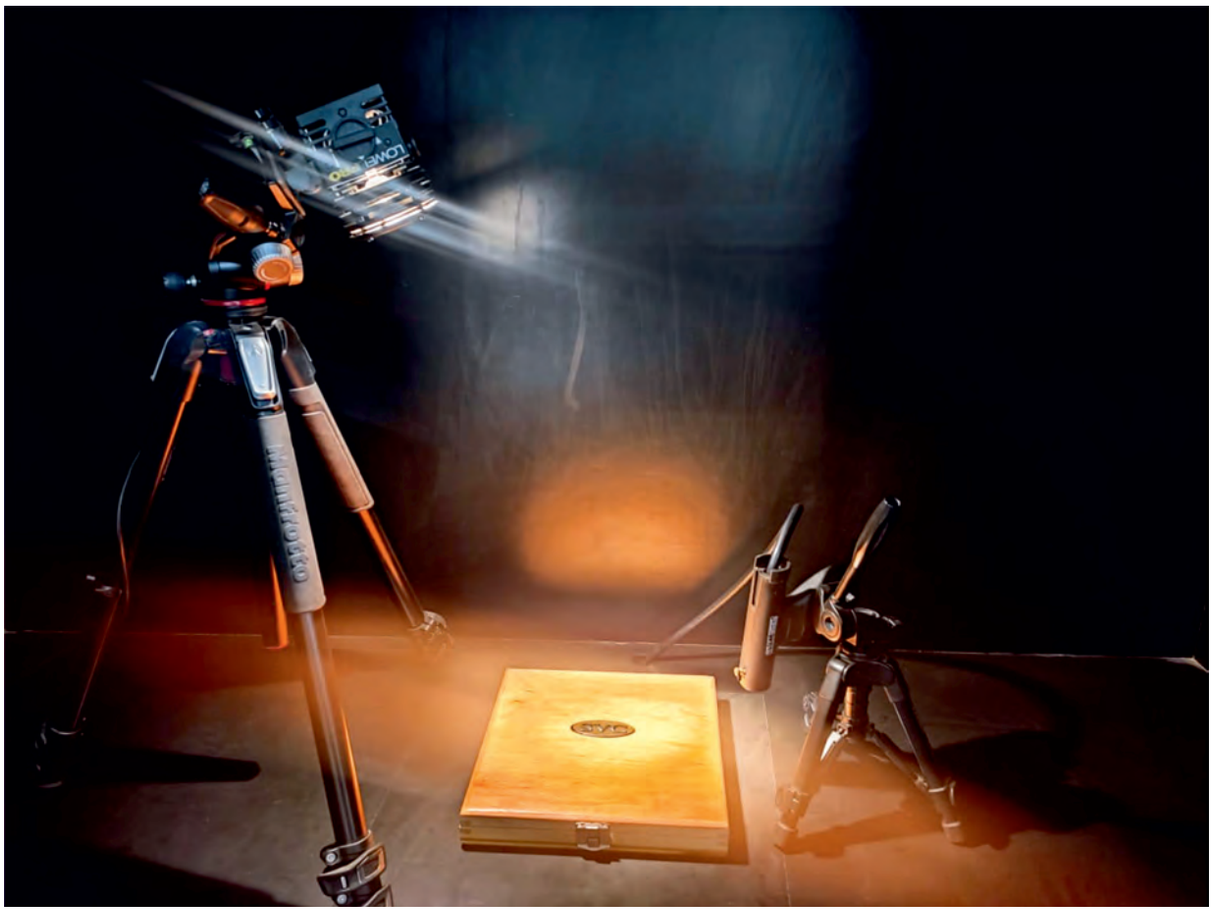


लवणीय मृदा का डिजिटल मानचित्रण और मूल्यांकन

अमरेश चौधरी[1], संदीप कुमार[2], भास्कर नरजरी[1], गजेन्द्र यादव[1] और **ए.के. राय[1]**

मृदा की लवणता एक ऐसी स्थिति है, जिसमें मृदा में घुलनशील लवणों (जैसे-सोडियम, क्लोराइड, सल्फेट) की मात्रा अत्यधिक बढ़ जाती है। यह समस्या दुनियाभर में मृदा के क्षरण का एक प्रमुख कारण है। जब मृदा में नमक की मात्रा जरूरत से ज्यादा हो जाती है, तो पौधों की जड़ों से जल और पोषक तत्वों का अवशोषण बाधित होता है। इससे फसलों की वृद्धि रुक जाती है और उत्पादन में कमी आती है। यह समस्या विशेष रूप से उन क्षेत्रों में गंभीर होती है, जहां अत्यधिक सिंचाई, जल निकासी की खराब व्यवस्था या समुद्री जल का प्रभाव होता है। जलवायु परिवर्तन, सूखा और भूजल का अधिक दोहन इस समस्या को और बढ़ा रहे हैं। खाद्य एवं कृषि संगठन, संयुक्त राष्ट्र (2024) की रिपोर्ट के अनुसार, वैश्विक स्तर पर लगभग 1381 मिलियन हैक्टर भूमि लवण प्रभावित है, जो कुल भूमि क्षेत्र का लगभग 11 प्रतिशत है। भारत में भी कई राज्य जैसे-गुजरात, हरियाणा, पंजाब, पश्चिम बंगाल, कर्नाटक, ओडिशा और आंध्र प्रदेश इस समस्या से जूझ रहे हैं। मृदा में लवणता की समस्या के समाधान हेतु डिजिटल तकनीकों जैसे-डिजिटल मृदा मानचित्रण, स्पेक्ट्रोस्कोपी, मशीन लर्निंग और रिमोट सेंसिंग ने नई दिशा दी है। ये तकनीकें तेज, सटीक और किफायती हैं। इनका उपयोग करके किसान, वैज्ञानिक और नीति निर्माता बेहतर निर्णय ले सकते हैं। इससे कृषि उत्पादन, भूमि उपयोग और प्राकृतिक संसाधनों का टिकाऊ प्रबंधन संभव हो सकेगा।

आधुनिक तकनीकें जैसे रिमोट सेंसिंग (उपग्रह चित्रण), जियोग्राफिक इन्फॉर्मेशन सिस्टम और मशीन लर्निंग अब मृदा की लवणता का तेज और सटीक मूल्यांकन करने में सक्षम हैं। ये तकनीकें बड़े क्षेत्रों का विश्लेषण करके डिजिटल मृदा मानचित्र तैयार करती हैं। इनमें मृदा की गुणवत्ता और प्रकार की जानकारी पिक्सल स्तर पर मिलती है। यह कृषि योजना, भूमि प्रबंधन और जल संसाधन प्रबंधन के लिए बहुत उपयोगी है।

[1]भाकृअनुप-केंद्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान, करनाल (हरियाणा); [2]भाकृअनुप-राष्ट्रीय मृदा सर्वेक्षण एवं भूमि उपयोग योजना ब्यूरो, क्षेत्रीय केंद्र, जोरहाट

लवण प्रभावित मृदा की पहचान और प्रकार

लवण प्रभावित मृदा मुख्यत: दो प्रकार की होती है:

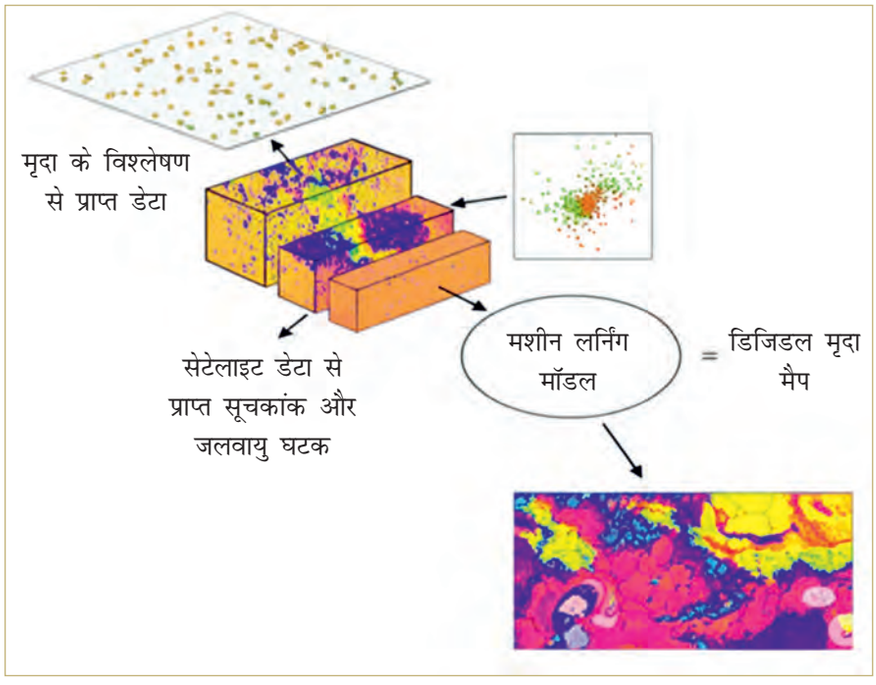
- **लवणीय मृदा:** इन मृदा में घुलनशील लवण जैसे सोडियम के क्लोराइड और सल्फेट की मात्रा अधिक होती है। इनका पी-एच मान सामान्यत: 8.5 से कम होता है, लेकिन विद्युत चालकता (ईसी) 4 dS/m से अधिक होती है।
- **क्षारीय मृदा:** इनमें सोडियम की मात्रा अत्यधिक होती है, जिससे मृदा की संरचना प्रभावित हो जाती है और मृदा की जलधारण क्षमता कम हो जाती है। इनका पी-एच मान 8.5 से अधिक होता है, लेकिन ईसी 4 dS/m से कम हो सकता है।

इनकी पहचान पारंपरिक रूप से मृदा के नमूने लेकर प्रयोगशाला में विश्लेषण कर की जाती है। इसमें ईसी, पी-एच मान और सोडियम अवशोषण अनुपात जैसे गुणकों को मापा जाता है। हालांकि, ये विधियां समय एवं श्रम प्रधान होती हैं।

दूरसंवेदी तकनीक से मृदा की लवणता की पहचान

रिमोट सेंसिंग तकनीक में उपग्रहों या ड्रोन के माध्यम से जमीन की सतह की छवियां ली जाती हैं। इनसे प्राप्त डेटा में कुछ विशेष संकेतक हैं जैसे:

- **नॉर्मलाइज्ड डिफरेंस वेजिटेशन इंडेक्स:** यह सूचकांक पौधों की हरियाली को दर्शाता है। अधिक लवणता वाले क्षेत्रों में एनडीवीआई का मान कम होता है। पौधों की वृद्धि बाधित होती है।
- **एन्हांस्ड वेजिटेशन इंडेक्स:** यह एक परिष्कृत सूचकांक है, जो घने वनस्पति क्षेत्रों में भी बेहतर परिणाम देता है।
- **कैनोपी रेस्पॉन्सिव सैलिनिटी इंडेक्स:** ये सूचकांक विशेष रूप से मृदा में लवणता से प्रभावित वनस्पति की पहचान के लिए विकसित किए गए हैं।



डिजिटल मृदा मानचित्रण तकनीक का प्रवाह

मशीन लर्निंग आधारित पूर्वानुमान

मशीन लर्निंग एल्गोरिदम मृदा की लवणता का पूर्वानुमान लगाने के लिए अब पारंपरिक भू-आंकिक विधियों की तुलना में अधिक सटीक एवं प्रभावी सिद्ध हो रहे हैं। इसमें प्रमुख एल्गोरिदम में शामिल हैं:

- **रैंडम फॉरेस्ट:** यह वृक्षों पर आधारित विधि है, जो बड़ी संख्या में पर्यावरणीय सूचकों को एक साथ विश्लेषित कर सकती है।
- **सपोर्ट वेक्टर मशीन:** यह वर्गीकरण और पूर्वानुमान के लिए प्रभावी तकनीक है।
- **न्यूरल नेटवर्क्स:** ये एल्गोरिदम जटिल गैर-रेखीय संबंधों को पहचानने में सक्षम होते हैं।

इन तकनीकों का उपयोग उपग्रह चित्रों, जलवायु डेटा, स्थलाकृति और पूर्ववर्ती मृदा नमूनों के साथ किया जाता है। इससे लवणता का व्यापक और उच्च-रिजॉल्यूशन मानचित्रण संभव होता है।



पंजाब के पटियाला में सीएसएसआरआई के वैज्ञानिक क्षारीयता संबंधी समस्याओं का निरीक्षण करते हुए

इन संकेतकों के माध्यम से वैज्ञानिक यह पता लगा सकते हैं कि कहां-कहां मृदा

में लवणता अधिक है और उसका फसलों पर क्या प्रभाव पड़ रहा है।

डिजिटल मृदा मानचित्रण

इस डिजिटल तकनीक की सहायता से मृदा के गुणों का अनुमान लगाया जाता है। इसमें मॉडल का उपयोग होता है:

$S = f(S, C, O, R, P, A, N, +\varepsilon$

जहां:

- S = मृदा के गुण
- **C** = जलवायु
- O = जैविक क्रियाएं
- R = स्थलाकृति
- P = मूल चट्टान
- **A** = समय
- N = स्थानिक जानकारी,
- ε = अनियमित त्रुटियां

इस प्रणाली की मदद से एक सतत और पूर्वानुमानिक मानचित्र तैयार किया जा सकता है। इसमें पारंपरिक बहुभुज नक्शों की तुलना में कहीं अधिक सटीकता होती है।

मृदा स्पेक्ट्रोस्कोपी: तेज और बिना नुकसान के विश्लेषण

मृदा स्पेक्ट्रोस्कोपी एक तेज, किफायती और बिना किसी भौतिक संपर्क वाली तकनीक है, जो मृदा में मौजूद तत्वों की पहचान उनके प्रकाश परावर्तन के आधार पर करती है। इसमें:

- नियर-इन्फ्रारेड और मिड-इन्फ्रारेड तरंगदैर्ध्य का प्रयोग होता है।
- मृदा का किसी रसायन के प्रयोग के बिना विश्लेषण किया जाता है।
- इसमें एक साथ नमी, पी-एच, जैविक कार्बन और लवणता जैसे कई गुणों का विश्लेषण संभव है।

इस तकनीक को जीआईएस और मशीन लर्निंग के साथ जोड़कर क्षेत्रीय स्तर पर मृदा के गुणों की अधिक सटीक पहचान की जा सकती है।

संस्थान की पहल

भाकृअनुप-केंद्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान, करनाल द्वारा देशभर में लवणता प्रभावित मृदा की पहचान और मानचित्रण के लिए विशेष परियोजनाएं शुरू की गई हैं। पहले चरण में पारंपरिक तकनीकों से बनाए गए नक्शों को अब मशीन लर्निंग, उपग्रह चित्रण और फील्ड डेटा से अपडेट किया जा रहा है। हाल ही के एक अध्ययन में लगभग 1.3 मिलियन हैक्टर तटीय भूमि को लवण प्रभावित पाया गया। राष्ट्रीय स्तर पर उच्च रिजॉल्यूशन डीएसएम तैयार कर भूमि सुधार और कृषि प्रबंधन को और प्रभावी बनाया जा रहा है।

भावी परिदृश्य और चुनौतियां

डिजिटल मृदा मानचित्रण और इससे जुड़ी तकनीकों का भविष्य अत्यंत उज्ज्वल है, परंतु कई चुनौतियां भी सामने हैं:

- बड़े डेटा सेट्स को प्रोसेस करना
- बादल या वायुमंडलीय हस्तक्षेप से रिमोट सेंसिंग में बाधा
- विभिन्न डेटा स्रोतों को एकीकृत करने की तकनीकी जटिलताएं।

भविष्य में अधिक उन्नत सेंसर, मशीन लर्निंग मॉडल और भूमि उपयोग से संबंधित जानकारी के जुड़ाव से इन समस्याओं से निजात पायी जा सकेगी। ■

ड्रोन का उपयोग

ड्रोन अब स्थानीय स्तर पर मृदा का अत्यधिक विस्तृत और वास्तविक डेटा देने में सक्षम हो गए हैं। ये उपकरण:

- जमीन की सतह के उच्च-रिजॉल्यूशन चित्र प्रदान करते हैं।
- कठिन और दूरस्थ क्षेत्रों में आसानी से काम करते हैं।
- मृदा के लवणता, कार्बन, नमी और बनावट जैसे गुणों का आंकलन करते हैं।

ड्रोन की सहायता से लवणता का स्थानीय मानचित्र जल्दी और कम लागत में तैयार किया जा सकता है।



लवणीय मृदा



गुजरात में लवण प्रभावित मृदा के मानचित्रण हेतु मृदा सर्वेक्षण की प्रक्रिया