e-ISSN: 3048-8796

मृदा प्रदूषण के पर्यावरणीय प्रभाव एवं सतत समाधान: एक बहुआयामी विश्लेषण

पुनिता धनकड

विद्यावाचस्पति छात्रा (मृदा विज्ञान एवं कृषि रसायन विभाग), स्वामी केशवानंद राजस्थान कृषि विश्वविद्यालय, बीकानेर, राजस्थान - 334006

मृदा प्रदूषण (Soil Pollution) मृदा के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों में होने वाले अवांछनीय परिवर्तन को कहा जाता है, जो मिट्टी की उर्वरता और उत्पादकता को प्रभावित करते हैं मृदा प्रदूषक मिट्टी के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों पर प्रतिकूल प्रभाव डालते हैं, जिससे उसकी उत्पादकता में कमी आती है।

कीटनाशक, उर्वरक, जैविक खाद, विभिन्न रसायन, रेडियोधर्मी अपशिष्ट, फेंका हुआ भोजन, कपड़े, चमड़े के उत्पाद, प्लास्टिक, कागज, बोतलें, टिन–कैन तथा पशुओं के अवशेष आदि सभी मृदा प्रदूषण में योगदान करते हैं। मृदा प्रदूषण के मुख्य स्रोत मानवजनित (Anthropogenic) होते हैं, जिसके कारण मिट्टी में प्रदूषकों का संचय होता है और ये खतरनाक स्तर तक पहुँच सकते हैं। ये प्रदूषक भारी धातुओं जैसे सीसा (Lead), आर्सेनिक (Arsenic) और कैडमियम (Cadmium) तथा कीटनाशकों जैसे हानिकारक पदार्थों को मिट्टी में मिला देते हैं, जिससे दीर्घकालिक पारिस्थितिक क्षति होती है।

मृदा प्रदूषण के प्रभाव बहुआयामी होते हैं, जो मानव स्वास्थ्य (जैसे त्वचा कैंसर, श्वसन रोग), जल गुणवत्ता (बहाव के माध्यम से जल प्रदूषण), कृषि (उपज और पोषक गुणवत्ता में कमी) तथा जैव विविधता (मृदा सूक्ष्मजीवों और पौधों की वृद्धि पर प्रभाव) को प्रभावित करते हैं।

मृदा प्रदूषण को नियंत्रित करने के लिए विभिन्न सुधार तकनीकों (Remediation Techniques) का उपयोग किया जाता है, जिनमें भौतिक विधियाँ (Physical method), जैविक विधियाँ (Biological methods), रासायनिक विधियाँ (Chemical methods) और तापीय विधियाँ (Thermal methods) शामिल हैं अंततः निष्कर्ष यह है कि मृदा प्रदूषण को कम करने के लिए सतत कृषि पद्धतियों, प्रभावी अपशिष्ट प्रबंधन तथा उन्नत सुधार तकनीकों को अपनाना अत्यंत आवश्यक है, ताकि भविष्य की पीढ़ियों के लिए मृदा स्वास्थ्य और उत्पादकता को सुरक्षित रखा जा सके।

मृदा प्रदूषण के कारण (Causes of Soil Pollution)

(A) प्राकृतिक कारण (Natural Causes)

- बाढ़ (Flooding)
- ज्वालामुखी विस्फोट (Volcanic Eruptions)
- मृदा अपरदन (Soil Erosion)
- लवणता (Salinity)
- क्षारीयता (Alkalinity)
- अम्लीयता (Acidity)

(B) मानवजनित कारण (Man & made Causes)

- रासायनिक उर्वरकों और कीटनाशकों का अत्यधिक उपयोग
- औद्योगिक अपशिष्ट और उत्सर्जन (Industrial Waste and Effluents)
- खनन और गलन गतिविधियाँ (Mining and Smelting Activities)
- वनों की कटाई (Deforestation)
- ठोस अपशिष्ट का अनुचित निपटान (Improper Disposal of Solid Waste)
- सीवेज स्लज और अपशिष्ट जल सिंचाई (Sewage Sludge and Wastewater Irrigation)
- तेल रिसाव और पेट्रोलियम उत्पाद (Oil Spills and Petroleum Products)

(A) प्राकृतिक कारण (Natural Causes)

ज्वालामुखी विस्फोट (Volcanic Eruptions)

विस्फोट के दौरान राख (Ash) और गैसें वायुमंडल में निकलती हैं, जो बाद में मिट्टी पर जमा हो जाती हैं। इन पदार्थों में कई बार भारी धातुएँ और अन्य हानिकारक तत्व पाए जाते हैं, जो मृदा की संरचना और उर्वरता को प्रभावित कर सकते हैं। इससे मिट्टी के पोषक तत्वों का संतुलन बिगड़ जाता है और कृषि उत्पादकता पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है।

बाढ़ (Flooding)

बाढ़ के पानी के साथ विभिन्न प्रकार के प्रदूषक जैसे कृषि भूमि, शहरी क्षेत्रों और औद्योगिक इकाइयों से आए हानिकारक पदार्थ भी बहकर मिट्टी में जमा हो जाते हैं। इससे मिट्टी प्रदूषित हो जाती है। साथ ही, बाढ़ पहले से मौजूद मिट्टी के प्रदूषकों को भी एक स्थान से दूसरे स्थान तक फैलाकर अधिक व्यापक क्षेत्र को प्रभावित कर सकती है।

(B) मानवजनित कारण (Man & made Causes)

रासायनिक उर्वरकों और कीटनाशकों का अत्यधिक उपयोग

आधुनिक गहन कृषि में अधिक उत्पादन के लिए रासायनिक उर्वरकों और कीटनाशकों का अत्यधिक उपयोग मृदा प्रदूषण का प्रमुख कारण है। ये रसायन धीरे–धीरे मिट्टी में जमा होकर उसके प्राकृतिक पोषक संतुलन को बिगाड़ देते हैं। कीटनाशक लाभकारी सूक्ष्मजीवों और केंचुओं को भी नष्ट कर देते हैं, जिससे मिट्टी की उर्वरता और संरचना कमजोर हो जाती है। परिणामस्वरूप फसलें भी प्रदूषित होती हैं और मानव व पशु स्वास्थ्य पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है।

औद्योगिक अपशिष्ट और उत्सर्जन (Industrial Waste and Effluents)

औद्योगिक गतिविधियाँ मृदा प्रदूषण का एक प्रमुख स्रोत हैं, क्योंकि उद्योगों से निकलने वाले अपशिष्ट अक्सर बिना या आंशिक उपचार के भूमि में छोड़ दिए जाते हैं। इनमें सीसा, पारा, कैडमियम, क्रोमियम और आर्सेनिक जैसी विषैली भारी धातुएँ होती हैं, जो मिट्टी को स्थायी रूप से प्रदूषित कर देती हैं।

ठोस अपशिष्ट का अनुचित निपटान (Improper Disposal of Solid Waste)

शहरी और अर्ध–शहरी क्षेत्रों में नगरपालिका ठोस अपशिष्ट का अवैज्ञानिक निपटान मृदा प्रदूषण का एक बड़ा कारण है। घरेलू कचरा, प्लास्टिक, पॉलीथीन बैग, कांच, निर्माण मलबा, जैव–चिकित्सकीय अपशिष्ट और इलेक्ट्रॉनिक कचरा अक्सर बिना किसी पृथक्करण या उपचार के खुले डंपिंग स्थलों पर फेंक दिया जाता है।जैसे–जैसे ये अपशिष्ट सड़ते हैं, ये हानिकारक रसायन और लीचेट (Leachate) छोड़ते हैं जो मिट्टी में रिस जाते हैं। प्लास्टिक और ई–वेस्ट लंबे समय तक मिट्टी में बने रहते हैं और डाइऑक्सिन तथा भारी धातुओं जैसे विषैले पदार्थ छोड़ते हैं, जिससे मिट्टी की गुणवत्ता गंभीर रूप से खराब होती है और उसकी उत्पादकता घट जाती है

खनन और गलन गतिविधियाँ (Mining and Smelting Activities)

खनन और धातु गलन (melting) गतिविधियाँ प्राकृतिक मृदा संरचना को बाधित करती हैं और बड़े पैमाने पर भूमि क्षरण का कारण बनती हैं। खनन के दौरान ऊपरी उपजाऊ मिट्टी (ज्वचेवपस) को हटा दिया जाता है, जिससे मिट्टी की संरचना और उर्वरता नष्ट हो जाती है।

धातु अयस्कों के गलन के दौरान निकलने वाली धूल और गैसों में भारी धातुएँ और सल्फर यौगिक होते हैं, जो आसपास की मिट्टी पर जमा हो जाते हैं। इससे मिट्टी की अम्लीयता (Acidity) बढ़ जाती है और भूमि कृषि के लिए अनुपयुक्त हो जाती है। एसिड माइन ड्रेनेज (Acid Mine Drainage) भी मिट्टी और भूजल को प्रदूषित कर दीर्घकालिक पर्यावरणीय क्षति पहुँचाता है

सीवेज स्लज और अपशिष्ट जल सिंचाई (Sewage Sludge and Wastewater Irrigation)

अनुपचारित या आंशिक रूप से उपचारित सीवेज स्लज और अपशिष्ट जल का सिंचाई में उपयोग मृदा प्रदूषण का एक महत्वपूर्ण स्रोत है। यद्यपि सीवेज जल में पौधों के लिए उपयोगी पोषक तत्व होते हैं, लेकिन इसमें हानिकारक रोगाणु, कार्बनिक प्रदूषक और भारी धातुएँ भी मौजूद होती हैं।इस प्रकार के अपशिष्ट जल से लगातार सिंचाई करने पर मिट्टी में विषैले पदार्थों का संचय हो जाता है। इससे मिट्टी की गुणवत्ता खराब होती है, फसलें प्रदूषित होती हैं और मनुष्यों एवं पशुओं में रोग फैलने का खतरा बढ़ जाता है।

तेल रिसाव और पेट्रोलियम उत्पाद (Oil Spills and Petroleum Products)

तेल रिसाव और पेट्रोलियम उत्पादों का रिसाव विशेष रूप से रिफाइनरियों, पेट्रोल पंपों और परिवहन मार्गों के आसपास मृदा प्रदूषण का एक महत्वपूर्ण कारण है। भूमिगत भंडारण टैंकों और पाइपलाइनों से रिसने वाला हाइड्रोकार्बन मिट्टी में मिल जाता है।ये पदार्थ मिट्टी के कणों को ढक लेते हैं, उसकी छिद्रता (Porosity) को कम करते हैं और हवा तथा पानी के प्रवाह को बाधित करते हैं। परिणामस्वरूप पौधों की वृद्धि प्रभावित होती है और मिट्टी जैविक रूप से निष्क्रिय (Biologically inactive) हो जाती है।

मृदा प्रदूषण के प्रभाव (Effects of Soil Pollution)

मृदा प्रदूषण मिट्टी की गुणवत्ता को प्रभावित करने के साथ–साथ कृषि उत्पादन, मानव स्वास्थ्य और पर्यावरणीय संतुलन पर भी गहरा असर डालता है। इसके प्रमुख प्रभाव इस प्रकार हैं।

1. मृदा की उर्वरता में गिरावट

मृदा प्रदूषण के कारण मिट्टी में मौजूद आवश्यक पोषक तत्व और जैविक पदार्थ कम हो जाते हैं। इससे मिट्टी की उत्पादन क्षमता घट जाती है।

2. सूक्ष्मजीवों पर नकारात्मक असर

मिट्टी में पाए जाने वाले लाभकारी सूक्ष्मजीव और केंचुए विषैले पदार्थों के कारण नष्ट हो जाते हैं, जिससे मिट्टी का प्राकृतिक संतुलन बिगड़ जाता है।

3. फसल उत्पादन और गुणवत्ता पर प्रभाव

प्रदूषित मिट्टी में पौधों की वृद्धि ठीक से नहीं हो पाती। फसलें कमजोर हो जाती हैं, पत्तियाँ पीली पड़ जाती हैं और उत्पाद की गुणवत्ता भी खराब हो जाती है।

4. खाद्य श्रृंखला में प्रदूषण

कीटनाशक और भारी धातुएँ पौधों के माध्यम से खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर जाती हैं और जैव–संचय (Bioaccumulation) के कारण ऊपरी जीवों तक पहुँचती हैं, जिससे खतरा बढ़ता है।

5. मानव स्वास्थ्य पर दुष्प्रभाव

ऐसी मिट्टी से प्राप्त खाद्य पदार्थों का सेवन करने से कैंसर, किडनी से जुड़ी बीमारियाँ, तंत्रिका तंत्र की समस्या और हार्मोन असंतुलन जैसी समस्याएँ हो सकती हैं।

6. भूजल का प्रदूषण

मिट्टी में मौजूद हानिकारक रसायन धीरे–धीरे रिसकर भूजल को भी दूषित कर देते हैं, जिससे पीने और सिंचाई का पानी प्रभावित होता है।

7. मिट्टी की संरचना में खराबी

लवणता, अम्लीयता और रासायनिक प्रदूषण के कारण मिट्टी की बनावट बिगड़ जाती है, जिससे उसमें हवा और पानी का प्रवाह कम हो जाता है।

8. पर्यावरणीय असंतुलन

मृदा प्रदूषण से जैव विविधता घटती है और पूरे पारिस्थितिकी तंत्र का संतुलन प्रभावित होता है।

मृदा प्रदूषण के उपाय (Remedies for Soil Pollution)

1. भौतिक सुधार तकनीकें (Physical Remediation Techniques)

भौतिक विधियों में प्रदूषित मिट्टी से दूषकों को हटाया या नियंत्रित किया जाता है, बिना उनकी रासायनिक संरचना बदले। यह तकनीकें सीधे भौतिक प्रक्रियाओं पर आधारित होती हैं।

(i) खुदाई और निष्कासन (Excavation and Removal)

(ii) मृदा वाष्प निष्कर्षण (Soil Vapour Extraction & SVE)

(iii) मृदा धुलाई (Soil Washing)

(iv) मृदा वेंटिंग (Soil Venting)

2. जैविक सुधार तकनीकें (Biological Remediation Techniques of Soil Pollution)

मृदा प्रदूषण के जैविक सुधार में विभिन्न जीवित जीवों जैसे बैक्टीरिया, फफूंद (fungi), पौधे तथा अन्य सूक्ष्मजीवों का उपयोग किया जाता है। ये जीव मिट्टी में मौजूद प्रदूषकों को तोड़ने परिवर्तित करने (metabolize) या उन्हें निष्क्रिय (immobilize) करने में सहायता करते हैं।

(i) फाइटोरेमेडिएशन (Phytoremediation)

(ii) बायोरेमेडिएशन (Bioremediation)

(iii) वर्मिरेमेडिएशन (Vermiremediation)

(iv) माइकोरेमेडिएशन (Mycoremediation)

3. रासायनिक सुधार तकनीकें (Chemical Remediation Techniques of Soil Pollution)

मृदा प्रदूषण के रासायनिक सुधार में विभिन्न रासायनिक पदार्थों का उपयोग करके मिट्टी में मौजूद प्रदूषकों को निष्क्रिय (neutralize) , स्थिर (stabilize) या कम हानिकारक रूप में परिवर्तित किया जाता है। इस प्रकार की तकनीकें विशेष रूप से भारी धातुओं और जटिल रासायनिक प्रदूषकों के उपचार में उपयोगी होती हैं।

(i) रासायनिक ऑक्सीकरण (Chemical Oxidation)

इस विधि में मजबूत ऑक्सीकारक (oxidizing agents) जैसे हाइड्रोजन पेरॉक्साइड, ओजोन या पोटैशियम परमैंगनेट का उपयोग किया जाता है। ये पदार्थ मिट्टी में मौजूद विषैले कार्बनिक प्रदूषकों को ऑक्सीकरण द्वारा तोड़कर उन्हें कम हानिकारक यौगिकों में बदल देते हैं।

(ii) रासायनिक अपचयन (Chemical Reduction)

(iii) रासायनिक अवक्षेपण (Chemical Precipitation)

4. तापीय सुधार तकनीकें (Thermal Remediation of Soil Pollution)

मृदा प्रदूषण के तापीय सुधार में ऊष्मा (Heat) का उपयोग करके मिट्टी में मौजूद प्रदूषकों को वाष्पित (volatilize) किया जाता है या उन्हें विघटित (decompose) कर कम हानिकारक पदार्थों में बदला जाता है। यह विधि विशेष रूप से उन प्रदूषकों के लिए उपयोगी होती है जो जैविक या रासायनिक तरीकों से आसानी से नष्ट नहीं होते।

(i) थर्मल डीसॉर्प्शन (Thermal Desorption)

इस प्रक्रिया में प्रदूषित मिट्टी को नियंत्रित तापमान पर गर्म किया जाता है, जिससे उसमें मौजूद वाष्पशील प्रदूषक गैस के रूप में अलग हो जाते हैं। बाद में इन गैसों को एकत्र करके सुरक्षित रूप से उपचारित किया जाता है।

(ii) तापीय उपचार (Thermal Treatment)

विधि में उच्च तापमान का उपयोग करके मिट्टी में मौजूद प्रदूषकों को नष्ट या रूपांतरित किया जाता है। इसके अंतर्गत निम्नलिखित प्रक्रियाएँ आती हैं:

(a) दहन (Incineration)

(b) पायरोलाइसिस (Pyrolysis)

(iii) इन्फ्रारेड हीटिंग (Infrared Heating)

निष्कर्ष (Conclusion)

मृदा प्रदूषण एक गंभीर पर्यावरणीय समस्या है, जो औद्योगिक अपशिष्ट, कृषि में रसायनों के अत्यधिक उपयोग, वनों की कटाई, शहरीकरण तथा कचरे के अनुचित निपटान के कारण उत्पन्न होती है। यह स्थिति मिट्टी की उर्वरता को कम कर देती है, पारिस्थितिक तंत्र को असंतुलित करती है, तथा भोजन और जल स्रोतों को प्रदूषित करती है। इसके साथ ही यह मनुष्यों और पशुओं के स्वास्थ्य के लिए भी गंभीर खतरा पैदा करती है।यदि इस समस्या पर समय रहते नियंत्रण नहीं पाया गया, तो यह दीर्घकालिक पर्यावरणीय क्षति का कारण बन सकती है और कृषि उत्पादन में कमी लाकर खाद्य सुरक्षा तथा जैव विविधता (biodiversity) को भी प्रभावित कर सकती है।इस समस्या से निपटने के लिए निम्नलिखित कदम अत्यंत आवश्यक हैंरू

- सतत कृषि पद्धतियाँ (Sustainable Agricultural Practices)
- प्रभावी अपशिष्ट प्रबंधन (Effective Waste Management)
- उन्नत सुधार तकनीकें (Advanced Remediation Techniques)
- पारिस्थितिकी तंत्र संरक्षण (Ecosystem Conservation)

इन सभी रणनीतियों को एक साथ अपनाकर मृदा प्रदूषण की समस्या को काफी हद तक कम किया जा सकता है। इससे पर्यावरण की रक्षा होगी और आने वाली पीढ़ियों के लिए एक स्वस्थ एवं सतत भविष्य सुनिश्चित किया जा सकेगा।

Corresponding E-mail:
dhankarpunita@gmail.com