

## जलवायु परिवर्तन का मिट्टी स्वास्थ्य पर प्रभाव



**डा० शैलेन्द्र प्रताप सिंह<sup>1\*</sup>,  
डा० रजत मिश्रा<sup>2</sup>, योगेश  
कुमार<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>टीचिंग एसोसिएट, भूमि  
संरक्षण एवं जल प्रबन्ध विभाग,  
चंद्रशेखर आज़ाद कृषि एवं  
प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय कानपुर

\*अनुरूपी लेखक  
**डा० शैलेन्द्र प्रताप सिंह\***

जलवायु परिवर्तन कृषि स्थिरता और पर्यावरणीय संतुलन को प्रभावित करने वाली सबसे गंभीर वैश्विक चुनौतियों में से एक है। मृदा स्वास्थ्य, जो उत्पादक कृषि पारितंत्र की आधारशिला है, तापमान, वर्षा और वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड की सांद्रता जैसे जलवायु कारकों में होने वाले परिवर्तनों के प्रति अत्यधिक संवेदनशील है। जलवायु परिवर्तन मृदा के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों को प्रभावित करता है, जिससे भूमि क्षरण, उर्वरता में कमी तथा पारितंत्र सेवाओं में गिरावट आती है। यह लेख मृदा संरचना, पोषक तत्व गतिकी, मृदा कार्बनिक कार्बन, सूक्ष्मजीवी गतिविधि, अपरदन प्रक्रियाओं और समग्र मृदा उत्पादकता पर जलवायु परिवर्तन के प्रभावों का विस्तृत विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साथ ही बदलती जलवायु परिस्थितियों में मृदा स्वास्थ्य को बनाए रखने हेतु अनुकूलन और शमन रणनीतियों पर भी चर्चा करता है।

मुख्य शब्द (Keywords): जलवायु परिवर्तन, मृदा स्वास्थ्य, मृदा कार्बनिक कार्बन, मृदा अपरदन, मृदा उर्वरता, सतत कृषि

### 1. परिचय

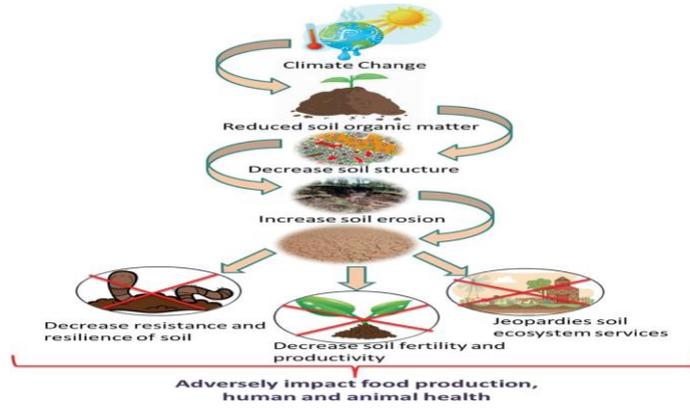
मृदा स्वास्थ्य से तात्पर्य मृदा की उस निरंतर क्षमता से है जिसके द्वारा वह एक जीवित पारितंत्र के रूप में कार्य करते हुए पौधों, पशुओं और मानव जीवन को सहारा देती है। स्वस्थ मृदा जल विनियमन करती है, पौधों की वृद्धि को समर्थन देती है, पोषक तत्वों का चक्रण करती है और एक प्रमुख कार्बन भंडार के रूप में कार्य करती है। किंतु जलवायु परिवर्तन—जो वैश्विक तापमान वृद्धि, वर्षा पैटर्न में बदलाव, चरम मौसम घटनाओं की बढ़ती आवृत्ति तथा

CO<sub>2</sub> स्तर में वृद्धि के रूप में प्रकट होता है—मृदा स्वास्थ्य के लिए एक गंभीर चुनौती बन गया है। कृषि मृदाएँ विशेष रूप से संवेदनशील होती हैं क्योंकि वे सीधे जलवायु परिवर्तनों के संपर्क में रहती हैं। जलवायु में बदलाव मृदा निर्माण प्रक्रियाओं, जैविक गतिविधियों, कार्बनिक पदार्थ गतिकी और पोषक तत्व उपलब्धता को प्रभावित करता है। जलवायु परिवर्तन के कारण मृदा स्वास्थ्य का क्षरण अंततः खाद्य सुरक्षा, किसानों की आजीविका और पर्यावरणीय स्थिरता को खतरे

में डालता है। इन अंतःक्रियाओं को समझना जलवायु-सहिष्णु मृदा प्रबंधन रणनीतियाँ विकसित करने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

### 2. मृदा स्वास्थ्य को प्रभावित करने वाले जलवायु परिवर्तन कारक

जलवायु परिवर्तन कई परस्पर जुड़े हुए कारकों के माध्यम से मृदा स्वास्थ्य को प्रभावित करता है, जो मृदा के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों को प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से बदलते हैं।



Source: <https://link.springer.com>

## 2.1 तापमान में वृद्धि

वैश्विक तापमान में वृद्धि मृदा में जैव-रासायनिक और सूक्ष्मजीवी प्रक्रियाओं को तेज करती है, जिससे मृदा कार्बनिक पदार्थ का तेजी से अपघटन होता है। इससे अस्थायी रूप से पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ सकती है, लेकिन दीर्घकालिक रूप से यह मृदा कार्बन भंडार और उर्वरता को कम कर देता है। उच्च तापमान से वाष्पोत्सर्जन बढ़ता है, जिससे मृदा में नमी की कमी, सूखापन और जल धारण क्षमता में गिरावट आती है। लंबी अवधि की गर्मी मृदा संरचना को कमजोर कर सकती है, क्रस्टिंग बढ़ा सकती है और

विशेष रूप से शुष्क और अर्ध-शुष्क क्षेत्रों में भूमि क्षरण को तीव्र कर सकती है।

## 2.2 वर्षा पैटर्न में बदलाव

जलवायु परिवर्तन अनियमित और अप्रत्याशित वर्षा पैटर्न पैदा कर रहा है, जिसमें बार-बार सूखा और तीव्र वर्षा घटनाएं शामिल हैं। कम वर्षा से मृदा में नमी और सूक्ष्मजीवी गतिविधि कम हो जाती है, जिससे पोषक तत्व खनिजीकरण और पौधों की वृद्धि प्रभावित होती है। इसके विपरीत, भारी वर्षा से रनऑफ, मृदा अपरदन, पोषक तत्वों की धुलन और ऊपरी कार्बनिक पदार्थ से भरपूर मिट्टी का क्षरण बढ़ता है। ये

परिवर्तन मृदा नमी संतुलन को बाधित करते हैं और मृदा गुणवत्ता को गिराते हैं।

## 2.3 वायुमंडलीय CO<sub>2</sub> का उच्च स्तर

वायुमंडलीय CO<sub>2</sub> के बढ़ते स्तर पौधों की वृद्धि और जड़ बायोमास को बढ़ाते हैं, जिससे जड़ और अवशेषों के माध्यम से मृदा में कार्बन का इनपुट बढ़ता है। यह मृदा सूक्ष्मजीव गतिविधि और कार्बन चक्रण को बढ़ा सकता है। हालांकि, यदि बढ़ी हुई बायोमास की मांग पोषक तत्व उपलब्धता के साथ मेल नहीं खाती, तो पोषक तत्व असंतुलन उत्पन्न हो सकता है।



Source: <https://hindi.news18.com>

### 2.4 अत्यधिक मौसम घटनाएं

बार-बार आने वाले बाढ़, सूखा, गर्मी की लहरें और तूफान मृदा अपरदन, क्षारीकरण, संपीड़न और पोषक तत्व हानि को तेज करते हैं। ऐसी घटनाएं मृदा की उर्वरता, लचीलापन और समग्र स्वास्थ्य को गंभीर रूप से कम कर देती हैं।

### 3. जलवायु परिवर्तन का मृदा भौतिक गुणों पर प्रभाव

जलवायु परिवर्तन मृदा के भौतिक गुणों को गहरा प्रभावित करता है, जो मृदा स्वास्थ्य, फसल उत्पादकता और पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता के लिए महत्वपूर्ण हैं। तापमान, वर्षा और चरम मौसम घटनाओं में बदलाव सीधे मृदा संरचना, नमी गतिशीलता और अपरदन प्रक्रियाओं को प्रभावित करते हैं।

#### 3.1 मृदा संरचना और संघनन

मृदा संरचना मृदा कणों के एग्रीगेट्स में व्यवस्थित होने को दर्शाती है, जो जल प्रवाह, वायुरोधन और जड़ प्रवेश को नियंत्रित करती है। जलवायु परिवर्तन से उत्पन्न तापमान और नमी में उतार-चढ़ाव एग्रीगेट्स की स्थिरता को कमजोर करते हैं। बार-बार सूखने और गीला होने के चक्र जैविक पदार्थ और सूक्ष्मजीव पॉलीसेकेराइड्स जैसे बाधक तत्वों को कमजोर करते हैं, जिससे एग्रीगेट टूट जाते हैं। परिणामस्वरूप, मृदा सतह पर क्रस्टिंग और संपीड़न बढ़ता है, जड़ वृद्धि और जल प्रवाह सीमित होता है। खराब मृदा संरचना

अंततः मृदा लचीलापन और उत्पादकता को कम कर देती है।

#### 3.2 मृदा नमी अवस्था

मृदा नमी वर्षा और तापमान में बदलाव के प्रति अत्यधिक संवेदनशील होती है। लंबी अवधि का सूखा मृदा में जल सामग्री को कम करता है, सूक्ष्मजीव गतिविधि को दबाता है और पौधों द्वारा पोषक तत्वों के अवशोषण को सीमित करता है। इसके विपरीत, अत्यधिक या तीव्र वर्षा से मृदा जलभराव होता है, जिससे वायुरोधन और ऑक्सीजन की उपलब्धता कम हो जाती है। अनारबिक परिस्थितियाँ जड़ श्वसन को बाधित करती हैं और पोषक तत्व हानि (लीचिंग और डिनाइट्रिफिकेशन) को बढ़ाती हैं, जिससे पौधों की वृद्धि प्रभावित होती है।

#### 3.3 मृदा अपरदन

जलवायु परिवर्तन पानी और हवा दोनों से मृदा अपरदन को गंभीर रूप से बढ़ाता है। भारी वर्षा सतही बहाव और मृदा कणों के अलगगाव को तेज करती है, जबकि लंबी सूखी अवधि मृदा को नग्न और वायु अपरदन के प्रति संवेदनशील बना देती है। अपरदन से ऊपरी पोषक तत्वों से भरपूर मिट्टी का नुकसान होता है, जिससे कृषि स्थिरता और मृदा उत्पादकता कम हो जाती है।

#### 4. जलवायु परिवर्तन का मृदा रासायनिक गुणों पर प्रभाव

जलवायु परिवर्तन मृदा के रासायनिक गुणों को गहरा प्रभावित करता है, जो सीधे मृदा

उर्वरता, पोषक तत्व उपलब्धता और समग्र मृदा स्वास्थ्य को नियंत्रित करते हैं। तापमान, वर्षा और वायुमंडलीय घटकों में बदलाव मृदा प्रणाली में होने वाली रासायनिक प्रतिक्रियाओं को बदलते हैं और पौधा-मृदा-सूक्ष्मजीव अंतःक्रियाओं को प्रभावित करते हैं।

#### 4.1 मृदा कार्बनिक कार्बन (SOC) गतिशीलता

मृदा कार्बनिक कार्बन (SOC) मृदा स्वास्थ्य का एक महत्वपूर्ण घटक है, जो मृदा सूक्ष्मजीवों के लिए पोषक तत्व और ऊर्जा का भंडार प्रदान करता है। जलवायु परिवर्तन से जुड़ी उच्च तापमान परिस्थितियाँ सूक्ष्मजीव गतिविधि को तेज करती हैं और मृदा कार्बनिक पदार्थ के अपघटन को बढ़ाती हैं। इससे कार्बन का तेजी से ऑक्सीकरण होता है और SOC की महत्वपूर्ण हानि होती है, विशेषकर उष्णकटिबंधीय और उप-उष्णकटिबंधीय क्षेत्रों में। SOC में कमी मृदा उर्वरता को घटाती है, मृदा संरचना को कमजोर करती है, जल धारण क्षमता को कम करती है और एग्रीगेट स्थिरता को घटाती है। समय के साथ SOC में कमी मृदा को अपरदन और सूखे के प्रति कम लचीला बनाती है, जिससे कृषि पारिस्थितिक तंत्र जलवायु की चरम परिस्थितियों के लिए अधिक संवेदनशील हो जाता है।

## 4.2 पोषक तत्व उपलब्धता और चक्रण

जलवायु परिवर्तन पोषक तत्व चक्रण प्रक्रियाओं जैसे खनिजीकरण, स्थिरीकरण, नाइट्रीफिकेशन और डेनाइट्रीफिकेशन को प्रभावित करता है। उच्च तापमान नाइट्रोजन खनिजीकरण की दर को बढ़ाते हैं, जिससे मृदा में नाइट्रेट सांद्रता अधिक हो सकती है। हालांकि, तीव्र वर्षा नाइट्रेट के बहाव (लीचिंग) को बढ़ाती है, जबकि जलभराव डेनाइट्रीफिकेशन हानियों को बढ़ाकर नाइट्रस ऑक्साइड (N<sub>2</sub>O) जैसे शक्तिशाली ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जित करता है। अनियमित वर्षा पैटर्न उर्वरक उपयोग की दक्षता को कम करते हैं और फसलों द्वारा पोषक तत्व अवशोषण में असंतुलन पैदा करते हैं, जिससे उत्पादकता घटती है।

## 4.3 मृदा क्षारीकरण और अम्लीयता

शुष्क और अर्ध-शुष्क क्षेत्रों में बढ़ी हुई वाष्पीकरण दर और कम वर्षा मृदा प्रोफाइल में घुलनशील लवणों के संचय को बढ़ाते हैं, जिससे मृदा क्षारीकरण होता है। समुद्र स्तर में वृद्धि से तटीय क्षेत्रों में लवणीयता और बढ़ती है। इसके अतिरिक्त, बदलते वर्षा पैटर्न और अत्यधिक उर्वरक उपयोग मृदा अम्लीकरण को बढ़ा सकते हैं, जो पोषक तत्व उपलब्धता, सूक्ष्मजीव गतिविधि और फसल वृद्धि को नकारात्मक रूप से प्रभावित करता है।

## 5. मृदा जैविक गुणों पर प्रभाव

## 5.1 मृदा सूक्ष्मजीव गतिविधि

मृदा सूक्ष्मजीव कार्बनिक पदार्थ अपघटन, पोषक तत्व चक्रण और मृदा संरचना निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। जलवायु परिवर्तन सूक्ष्मजीव जनसंख्या, विविधता और कार्यक्षमता को प्रभावित करता है। उच्च तापमान और नमी की कमी से उनकी दक्षता और लचीलापन कम हो जाता है।

## 5.2 मृदा जीवजन्तु

केंचुएँ और अन्य मृदा जीवजन्तु मृदा वायुरोधन और एग्रीगेशन को बेहतर बनाते हैं। अत्यधिक तापमान, सूखा और बाढ़ इनके जनसंख्या को घटाते हैं, जिससे मृदा जैविक प्रक्रियाएँ कमजोर होती हैं।

## 5.3 राइजोफेयर अंतःक्रियाएँ

जलवायु परिवर्तन जड़ वृद्धि और जड़ उत्सर्जन पैटर्न को प्रभावित करता है, जिससे राइजोफेयर सूक्ष्मजीव समुदाय और पोषक तत्व अवशोषण दक्षता पर प्रभाव पड़ता है।

## 6. जलवायु परिवर्तन, मृदा स्वास्थ्य और फसल उत्पादकता

क्षतिग्रस्त मृदा स्वास्थ्य सीधे फसल उत्पादकता और स्थिरता को प्रभावित करता है। मृदा में नमी की कमी, पोषक तत्व असंतुलन, कार्बनिक पदार्थ की हानि और अपरदन में वृद्धि के कारण फसल की पैदावार घटती है और उत्पादन जोखिम बढ़ जाता है। जलवायु से प्रभावित मृदा की कीट, रोग और चरम मौसमों के प्रति सहनशीलता कम हो जाती है, जिससे बाहरी

इनपुट पर निर्भरता बढ़ती है और उत्पादन लागत बढ़ जाती है।

## 7. मृदा स्वास्थ्य और जलवायु परिवर्तन फीडबैक तंत्र

मृदा ग्रीनहाउस गैसों का स्रोत और भंडार दोनों के रूप में कार्य करता है। क्षतिग्रस्त मृदा CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> और N<sub>2</sub>O को वायुमंडल में छोड़ते हैं, जिससे जलवायु परिवर्तन तेज होता है। इसके विपरीत, स्वस्थ मृदा जिनमें अधिक कार्बनिक कार्बन होता है, कार्बन का भंडारण करती है, जो जलवायु परिवर्तन को कम करने में मदद करता है। इसलिए, मृदा स्वास्थ्य प्रबंधन जलवायु परिवर्तन शमन रणनीतियों का केंद्रीय हिस्सा है।

## 8. मृदा स्वास्थ्य की रक्षा के लिए अनुकूलन और शमन रणनीतियाँ

जलवायु परिवर्तन मृदा स्वास्थ्य के लिए गंभीर चुनौतियाँ प्रस्तुत करता है, लेकिन उचित अनुकूलन और शमन रणनीतियाँ इसके प्रतिकूल प्रभावों को काफी हद तक कम कर सकती हैं। सतत मृदा प्रबंधन अभ्यास न केवल जलवायु परिवर्तन के प्रति लचीलापन बढ़ाते हैं, बल्कि कार्बन संग्रहण के माध्यम से जलवायु परिवर्तन शमन में भी योगदान देते हैं।

## 8.1 संरक्षण कृषि

संरक्षण कृषि मृदा स्वास्थ्य की रक्षा के लिए एक मुख्य रणनीति है। न्यूनतम या शून्य जुताई मृदा को कम परेशान करती है, मृदा संरचना और एग्रीगेट स्थिरता बनाए रखती है। फसल अवशेषों का संरक्षण मृदा सतह को चरम

तापमान और अपरदनकारी वर्षा से बचाता है और कार्बनिक पदार्थ की मात्रा बढ़ाता है। फसल चक्रीकरण मृदा जैव विविधता को बढ़ाता है, कीट और रोग चक्र को तोड़ता है और पोषक तत्व उपयोग दक्षता को सुधारता है। ये उपाय मृदा अपरदन को कम करते हैं, जल प्रवाह को बढ़ाते हैं और दीर्घकालिक मृदा उत्पादकता सुधारते हैं।

### 8.2 कार्बनिक पदार्थ प्रबंधन

कार्बनिक पदार्थ प्रबंधन मृदा को जलवायु दबाव के प्रति अधिक लचीला बनाता है। खाद, गोबर की खाद, हरी खाद और कवर क्रॉप्स का उपयोग मृदा कार्बनिक कार्बन (SOC) बढ़ाता है, जो जल धारण क्षमता, पोषक तत्व उपलब्धता और सूक्ष्मजीव गतिविधि को सुधारता है। अधिक कार्बनिक पदार्थ मृदा तापमान के उतार-चढ़ाव को संतुलित करता है और मृदा संरचना को मजबूत बनाता है, जिससे सूखा और भारी वर्षा की घटनाओं के प्रति मृदा अधिक प्रतिरोधी होती है।

### 8.3 जलवायु-स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन

जलवायु-स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन का उद्देश्य उर्वरक उपयोग को अनुकूल बनाना और पर्यावरणीय हानियों को कम करना है। मृदा परीक्षण, फसल की आवश्यकता और मौसम पूर्वानुमान के आधार पर सटीक उर्वरक प्रबंधन पोषक

तत्वों की धुलन और गैसीय उत्सर्जन को कम करता है। जैव उर्वरक और संयुक्त पोषक तत्व प्रबंधन (ऑर्गेनिक और इनऑर्गेनिक स्रोतों का संयोजन) पोषक तत्व चक्रण को बढ़ाता है और नाइट्रस ऑक्साइड (N<sub>2</sub>O) जैसे ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन को घटाता है।

### 8.4 जल प्रबंधन

अनियमित वर्षा पैटर्न में कुशल जल प्रबंधन अत्यंत महत्वपूर्ण है। वर्षा जल संचयन, मल्टिचिंग, कंटूर खेती और सूक्ष्म सिंचाई प्रणाली मृदा नमी बनाए रखने और अपरदन रोकने में मदद करती हैं। ये उपाय पौधों की जड़ वृद्धि और सूक्ष्मजीव प्रक्रियाओं को बनाए रखते हुए सूखा या अत्यधिक वर्षा की परिस्थितियों में भी मृदा जल की पर्याप्त उपलब्धता सुनिश्चित करते हैं।

### 8.5 एग्रोफॉरेस्ट्री और भूमि उपयोग योजना

एग्रोफॉरेस्ट्री प्रणाली में पेड़ों को फसल और पशुपालन के साथ जोड़ा जाता है, जिससे मृदा स्वास्थ्य के कई लाभ मिलते हैं। पेड़ों की जड़ें मृदा संरचना को सुधारती हैं, अपरदन को कम करती हैं और गहरी मिट्टी से पोषक तत्वों का पुनर्चक्रण बढ़ाती हैं। इसके अलावा, एग्रोफॉरेस्ट्री कार्बन संग्रहण, जैव विविधता और प्रणाली लचीलापन को बढ़ावा देती है, जो बदलती जलवायु में सतत भूमि

उपयोग के लिए प्रभावी रणनीति है।

### 9. भविष्य की दृष्टि

**जलवायु परिवर्तन के तहत मृदा स्वास्थ्य को मजबूत करने के लिए आवश्यक हैं:**

- जलवायु-सहिष्णु मृदा प्रबंधन तकनीकों को अपनाना
- पारंपरिक ज्ञान और आधुनिक विज्ञान का समन्वय
- डिजिटल उपकरण, सेंसर और निर्णय-समर्थन प्रणाली का उपयोग
- मृदा संरक्षण और कार्बन खेती के लिए नीतिगत समर्थन
- किसानों में जागरूकता और क्षमता निर्माण

### 10. निष्कर्ष

जलवायु परिवर्तन मृदा के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों को बदलकर मृदा स्वास्थ्य को गंभीर रूप से प्रभावित करता है। मृदा स्वास्थ्य का क्षरण कृषि उत्पादकता, खाद्य सुरक्षा और पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता को कमजोर करता है। हालांकि, सतत मृदा प्रबंधन अभ्यास मृदा की लचीलापन बढ़ा सकते हैं, कार्बन संग्रहण में सुधार कर सकते हैं और जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को कम कर सकते हैं। मृदा स्वास्थ्य की सुरक्षा और पुनर्स्थापना जलवायु-स्मार्ट और सतत कृषि विकास रणनीतियों का केंद्रीय हिस्सा होना चाहिए।