार जोतने पर मिट्टी के कणों के बीच के वायु-छिद्र टूटे और हर बार रासायनिक उर्वरक डालने पर सूक्ष्मजीवों का काम घटा। नतीजे में मिट्टी ने कार्बन पकड़ने की शक्ति खोई और धान के खेत तथा दूसरी जमीनें कार्बन डाइऑक्साइड, मीथेन और नाइट्रस ऑक्साइड छोड़ने वाली जगह बनती गई। इस प्रवाह को पलटने वाली खेती को जलवायु-स्मार्ट कृषि (Climate Smart Agriculture) कहते हैं। नाम बड़ा है, पर काम स्पष्ट है। उपज बचानी है, सूखे और भीषण गर्मी में टिकना है और साथ ही मिट्टी में कार्बन फिर भरना है।

अंतरराष्ट्रीय समुदाय इन लक्ष्यों को तीन स्तंभ कहता है: उत्पादकता बढ़ाना, जलवायु आघात सहने की क्षमता मजबूत करना और ग्रीनहाउस गैस घटाना। तीनों एक साथ करने हैं, इसलिए यह आसान नहीं हो सकता।

धान के खेत को पानी से भर देने पर मिट्टी की ऑक्सीजन गायब हो जाती है। ऑक्सीजन न होने पर भी सूक्ष्मजीव काम नहीं रोकते। वे धान के पुआल और जैविक पदार्थ को दूसरे तरीके से तोड़ते हैं और उसका उप-उत्पाद मीथेन है। मीथेन की वातावरण गर्म करने की शक्ति कार्बन डाइऑक्साइड से कहीं अधिक है, इसलिए दुनिया के धान के खेत लंबे समय से ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन का एक बड़ा स्रोत माने गए हैं। जब पता चला कि पानी के प्रबंधन से इस समस्या को कम किया जा सकता है, तब जल-प्रबंधन तकनीक धान खेती का मानक बनने लगी। खेत को हमेशा भरा रखने के बजाय जानबूझकर पानी निकालकर मिट्टी को थोड़ी देर सुखाने और फिर भरने की विधि को मध्यवर्ती जल निकासी कहा जाता है।

ग्रामीण विकास प्रशासन की घोषणा के अनुसार वृद्धि अवधि में कई बार धान का पानी निकालने वाली बहु-निकासी पद्धति ने स्थायी जलभराव की तुलना में मीथेन को अधिकतम 44 प्रतिशत घटाया, जबकि रोपाई से पहले सूखे खेत में हैरो चलाने से 14 प्रतिशत कमी हुई। पिछले वर्ष 8 स्थानों से इस वर्ष 12 स्थानों और 60 हेक्टेयर से अधिक तक विस्तार का आंकड़ा पूरे बहु-जल प्रबंधन और ICT का नहीं, सूखे खेत में हैरो चलाने की परियोजना की विस्तार योजना है। कटौती दर को उसी तकनीक के प्रसार लक्ष्य के साथ लिखना चाहिए। सेंसर अभिलेख जल-प्रबंधन के पालन की पुष्टि में इस्तेमाल हो सकते हैं, लेकिन यह नहीं मानना चाहिए कि हर प्रायोगिक स्थल पर एक ही उपकरण लगा था।

सबने तुरंत जल निकासी का स्वागत नहीं किया। लंबे समय से यह मानने वाले किसानों को कि खेत पानी से भरा हो तभी खरपतवार नहीं उगता और धान अच्छी तरह बढ़ता है, जानबूझकर पानी निकालना जोखिम भरा दांव लगा। वे अब भी चिंता करते हैं कि खेत की जमीन सूखने के कुछ दिनों में धान मुरझा न जाए या उसी मौके पर खरपतवार न उग आए। मापक यंत्र के बताए जल-स्तर पर भरोसा करके जलद्वार खोलने और बंद करने के लिए शरीर में बसे पुराने अंदाज को कुछ देर छोड़ना पड़ता है। यह दहलीज केवल संख्याओं से पार नहीं होती; समय लगता है।

जल निकासी का बदलाव मीथेन पर नहीं रुकता। इस विधि का पालन करने वाले खेतों में भरा पानी स्वयं 20 से 30 प्रतिशत कम हुआ और उसी अनुपात में भूजल तथा नदी से खींचा पानी घटा। हर साल धान लगाने वाले खेत में एक परती वर्ष जोड़कर मिट्टी में नाइट्रोजन की गति को एआई से देखने वाले प्रयोग में धान द्वारा जैविक नाइट्रोजन सोखने की दक्षता साफ बढ़ी। दिए उर्वरक का अधिक हिस्सा धान ने लिया और न सोखा नाइट्रोजन बारिश में बहकर नदी को दूषित करने की घटना घटी।

धान के खेत में ट्रैक्टर की राह पर मिट्टी दबती है। भारी पहियों के हर गुजरने पर मिट्टी के कणों के बीच की जगह दबकर मिटती है और जड़ें कठोर परत को भेद न पाने से किनारे मुड़कर बढ़ती हैं। आंख से पता नहीं चलता कि किस हिस्से में कितना दबाव है। इसलिए जमीन में विद्युत धारा भेजने वाला इलेक्ट्रोमैग्नेटिक इंडक्शन सेंसर खींचकर मिट्टी की विद्युत चालकता मापी जाने लगी है। इस मान को मशीन लर्निंग मॉडल में डालकर अलग गहराई पर दबाव का उलटा अनुमान निकाला जाता है। जैसे बारूदी सुरंग खोजने वाला यंत्र जमीन के नीचे धातु ढूंढता है, यह सेंसर अदृश्य कठोर परत की जगह खोजता है।

गणना से बने मानचित्र पर केवल अधिक दबे हिस्सों में अधोमृदा तोड़ने वाला औजार चलाने से पूरा खेत जोते बिना जड़ों के लिए रास्ता खोला जा सकता है। मगर यह विधि भी पूर्ण नहीं है। इलेक्ट्रोमैग्नेटिक इंडक्शन सेंसर का मान मिट्टी की नमी और लवणता से प्रभावित होता है, इसलिए बारिश के अगले दिन और सूखे दिन का माप अलग हो सकता है। इसी कारण एक बार मापकर काम खत्म नहीं होता; हर मौसम बदलने पर फिर मापना पड़ता है।

गेहूं और मक्का के खेतों में अलग उपाय निकलता है। जुताई न्यूनतम रखी जाती है, फसल के बाद बचे तने और पत्तियां पलटे बिना मिट्टी पर छोड़ी जाती हैं, और इस बिना-जुताई पद्धति में कोयले जैसा पकाया बायोचार तथा सिलिकॉन युक्त सुधारक साथ मिलाए जाते हैं। बायोचार मिट्टी के कणों के बीच बैठकर पानी रोकता है। अमेरिका के मक्का क्षेत्र में भूमिगत नमी सेंसर और उपग्रह समय-शृंखला डेटा मिलाकर हर क्षेत्र की उपज का अंतर खोजा गया और बड़े अंतर वाले हिस्सों में संसाधन केंद्रित करके इस सुधार तकनीक का प्रदर्शन किया गया। भारी सूखे वाले वर्ष में भी बायोचार और सिलिकॉन वाले खेतों की उपज कम गिरी।

चीन के दक्षिण-पश्चिमी गुइझोउ प्रांत जैसे खड़ी ढलान वाले पहाड़ी खेतों में तरीका फिर बदलता है। ऊंचाई-नीचाई वाला भूभाग मानचित्र और मिट्टी नमी सेंसर जोड़कर पानी तथा उर्वरक केवल जड़ों के पास ठीक मात्रा में पहुंचाने वाली जल-उर्वरक एकीकृत पद्धति इस्तेमाल होती है। इससे बरसात में मिट्टी बहने से बचती है और ढलान के नीचे नदी में पोषक तत्वों का नुकसान भी घटता है। मगर बायोचार पकाकर खेत तक पहुंचाने की लागत छोटी नहीं है। कच्चे माल में इस्तेमाल लकड़ी और धान के पुआल के प्रकार के अनुसार गुणवत्ता असमान रहती है, इसलिए कभी परिणाम उम्मीद जितना नहीं आता।

मिट्टी का कार्बन मापने वाली पारंपरिक शुष्क दहन विधि मिट्टी को उच्च तापमान पर जलाकर निकली कार्बन डाइऑक्साइड मापती है। जलाने के बाद बची राख के वजन के अंतर से जैविक पदार्थ का अनुमान लगाने वाली विधि लॉस-ऑन-इग्निशन है। दोनों को एक विधि नहीं लिखना चाहिए। एक ही खेत में खाद वाले कोने और कंकरीली ढलान का मान अलग होता है, इसलिए कई जगह से नमूने लेने होते हैं। नमूनों की संख्या और गहराई सांख्यिकीय डिजाइन तथा सत्यापन मानक के अनुसार तय होती है।

सेंसर और उपग्रह मिट्टी कार्बन सर्वेक्षण के स्थान चुनने और बड़े क्षेत्र में बदलाव का अनुमान लगाने में मदद करते हैं। PatSnap के बताए उदाहरणों में मध्य-अवरक्त छोटे नमूने का R^2 0.83, Sentinel-2 आधारित RPD 1.74 और GEDI तथा Sentinel संयुक्त R^2 0.72 है। सूचक और नमूने अलग हैं, इसलिए केवल संख्याओं से श्रेष्ठता तय नहीं हो सकती। रंग और परावर्तन प्रयोगशाला के लिए जाने वाली जगहें सीमित करते हैं और क्षेत्रीय नमूने आसमान से मिले अनुमान को जमीन से बांधते हैं।

मिट्टी के सूक्ष्मजीव समुदाय की रचना का मशीन लर्निंग से पूर्वानुमान लगाने वाला शोध भी सामने आया है। 2026 के Scientific Reports शोध पत्र में लगभग 0.57 का सर्वोच्च R^2 प्रजाति स्तर पर नहीं, संघ स्तर के पूर्वानुमान में मिला। परिवार और वंश जैसे अधिक सूक्ष्म वर्गीकरण पर जाने के साथ सटीकता घटी और प्रजाति स्तर का मॉडल दिया नहीं गया। एक खेत में सीखा सूक्ष्मजीवी संबंध दूसरी मिट्टी और मौसम पर बिना बदले लागू नहीं होता, यह सीमा बची है। वर्गीकरण स्तर बदलकर प्रदर्शन को बढ़ा-चढ़ाकर नहीं दिखाना चाहिए।

मिट्टी का कार्बन बाजार में क्रेडिट के रूप में बिकता है, लेकिन माप विधि से उसका मान बदलता है। रिमोट सेंसिंग बड़े क्षेत्र का बदलाव देखने और नमूना स्थल तय करने में उपयोग हो सकती है। अंतरराष्ट्रीय प्रमाणन संस्था Verra का VM0042 v2.1 केवल रिमोट सेंसिंग से मृदा जैविक कार्बन में बदलाव निकालने की अनुमति नहीं देता और क्षेत्रीय माप मांगता है। एल्गोरिदम और प्रयोगशाला विश्लेषण को एक-दूसरे की जगह लेने वाले दो खेमे बताने के बजाय, क्षेत्रीय नमूनों से मॉडल का अंशांकन और अनिश्चितता की गणना करने वाली प्रक्रिया समझानी चाहिए।

इस विवाद की तह में सत्यापन की प्रक्रिया है। किसान कहे कि उसने खेत का पानी निकाला और बायोचार डाला, फिर भी अंतरराष्ट्रीय मानक के अनुसार कमी को मापा, दर्ज और दोबारा जांचा न जाए तो उसे कार्बन उत्सर्जन अधिकार बाजार या सरकारी अनुदान खिड़की पर मान्यता नहीं मिलेगी। मापने, दर्ज करने और जांचने की इस प्रक्रिया को मॉनिटरिंग, रिपोर्टिंग और वेरिफिकेशन के अर्थ में MRV कहा जाता है। सेंसर के मान, उपग्रह की तस्वीर और एआई के पूर्वानुमान को एक मानक प्रारूप में रखना होगा, तभी संख्या पैसे में बदलती है। समस्या है कि यह मानकीकरण हर देश और प्रमाणन संस्था में अलग बना है।

उसी धान के खेत में घटे मीथेन के लिए भी कागज किस खिड़की पर जमा हुआ, इससे मान्य राशि बदलती है। छोटा किसान अकेला यह कागजी काम मुश्किल से संभालता है और दस्तावेज बनाने वाली मध्यस्थ कंपनी को शुल्क देने के बाद ही कार्बन का पैसा पाता है।

ये सारे उपकरण खेतों में हमेशा ठीक नहीं टिकते। महीनों मिट्टी में दबे सेंसर की सतह पर लवण की परत चढ़ती है, सूक्ष्मजीव पतली झिल्ली बनाकर चिपकते हैं और नमी सर्किट को धीरे-धीरे गलाती है। शुरुआत में

सही मान छह महीने या एक वर्ष बाद थोड़ा-थोड़ा भटकने लगता है। कुछ किसान पहले एक-दो वर्ष मेहनत से सेंसर संभालते हैं, फिर कटाई के समय दूसरे काम बढ़ने पर अंशांकन छोड़ने लगते हैं। स्क्रीन पर संख्या अब भी आती है, मगर कोई विश्वास से नहीं कह पाता कि वह क्या बता रही है। इसलिए खेत में सेंसर मान नियमित रूप से फिर मिलाने का अंशांकन करना पड़ता है और इसे छोड़ने वाले खेत का डेटा भरोसा खो देता है।

कीमत भी कम नहीं है। जमीन में दबे सेंसर, ड्रोन और एआई विश्लेषण सेवा का पूरा सेट छोटे किसान के लिए भारी शुरुआती लागत मांगता है। इसलिए केवल स्मार्टफोन कैमरे से मिट्टी का रंग खींचकर भेजने वाली लगभग मुफ्त सेवाएं बढ़ाने की मांग तेज हो रही है। उद्देश्य है कि महंगे भूमिगत सेंसर के बिना हाथ के फोन से मिट्टी की स्थिति का अनुमान लगाने का रास्ता खुले। डेटा किसके पास होगा और कार्बन खाते में किसके नाम से चढ़ेगा, यह प्रश्न भी अभी हल नहीं है।

आने वाली तकनीक पूरी मिट्टी को कंप्यूटर के भीतर ले जाना चाहती है। सूक्ष्मजीव, कार्बन और नमी एक-दूसरे से कैसे जुड़कर चलते हैं, इसका मृदा डिजिटल ट्विन बनाया जाएगा और तीस वर्ष बाद जलवायु कैसी भी हो, उसमें पहले से प्रयोग किया जाएगा। गणना आज के कंप्यूटर की क्षमता से बड़ी हो जाए तो क्वांटम कंप्यूटर के सिद्धांतों से प्रेरित एआई संभावनाओं की विशाल संख्या को कहीं तेजी से संकरा करेगा, ऐसा अनुमान भी है। बड़े उद्यम और राष्ट्रीय स्तर की प्रयोगशालाएं अभी से इस गणना में आगे हैं। मगर तकनीक को धान की मेड़ पर किसान के हाथ तक पहुंचने के लिए कुछ कदम और चलना है।

मेड़ पर हाथ धोकर उठते समय हम फिर मिट्टी को देखते हैं। इस एक मुट्ठी मिट्टी में कितने टन कार्बन है और वह संख्या किस कंपनी की बही में कितने की लिखी जाएगी, आंख से नहीं दिखता। सेंसर, उपग्रह और मॉडल इस खाली जगह को भर रहे हैं, फिर भी स्क्रीन की मौजूदा संख्या पर कितना भरोसा किया जाए, इसका विश्वास से उत्तर अभी कोई नहीं देता।

स्रोत और संदर्भ

1. Regenerative biochar for carbon sequestration and emerging technologies in soil organic carbon management for sustainable agriculture: A review. (2025).
<https://doi.org/10.54963/ia.v2i1.2335>
2. International Journal of Agriculture and Environmental Sciences. (2025). Application of machine learning algorithms for predictive modeling of climate-smart agriculture, 1(1).
<https://doi.org/10.64137/3108-088x/ijaes-v1i1p103>
3. AI for climate-smart agriculture: Precision sensing, crop intelligence, and resilient food systems. (2026). International Journal of Academic and Industrial Research Innovations Research Book Series.
<https://doi.org/10.62311/nesx/rb-978-81-999639-7-9>
4. Adoption of deep learning driven precision agriculture for optimizing crop productivity and soil health via predictive analytics and autonomous sensing mechanisms. (2026). Preprints.
<https://doi.org/10.20944/preprints202512.2764.v1>
5. Mapping climate smart agricultural interventions in rice cultivation: A lexicometric and systematic review of methane emissions and yield outcomes. (2026). Frontiers in Climate.
<https://doi.org/10.3389/fclim.2026.1779948>
6. International Rice Research Institute. (2025). Southeast Asia tackles methane emissions with new low-emission rice production project.

<https://www.irri.org/news-and-events/news/southeast-asia-tackles-methane-emissions-new-low-emission-rice-production>

7. Global Methane Hub. (2025, November 6). The Global Methane Hub announces \$30 million investment to fast-track research and development on low-emission rice.

<https://www.globalmethanehub.org/2025/11/06/the-global-methane-hub-announces-30-million-investment-to-fast-track-research-and-development-on-low-emission-rice/>

8. Artificial intelligence in soil microbiome-driven agriculture: From practical limits to a translational roadmap. (2026). *Frontiers in Microbiomes*.

<https://doi.org/10.3389/frmbi.2026.1860559>

9. Soil microbiome prediction using traditional machine learning and deep learning models. (2026). *Scientific Reports*.

<https://doi.org/10.1038/s41598-026-39537-w>

10. Abasiita, D. (2026, June 24). Why soil carbon markets hinge on a measurement few can agree on. *Forbes*.

<https://www.forbes.com/sites/daraabasiita/2026/06/24/why-soil-carbon-markets-hinge-on-a-measurement-few-can-agree-on/>

11. ग्रामीण विकास प्रशासन. (2026). जलवायु और ऊर्जा संकट से उबरना: कम-कार्बन धान खेती तकनीक की स्थापना. ग्रामीण विकास प्रशासन की प्रेस विज्ञप्ति.

https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day_farmprmninfoEntry&currPage=1&dataNo=100000809507

12. PatSnap Eureka. (2026). Soil carbon measurement technology 2026. PatSnap.

<https://www.patsnap.com/resources/blog/rd-blog/soil-carbon-measurement-technology-2026-patsnap-eureka/>

6.2

खेतों का ESG प्रबंधन और स्थानीय समुदाय से जुड़ाव

सूर्योदय से पहले धान की मेड़ पर अभी अंधेरा है। इस खेत को जोतते तीस वर्ष से अधिक हो गए और हर सुबह सबसे पहले पानी की ऊंचाई देखना पुरानी आदत है। मगर आज जेब का फोन पहले बजता है। धान खरीदने वाली चावल प्रसंस्करण कंपनी ने संदेश भेजा है कि इस वर्ष से उगाई गई किस्म, पानी निकालने और फिर भरने की तारीख, तथा उर्वरक देने का समय और मात्रा लिखकर भेजें।

यह संदेश मुख्यालय के बैठक कक्ष से शुरू हुआ। भोजन डिब्बे बेचने वाली कंपनी केवल डिब्बा धोने से निकले पानी की जिम्मेदार नहीं है। उसे उस धान के खेत से निकला कार्बन भी अपनी बही में लिखना पड़ता है जिससे डिब्बे का चावल बना। शेयरधारक और निवेशक कंपनी पर कार्बन तटस्थता की घोषणा निभाने का दबाव डालते हैं। उद्योग इसे Scope 3 उत्सर्जन कहता है। खाद्य कंपनी के कार्बन पदचिह्न का 70 से 90 प्रतिशत इसी मद से आता है और उसमें अधिकांश कच्चा माल उगाने वाले खेतों से निकलता है। कारखाने की छत पर सौर पैनल लगाने और डिलीवरी ट्रक को इलेक्ट्रिक बनाने के बाद भी बड़ी संख्या खेतों में बचती है।

कंपनी को अपनी बही भरने के लिए पहले किसान की बही लेनी पड़ती है।

खरीद अधिकारी की स्थिति भी आसान नहीं है। मुख्यालय का लक्ष्य पूरा करने के लिए अनुबंधित सैकड़ों उत्पादन क्षेत्रों से एक ही प्रपत्र लेना पड़ता है, मगर कुछ वर्षों में लगभग आधे से उत्तर भी नहीं आता।

मांगी जाने वाली सामग्री ठोस है। अमेरिकी कृषि सूचना कंपनी FarmRaise की मई 2026 की मार्गदर्शिका के अनुसार खरीदार स्थान और समय वाली तस्वीर, कवर फसल लगी या नहीं, खेत कैसे जोता गया, उर्वरक किस प्रकार का था और कब कितनी मात्रा में डाला गया, यह सब मांगते हैं। एक धान के खेत से खरीद, प्रसंस्करण और कंपनी की अंतिम रिपोर्ट तक बिना टूटे चलने वाला अभिलेख चाहिए। ये मानक बनाने वाला यूरोपीय संघ का कॉरपोरेट सस्टेनेबिलिटी रिपोर्टिंग डायरेक्टिव मूलतः बड़ी कंपनियों के लिए बना था। मगर खाली खानों को भरने वाला व्यक्ति साठ से अधिक उम्र का किसान है जो अकेले लगभग दस मजिगी खेत जोतता है।

स्मार्टफोन से मुश्किल से संदेश भेजने वाला हाथ उपग्रह निर्देशांक और उर्वरक की तारीख तालिका में उतारता है। पहले सहकारी संस्था को धान देकर मुहर मिलने पर वर्ष का कागज पूरा होता था। अब वह मुहर केवल शुरुआत है।

छोटे किसान के लिए आपूर्ति शृंखला खुलासे का प्रपत्र भारी बोझ है। यूरोपीय संघ ने 2025 के Omnibus I प्रस्ताव के बाद 2026 में स्थिरता रिपोर्टिंग और उचित परिश्रम की जिम्मेदारियां घटाने वाली व्यवस्था अंतिम की। दिशा यह थी कि मूल्य शृंखला की छोटी कंपनियों से कानूनी स्वैच्छिक मानक से अधिक डेटा न मांगा

जाए। प्रस्ताव और अंतिम व्यवस्था के बीच के वर्ष में भी किसान उसी नोटबुक में पानी देने की तारीख लिखते रहे।

कोरिया के वित्तीय सेवा आयोग ने जुलाई 2026 में स्थिरता खुलासे का अंतिम रोडमैप जारी किया। अनिवार्य खुलासा 2028 में 10 ट्रिलियन वॉन या अधिक संपत्ति वाली और 2029 में 5 ट्रिलियन वॉन या अधिक संपत्ति वाली कंपनियों पर चरणों में लागू होगा। Scope 3 वर्ष 2031 से 10 ट्रिलियन वॉन या अधिक संपत्ति वाली कंपनियों पर लागू होगा। किसान को आपूर्ति श्रृंखला का डेटा कब देना है, यह कारोबारी कंपनी के आकार और खुलासे की सीमा के साथ बदलता है।

ग्रामीण विकास प्रशासन और Naver Cloud ने 2025 में जो कृषि एआई एजेंट जारी किया, वह खेती परामर्श और गांव लौटकर खेती की योजना बनाने में मदद करता था तथा उपयोगकर्ता के अनुरूप लगभग 1,700 शैक्षिक वीडियो सुझाता था। रोग और कीट वाली छवि सुविधा 2026 की पहली छमाही में जोड़ने की घोषणा हुई थी। वास्तविक विमोचन की पुष्टि किए बिना यह वर्तमान काल में नहीं लिखा जा सकता कि सुविधा पहले ही जुड़ गई। खेती की डायरी और खुलासा प्रपत्र अपने आप बनाने की क्षमता भी तब जारी सेवा नहीं, भविष्य के विस्तार की दिशा थी।

सेंसर मानों को कंपनी के स्थिरता खुलासे से जोड़ने के लिए उन्हें अंतरराष्ट्रीय मानकों के अनुसार व्यवस्थित करना होगा। GRI 305 उत्सर्जन और GRI 101 जैव विविधता के विषयगत मानक तथा खुलासा मद हैं। उन्हें अपने आप भरने वाले 305 नंबर और 101 नंबर के दो प्रपत्र नहीं कहा जा सकता। ताइवान के कृषि मंत्रालय का ESG Store कंपनी की निवेश मांग को कृषि क्षेत्र की उत्सर्जन-कमी और अनुकूलन परियोजनाओं से जोड़ने वाला बाजार है। सेंसर मान तुरंत निवेश धन में बदलें, इसके लिए मापन मानक, सत्यापन और अनुबंध अभी और चाहिए।

ताइवान की New Golden Corridor परियोजना चांगहुआ और युनलिन में हाई-स्पीड रेल लाइन के आसपास भूजल उपयोग तथा जमीन धंसने को घटाती है। उसने अधिक पानी लेने वाली फसल की जगह मोटे अनाज और खेत की फसल लगाने तथा जल-बचत सिंचाई बढ़ाने की दिशा ली। यह काओशुंग शहर की कृषि सूचना प्रणाली से क्षेत्र और परियोजना, दोनों में अलग है। रेल लाइन के पास धान के खेत कम भूजल खींचें तो पटरी के नीचे जमीन धंसने की गति भी धीमी होती है।

केवल जल प्रबंधन संख्या नहीं बनता। खेत की सतह पर जानबूझकर कुछ घास छोड़ना, हल को थोड़ा चलाने वाली बिना-जुताई पद्धति और काटे पुआल को जलाने के बजाय फिर खेत में दबाना मिट्टी में कार्बन बंद रखते हैं। लोग मिट्टी के इस कार्बन को Yellow Carbon कहते हैं, पेड़ और फसल के कार्बन को Green Carbon तथा ज्वारीय भूमि और समुद्र के कार्बन को Blue Carbon। नाम रंगों से बंटे हैं, मगर खेत का काम पुआल न जलाकर उसे मिट्टी में मिलाना है। क्षेत्रीय प्रदर्शन में ठीक से मध्यवर्ती सिंचाई करने वाले धान के खेत में मीथेन उत्सर्जन 30 प्रतिशत से अधिक घटने का परिणाम भी आया।

ताइवान के कुछ ग्रामीण क्षेत्रों में कंपनी का धन बुजुर्गों के सार्वजनिक भोजन सहयोग तक पहुंचा।

इस प्रवाह में दहलीज भी है। सेंसर और सर्वर की शुरुआती लागत उठाने वाले प्रायः पहले से बड़े खेत हैं। रियायती ब्याज और ऊंची कीमत की अधिक जरूरत वाले छोटे किसान इस दहलीज पर पहले छंट सकते हैं।

भारत में काम करने वाली Boomitra उपग्रह और एआई से बड़े कृषि क्षेत्र में मिट्टी के कार्बन का बदलाव अनुमानित करती है। Verra VM0042 केवल रिमोट सेंसिंग से मृदा जैविक कार्बन का बदलाव निकालने की अनुमति नहीं देता। क्षेत्रीय नमूने, गहराई मानक, मॉडल अंशांकन और स्वतंत्र सत्यापन साथ चाहिए। उपग्रह नमूना लेने की जगह नहीं लेता; वह पहले बताता है कि किस खेत के किस बिंदु से नमूना लेना है।

फिर भी एआई सब हल नहीं करता। पुर्तगाल में चावल के इतिहास का परीक्षण करने वाली TRACE-RICE परियोजना ने खेत से भोजन की मेज तक अभिलेख को ब्लॉकचेन से जोड़ने वाला ऐप बनाया। शोधकर्ताओं ने रुकावट तकनीक में नहीं, मनुष्य में देखी। बुजुर्ग किसानों को स्मार्टफोन ऐप चलाने में अधिक कठिनाई हुई और 2023 के पहले प्रदर्शन में उपभोक्ताओं ने QR कोड केवल 174 बार स्कैन किया। लगातार शिक्षा और मदद न हो तो QR कोड लगाने के चरण से ही अभिलेख टूटता है। फिर भी 2024 में निगरानी क्षेत्र तीन और स्थानों तक बढ़ा तथा पुर्तगाल की अपनी Caravela किस्म भी जुड़ी।

खेत से मेज तक जुड़े अभिलेख में खेत का एक व्यक्ति हाथ छोड़ दे तो शुरुआत से खाली जगह रह जाती है।

ताइवान अंतरराष्ट्रीय सहयोग और विकास कोष से समर्थित स्कूल भोजन प्लेटफॉर्म मेनू, भंडार और खरीद सूचना संभालता है। यह एक स्क्रीन पर दिखाता है कि किस स्कूल को कौन सी वस्तु कितनी गई। ब्लॉकचेन से कुछ सेकंड में खेत तक पीछे जाने वाला रिकॉल नेटवर्क इस परियोजना की पुष्ट क्षमता नहीं है। स्कूल भोजन सामग्री को खेत तक खोजने के लिए उत्पादक कोड, वितरण इतिहास और वापसी प्रक्रिया को प्लेटफॉर्म के बाहर आगे जुड़ना होगा।

तकनीक गांव में आती है तो नए विवाद भी साथ लाती है। बीस मजिगी धान भूमि वाला एक गांव सोचिए जो एक जलाशय साझा करता है। जलाशय स्तर पर कुछ दिन पानी निकालकर और कुछ दिन भरकर मध्यवर्ती सिंचाई मिलाने से मीथेन में बड़ी कमी होती है, यह कई प्रदर्शनों में सिद्ध है। समस्या इसके बाद आती है। कंपनी का सहयोग धन पूरे जलाशय में बचे पानी के आधार पर निकलता है और गांव को एक साथ मिलता है। जलाशय के ऊपरी खेत ने वास्तव में पानी निकाला और भरा, लेकिन नीचे के खेत तक पानी केवल देर से पहुंचा; फिर भी वह समान धन मांगता है।

साझा ड्रायर और कंबाइन के साथ भी यही है। मशीन एक दिन कई परिवारों के खेतों से गुजरती है, मगर ईंधन बचत की उपलब्धि उस परिवार के नाम दर्ज होती है जिसने उस दिन स्क्रीन चलाई। अगले हिसाब में केवल उसी परिवार को रियायती ब्याज का दस्तावेज मिल जाए तो बाकी परिवार मशीन साझा करके भी बिना उपलब्धि वाले खेत रह जाते हैं।

इसीलिए हिसाब के दिन गांव के सभा भवन का दृश्य पहले जैसा नहीं है। गांव प्रमुख लैपटॉप खोलकर दीवार पर स्क्रीन दिखाता है। जलाशय के जल-स्तर का ग्राफ और हर घर का धान क्षेत्र साथ दिखाई देते हैं। कोई ग्राफ देखकर सिर हिलाता है, कोई अपने खेत की संख्या पर अंगुली रखकर फिर गणना मांगता है। पहले आंख के अंदाज और पुराने संबंध से बंटने वाला धन अब स्क्रीन की संख्या तय करती है। कुछ लोगों को संख्या गलत लगती है, मगर गांव में बहुत कम लोग बता सकते हैं कि गलती कहां और कैसे है।

ड्रोन और उपग्रह शुरू से केवल एक खेत अलग नहीं खींच सकते। आवेदन न करने वाले पड़ोसी का खेत भी उसी तस्वीर में आता और पूरे गांव के डेटा में जुड़ता है। जैव विविधता की उपलब्धि में भी यही होता है। एक

मोटर कंपनी किसानों के साथ काम कर संकटग्रस्त छोटी जंगली बिल्ली, लेपर्ड कैट, के बार-बार दिखने वाले स्थान को नेविगेशन पर जोखिम क्षेत्र बताती है। मगर जिस खेत के पास वह बार-बार दिखाई दे, उसका किसान खुश ही हो, जरूरी नहीं। उसे डर है कि निगरानी और नियम उसके खेत तक आ जाएंगे। मेरे खेत की संख्या मेरी है, यानी खेत डेटा संप्रभुता, की बात इसी पृष्ठभूमि में निकली।

Intelligent Agriculture में 2025 के एक अध्ययन ने कहा कि कृषि में एआई लाने की प्रक्रिया में नैतिक जिम्मेदारी और उपयोगकर्ता-केंद्रित डिजाइन हों तभी वह टिक सकती है। गांव स्तर पर यह अधिकार किसके नाम और कैसे बांटा जाए, इसका नियम अभी कहीं नहीं है।

इस बोझ को घटाने की योजना बन चुकी है। किसान सिंचाई का बटन दबाए या उर्वरक की बोरी खोले, उसी क्षण ऐप क्रिया दर्ज करे और मानव हस्तक्षेप बिना उसे 305 तथा 101 खुलासा मर्दों में बदल दे। भोर का संदेश भी एक दिन किसान के बजाय सेंसर से उत्तर पा सकता है। मगर उस दिन से पहले संलग्न फ़ाइल खोलकर खाली जगह भरने वाला हाथ खेत के मालिक का ही है।

यह काम किसान अकेला नहीं कर सकता। सेंसर बनाने वाली कंपनी, धन देने वाला बैंक, मानक तय करने वाली सरकार, डेटा लेने वाली खाद्य कंपनी और खेत में जलद्वार देखने वाला किसान, पांचों पक्ष साथ चलें तभी व्यवस्था चलती है। कोई एक केवल अपना लाभ देखे तो बाकी कितना भी प्रयास करें, मेड़ तक पहुंचे कागज को संभाला नहीं जा सकता।

अंत में बचा प्रश्न धन का है। रियायती ब्याज अच्छी व्यवस्था है। मगर वह केवल उधार के ब्याज को घटाता है, धान की बिक्री कीमत नहीं बढ़ाता। मध्यवर्ती सिंचाई के लिए दिन में कई बार पानी की ऊंचाई देखनी होती है और कोयले जैसे मृदा सुधारक बायोचार को बिखेरने से एक नया काम बढ़ता है। भारत के शोधकर्ताओं ने 2025 में अंतरराष्ट्रीय पत्रिका में लिखा कि बायोचार मिट्टी में कार्बन बंद रखने का सस्ता और संभालने में आसान उपाय है। मगर सस्ता शब्द सामग्री की कीमत का है; पूरे खेत में बराबर फैलाने वाले मजदूर का श्रम सस्ता नहीं होता।

पतझड़ के हिसाब में कई बार इतने श्रम वाले धान और कुछ न करने वाले पड़ोसी खेत के धान की कीमत में बड़ा अंतर नहीं होता। अमेरिका के सोयाबीन बाजार में तेल की अच्छी मात्रा वाली एक लोकप्रिय किस्म पर कुछ क्षेत्र प्रति बुशल, लगभग 27 किलोग्राम, 0.75 से 1.25 डॉलर अधिक देते हैं। ऐसा प्रीमियम हो तभी किसान अगले वर्ष भी वही सोयाबीन लगाता है। कीमत वही रहे तो पहले वर्ष किसान ऋण कागज पर मुहर लगाता और अधिकारी के सामने तस्वीर भी खिंचाता है, मगर निगरानी कम होने वाले दूसरे वर्ष से अधिक मेहनत का काम धीरे-धीरे छोड़ देता है।

जलद्वार संभालने, जलाशय का स्तर देखने और QR कोड लगाने वाले हाथ उसी व्यक्ति के हैं। पतझड़ में उसी मेड़ पर लौटकर किसान हिसाब की दो पंक्तियां साथ देखता है। एक में उस खेत का प्रति किलोग्राम भाव है जिसमें कई दिन गिनकर पानी निकाला और भरा गया; दूसरी में कुछ न करने वाले पास के खेत का प्रति किलोग्राम भाव। दोनों संख्याएं समान हों तो किसान अगले वर्ष यह श्रम दोहराने का कारण खोज पाएगा?

स्रोत और संदर्भ

1. Sangwa, S., & Mutabazi, P. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Ethical stewardship, responsible innovation, and governance for sustainable food systems. *Intelligent Agriculture*, 1(2), 25-45.
<https://doi.org/10.54963/ia.v1i2.1684>
2. Khatri, A., Kumar, K., & Thakur, I. S. (2025). Regenerative biochar for carbon sequestration and emerging technologies in soil organic carbon management for sustainable agriculture: A review. *Intelligent Agriculture*, 2(1).
<https://doi.org/10.54963/ia.v2i1.2335>
3. Gonçalves, C., Fernandes, J., & Brites, C. (2025). Blockchain-enabled traceability in the rice supply chain: Insights from the TRACE-RICE project. *Foods*, 14(21), 3711.
<https://doi.org/10.3390/foods14213711>
4. ग्रामीण विकास प्रशासन. (2025). Naver Cloud के साथ कृषि क्षेत्र के पहले कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) एजेंट का परिचय. ग्रामीण विकास प्रशासन की प्रेस विज्ञप्ति.
https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000805404
5. वित्तीय सेवा आयोग. (2026). स्थिरता खुलासे का अंतिम रोडमैप.
<https://www.fsc.go.kr/eng/pr010101/87276>
6. Talkington, I. (2026). Supply chain disclosure: What Scope 3 buyers are asking ag producers to prove. *FarmRaise*.
<https://www.farmraise.com/blog/2026-supply-chain-disclosure-scope-3-buyers-ag-producers>
7. Key ESG. (2026). CSRD food & agriculture sector report. Key ESG.
<https://resources.keyesg.com/hubfs/Whitepapers/CSRD%20Sector%20reports/KEY%20ESG%20CSRD%20Food%20&%20Agriculture%20Sector%20Report.pdf>
8. Verra. VM0042 v2.1 Frequently Asked Questions: Soil Carbon Measurement Requirements.
<https://verra.org/methodologies-main/frequently-asked-questions-vm0042/>
9. Committee on World Food Security. (2026). Harnessing AI, digitalization and data governance for food security and nutrition: Morning session [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=uQ-6ZL9UtvU>

6.3

वैश्विक खाद्य सुरक्षा और कृषि डिजिटल परिवर्तन का भविष्य

जब कोई थोक मालवाहक इंचियोन के दक्षिण बंदरगाह में अनाज घाट पर पहुंचता है, तो गेहूं, मक्का और चारा कच्चे माल को क्रेन द्वारा नीचे उतारा जाता है। 2023 से 2025 तक कोरिया की अनाज आत्मनिर्भरता दर औसतन 19.2 प्रतिशत थी, और यह अनुमान लगाया गया है कि 2035 में यह गिरकर 16.8 प्रतिशत हो सकती है। 2024 के लिए गेहूं 1.5 प्रतिशत और मक्का 4.3 प्रतिशत। किसी विशिष्ट वर्ष के लिए औसत और संख्याएँ एक ही समय में दिखाई नहीं देनी चाहिए। वह संरचना जिसमें आयात बंदरगाहों पर कीमतें और परिवहन व्यवधान घरेलू भोजन और फ़ीड लागत तक फैलते हैं, इस कम आत्मनिर्भरता दर से शुरू होती है।

यहां तक कि अगर कोई जहाज एक दिन देरी से इस गोदी पर पहुंचता है, तो भी घरेलू कीमतों में उतार-चढ़ाव होता है। हालाँकि, जब अनाज की कीमतें वास्तव में बढ़ती हैं, तो कोरिया भूख से मरने वाला पहला देश नहीं है। वे देश जहां संघर्ष जारी रहता है, और वे देश जो अपने दम पर अनाज उगाने में असमर्थ हैं और इसलिए खरीद कीमतों से प्रभावित होते हैं, उन पर सबसे पहले मार पड़ती है। विश्व बैंक ने अपनी 2026 की रिपोर्ट में अनुमान लगाया है कि उस वर्ष अंतर्राष्ट्रीय खाद्य मूल्य सूचकांक 2.5 प्रतिशत बढ़ जाएगा।

उन्होंने चेतावनी दी कि मध्य पूर्व की स्थिति, असामान्य जलवायु और एक ही समय में बंदरगाहों पर अनाज बांधने वाले कई देशों द्वारा लगाए गए निर्यात प्रतिबंधों के कारण यह पूर्वानुमान आसानी से पार किया जा सकता है।

संयुक्त राष्ट्र के खाद्य और कृषि संगठन द्वारा प्रकाशित 2026 विश्व खाद्य सुरक्षा रिपोर्ट के अनुसार, 2025 में 645 मिलियन लोग भूखे थे। यह दुनिया की आबादी का 7.8 प्रतिशत है, या 2022 के शिखर से 43 मिलियन कम है। हालाँकि भूखे नहीं हैं, 2.1 अरब लोग ऐसे हैं जो ठीक से खाना नहीं खा पाते हैं, जो एक साल पहले की तुलना में 86 मिलियन कम है। फिर भी 2.7 अरब लोग स्वस्थ आहार का खर्च वहन नहीं कर सकते। प्रति व्यक्ति प्रति दिन स्वस्थ आहार की लागत 2025 तक बढ़कर 4.28 डॉलर हो गई है।

यह क्रय शक्ति समानता (पीपीपी) पर आधारित है, जो अलग-अलग देशों में एक ही मानक के अनुसार अलग-अलग कीमतों को समायोजित करती है, और 2017 में 2.94 डॉलर से उल्लेखनीय वृद्धि हुई है। संयुक्त राष्ट्र के खाद्य और कृषि संगठन ने इस रिपोर्ट का शीर्षक दिया: भूख अपरिहार्य नहीं है। शीर्षक इस तथ्य से आता है कि लगातार तीन वर्षों से भूखे लोगों की संख्या में कमी आई है। हालाँकि, 2030 के लक्ष्य को पूरा करने के लिए गति बहुत धीमी है।

इनमें से प्रत्येक आँकड़े के पीछे एक व्यक्ति है। जब सहेलियन बाज़ार में अनाज की कीमतें बढ़ती हैं, तो मेरी माँ खाना कम कर देती है। इसे बच्चे के कटोरे में डालें और केवल शोरबा को अपने कटोरे में छोड़ दें। सीमा पार कुछ शरणार्थी शिविरों में, राशन को दिन में एक बार के भोजन तक सीमित कर दिया गया है। स्कूल का भोजन

भूख के खिलाफ आखिरी बाधा है, और जैसे-जैसे बजट घटता है, वह बाधा सबसे पहले खत्म हो जाती है। इस तरह के दृश्य सांख्यिकीय तालिकाओं में कैद नहीं किए जाते हैं। पकड़ी गई कुल राशि 645 मिलियन है।

इन आंकड़ों के पीछे दो तरह के किसान हैं। एक तरफ किसान हैं जिनके खेतों को अक्सर उपग्रहों द्वारा स्कैन किया जाता है। आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस ड्रोन द्वारा ली गई मल्टीस्पेक्ट्रल छवियों और मिट्टी में डाले गए सेंसर के मूल्यों को पढ़ता है, और अगले महीने की फसल की उपज और कीटों और बीमारियों के खतरे के बारे में पहले से सूचित करता है। यह एक परिवर्तनशील उर्वरीकरण विधि है जहां कृत्रिम बुद्धिमत्ता भूमि को छोटे-छोटे टुकड़ों में विभाजित करती है और आपको बताती है कि कब और कितना पानी देना है और किन हिस्सों में अधिक उर्वरक डालना है।

यदि अनाज की कीमतों में उतार-चढ़ाव शुरू हो जाता है, तो किसान वायदा बाजार में कीमतों को लॉक करने या अग्रिम रोपण तिथियों का जोखिम उठा सकता है।

दूसरी तरफ अफ्रीका और दक्षिण एशिया के छोटे किसान हैं। विकासशील देशों में, सभी किसानों में से 80 प्रतिशत छोटे किसान हैं, लेकिन अक्सर उनके हाथ में टूटी स्क्रीन वाला एक फीचर फोन होता है। कुछ स्थानों पर, कुछ दिनों के संचार डेटा की लागत डायग्नोस्टिक ऐप का उपयोग करने की लागत के बराबर है। 2026 के एक अध्ययन में इस अंतर के लिए योगदान देने वाले कारकों के रूप में अविश्वसनीय इंटरनेट, अफोर्डेबल डिवाइस की कीमतें, कम डिजिटल साक्षरता और लगातार बिजली कटौती का हवाला दिया गया। यह बताया गया है कि कृत्रिम बुद्धिमत्ता में कृषि को बदलने की शक्ति है, लेकिन वह शक्ति पहले उन किसानों पर केंद्रित है जिनके पास पहले से ही संसाधन हैं।

यहां तक कि अगर एक छोटा किसान केन्या या रवांडा में एक खेत के शीर्ष पर एक रोगग्रस्त पत्ती की तस्वीर लेने और उसे डायग्नोस्टिक ऐप पर अपलोड करने की कोशिश करता है, तो संचार कट जाने पर, तस्वीर नहीं भेजी जाती है और स्क्रीन पर केवल एक लोडिंग संकेत दिखाई देता है। दूसरी ओर, आयोवा का कंबाइन चलने के दौरान भी उपज डेटा को लगातार क्लाउड पर अपलोड करता रहता है। घने बादलों वाले दिनों में ली गई सैटेलाइट तस्वीरें कभी-कभी जमीन की सतह को ठीक से पढ़ने में असमर्थता के कारण भविष्यवाणियां गलत कर सकती हैं, लेकिन यह अच्छी तरह से संसाधन वाले खेत हैं जिनके पास त्रुटियों को ठीक करने के लिए जनशक्ति और उपकरण हैं।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता मॉडल को आमतौर पर संयुक्त राज्य अमेरिका या यूरोप में बड़े क्षेत्रों की तस्वीरों पर प्रशिक्षित किया जाता है। इसलिए, जब हम अफ्रीकी खेतों की तस्वीरें देखते हैं जहां एक छोटे से क्षेत्र में विभिन्न फसलें मिश्रित रूप से बोई जाती हैं, तो हम अक्सर गलत उत्तर पाते हैं।

भाषा भी एक बाधा है। अधिकांश बड़े भाषा मॉडलों को अंग्रेजी, चीनी और स्पेनिश जैसी कई उपयोगकर्ताओं वाली भाषाओं से शुरू करके प्रशिक्षित किया जाता है। भले ही स्वाहिली या हौसा बोलने वाले लाखों लोग हैं, लेकिन इंटरनेट पर जिन भाषाओं के कुछ लिखित शब्द बचे हैं, वे पृष्ठभूमि में चले गए हैं। जब केन्या के छोटे किसान स्वाहिली में कीटों और बीमारियों के बारे में पूछते हैं, तो मॉडल कभी-कभी गलत जवाब देता है या उन्हें बिल्कुल भी नहीं समझता है। किसी भाषा में जितना अधिक डेटा होता है, मॉडल उतना ही अधिक सटीक

होता है, और यह जितना अधिक सटीक होता है, उतने ही अधिक लोग उस भाषा का उपयोग करते हैं। कम डेटा वाली भाषाएँ इस चक्र से बाहर रहती हैं।

विदेशी मुद्रा संकट से पहले और बाद में, कई घरेलू बीज कंपनियों पर विदेशी पूंजी का कब्ज़ा हो गया। सियोल सीड, हुंगनॉंग सीड और जुंगांग सीड एक के बाद एक बेचे गए, और चेओंगवॉन सीड, जिसे उस समय उद्योग में 7वें सबसे बड़े बीज के रूप में जाना जाता था, को भी एक विदेशी कंपनी द्वारा अधिग्रहित किया गया था। प्रवाह केवल एक ही दिशा में नहीं गया। 2012 में, फार्महैनॉन्ग ने मोनसेंटो कोरिया के कुछ बीज व्यवसाय अधिकार वापस खरीद लिए। कई कंपनियों के सर्वर पर बीज और कृषि मशीनरी डेटा एकत्र करने के जोखिम को समझने के लिए, आपको बिक्री और वसूली की दो दिशाओं को एक साथ देखना होगा।

भारत सरकार ने 17 फरवरी, 2026 को भारत विस्तार का पहला चरण लॉन्च किया। यह प्रणाली कृषि ज्ञान और सरकारी सेवाओं को एआई से जोड़ती है, और एग्रीस्टैक का यूएफएसआई अनुमोदन और किसान की सहमति के अधीन डेटा का आदान-प्रदान करता है। सिर्फ इसलिए कि आप कनेक्ट हैं इसका मतलब यह नहीं है कि कोई भी सभी डेटा तक पहुंच सकता है। CIMMYT अनुसंधान, प्रजनन और शैक्षिक उद्देश्यों के लिए निःशुल्क या न्यूनतम लागत पर जर्मप्लाज्म प्रदान करता है। तैयार बीजों के व्यावसायीकरण के लिए गैर-विशिष्ट या अर्ध-विशिष्ट लाइसेंस का उपयोग किया जाता है।

कोरियाई कृषि-खाद्य प्रौद्योगिकी स्टार्टअप में निवेश पर 2026 की एक रिपोर्ट में कहा गया है कि पूर्व-गोल आंकड़ों के आधार पर 171 प्रतिशत की वृद्धि हुई है। लेख में सूचीबद्ध केवल \$97 मिलियन और \$253 मिलियन की गणना लगभग 161 प्रतिशत है, इसलिए आपको पूर्णांकन से पहले राशि देखनी होगी। एगफंडर के अनुसार, 2025 में वैश्विक कृषि-खाद्य प्रौद्योगिकी निवेश 16.2 बिलियन डॉलर था। कृषि एआई बाजार और कृषि-खाद्य प्रौद्योगिकी निवेश समग्र रूप से अलग-अलग सीमाओं वाले दो बाजार हैं। संख्याओं की तुलना करने के लिए, आपको पहले यह जांचना होगा कि क्या वे समान श्रेणी मापते हैं।

संभावना है कि अगले पांच वर्षों में उपग्रह इमेजिंग, ऑन-डिवाइस मॉडल, स्थानीय भाषा की आवाज सेवाएं और कृषि मशीनरी किराये का विस्तार होगा। हालाँकि, यह कोई पुष्ट वर्तमान तथ्य नहीं है, बल्कि लेखक का दृष्टिकोण है। मध्यम आय वाले देशों के खेतों को किस समय अधिक सटीक अलर्ट प्राप्त होंगे और प्रतिरोधी बीज अधिक छोटे पैमाने के किसानों तक पहुंचेंगे, यह संचार नेटवर्क, किस्म पंजीकरण और बीज आपूर्ति श्रृंखलाओं पर निर्भर करेगा। यह अपेक्षा कि भारत विस्तार के समान सार्वजनिक बुनियादी ढाँचा कई देशों में बनाया जाएगा, एक सशर्त परिदृश्य के रूप में भी लिखा गया है।

पावर ग्रिड, संचार टावर और बीज वितरण नेटवर्क कृत्रिम बुद्धिमत्ता मॉडल की तुलना में अधिक धीरे-धीरे बदलते हैं। संरचना जिसमें डेटा और पेटेंट कुछ कंपनियों में केंद्रित हैं और मॉडल को हिलाने वाली अभूतपूर्व असामान्य जलवायु जैसी समस्याएं कम समय में गायब होना मुश्किल है। अभी तक कोई तारीख नहीं आई है जब कृषि डेटा संप्रभुता को एक अंतरराष्ट्रीय संधि में मजबूत किया जाएगा और क्वांटम कंप्यूटर पूरे ग्रह के लिए पानी और कार्बन की गणना करेंगे। जबकि सस्ते चिप्स को चावल के खेतों में एक-एक करके प्लग किया जा रहा है, डेटा एकत्र करने वाले सर्वर का आकार इससे भी तेजी से बढ़ सकता है।

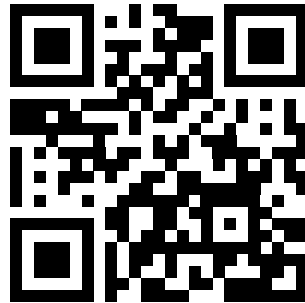
इंचियों पियर पर क्रेनें आज भी गेहूं उठाती हैं। जब तक गेहूं नूडल्स और ब्रेड बनकर खाने की मेज पर नहीं पहुंच जाता, तब तक फटी स्क्रीन वाले फीचर फोन रखने वाले छोटे किसानों को इस गणना में शामिल नहीं किया जाता है। जब कृत्रिम बुद्धिमत्ता सस्ते उपग्रह चित्रों और तेज़ चिप्स का उपयोग करके पाँच वर्षों के भीतर मकई और गेहूं के खेतों के हर कोने को पढ़ लेगी, तो गणना परिणाम प्राप्त करने वाला पहला व्यक्ति कौन होगा?

स्रोत और संदर्भ

1. सांगवा, एस., और मुताबाज़ी, पी. (2025)। कृषि में कृत्रिम बुद्धिमत्ता: नैतिक प्रबंधन, जिम्मेदार नवाचार और सतत खाद्य प्रणालियों के लिए शासन। बुद्धिमान कृषि, 1(2).
<https://doi.org/10.54963/ia.v1i2.1684>
2. प्रेस सूचना ब्यूरो, भारत सरकार। (2026)। भारत-विस्तार प्लेटफॉर्म का रोलआउट।
<https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2239788>
3. जीन साझा करें। (2026)। पूर्वानुमानित प्रजनन: जेनेटिक्स, आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस और कृषि को पाटना | डॉ. बी. एम. प्रसन्ना [वीडियो]। यूट्यूब.
<https://www.youtube.com/watch?v=FWcxeEC90JA>
4. विश्व खाद्य सुरक्षा समिति। (2026)। सुबह का सत्र: खाद्य सुरक्षा और पोषण के लिए एआई, डिजिटलीकरण और डेटा गवर्नेंस का उपयोग करना [वीडियो]। यूट्यूब.
<https://www.youtube.com/watch?v=uQ-6ZL9UtvU>
5. संयुक्त राष्ट्र का खाद्य एवं कृषि संगठन। (2026)। एसओएफआई 2026: भूख अपरिहार्य नहीं है, एफएओ का कहना है कि वैश्विक भूख रिपोर्ट प्रगति दिखाती है। एफएओ न्यूज़रूम।
<https://www.fao.org/newsroom/detail/sofi-2026--hunger-not-inevitable--fao-says-as-global-hunger-report-s-hows-progress/en>
6. विश्व बैंक. (2026)। जब जोखिम बढ़ जाते हैं: 2026 में वैश्विक खाद्य बाजारों के लिए खतरा। विश्व बैंक ब्लॉग।
<https://blogs.worldbank.org/en/developmenttalk/when-risks-stack-up--threats-to-global-food-markets-in-2026>
7. वित्तीय समाचार. (2026)। कोरिया की अनाज आत्मनिर्भरता दर 2035 में गिरकर 16% हो गई... खाद्य सुरक्षा कमजोर हो गई।
<https://www.fnnews.com/news/202607020630507050>
8. एगफंडर। (2026)। ग्लोबल एग्रीफूडटेक निवेश रिपोर्ट 2026।
<https://agfunder.com/research/agfunder-global-agrifoodtech-investment-report-2026/>
9. Phys.org. (2026)। एआई कृषि के लिए वादा पेश करता है, लेकिन छोटे किसानों के पीछे छूट जाने का जोखिम है।
<https://phys.org/news/2026-06-ai-agriculture-smallholder-farmers-left.html>
10. न्यूज़पिम. (2026, 22 जून)। [एआई के साथ अर्थव्यवस्था को पढ़ना] एक ऐसा युग जिसमें बीज आधिपत्य बन गए... '\$62 बिलियन बीज युद्ध' शुरू हो गया है।
<https://www.newspim.com/news/view/20260622000833>
11. न्यूज़पिम. (2026, 23 जून)। [एआई के साथ अर्थव्यवस्था को पढ़ना] आईएमएफ द्वारा बेचे गए बीज... कोरियाई बीज संप्रभुता के 25 साल।
<https://www.newspim.com/news/view/20260622001057>
12. न्यूज़पिम. (2026, 27 जून)। [एआई के साथ अर्थव्यवस्था को पढ़ना] के-सीमीकंडक्टर के बाद, के-सीड्स... ग्रामीण विकास प्रशासन को एक औद्योगिक मंच में बदलना।
<https://www.newspim.com/news/view/20260626000833>

इस पुस्तक का सहयोग करें

यदि यह पुस्तक उपयोगी लगी हो, तो अनुवाद, सार्वजनिक संस्करण और खुले एआई ज्ञान परियोजना को PayPal से सहयोग दें।



PayPal

<https://paypal.me/kimkjkj>

QR कोड स्कैन करें या ऊपर दिया गया लिंक खोलें।