



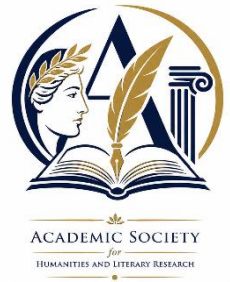
International Journal of Humanities, Social Sciences and Literary Research

(An International Peer-Reviewed (Refereed) Journal)

Website: www.ijhslr.org/

E-mail: editorinchief@ijhslr.org

ISSN (Online): 3139-3225



औद्योगिक प्रदूषण और इसका पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रभाव: एक समीक्षा

डॉ प्रतिभा बैरवा¹, डॉ संजय सिंह राघव² *

¹सहायक आचार्य भूगोल, राजकीय कन्या महाविद्यालय धौलपुर, जिला-धौलपुर (राजस्थान)

²सहायक प्राध्यापक भूगोल, शासकीय महाविद्यालय बदरवास, जिला- शिवपुरी (म.प्र.)

ईमेल- sanjayraghavsingh13@gmail.com

Received: 08 February 2026, Revised: 25 February 2026, Accepted: 28 February 2026, Available Online: 01 March 2026

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20961081>

सारांश

औद्योगिकीकरण आधुनिक आर्थिक विकास का प्रमुख आधार है, जिसने उत्पादन क्षमता, तकनीकी नवाचार, रोज गार सृजन तथा आधारभूत संरचना के विकास में महत्वपूर्ण योगदान दिया है। इसके साथ ही औद्योगिक गतिविधियों के विस्तार ने वायु, जल, मृदा, ध्वनि तथा रासायनिक प्रदूषण जैसी पर्यावरणीय समस्याओं को भी गंभीर रूप से बढ़ाया है। इन प्रदूषकों का प्रभाव केवल मानव स्वास्थ्य तक सीमित नहीं है, बल्कि संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना, कार्यप्रणाली तथा स्थिरता को भी प्रभावित करता है। औद्योगिक अपशिष्टों एवं प्रदूषकों के कारण जैव विविधता में कमी, प्राकृतिक आवासों का विनाश, मृदा की उर्वरता में गिरावट, जल निकायों का प्रदूषण, खाद्य श्रृंखला में जैव-संचयन तथा पारिस्थितिक संतुलन का विघटन जैसी समस्याएँ निरंतर बढ़ रही हैं। परिणामस्वरूप पारिस्थितिकी तंत्र द्वारा प्रदान की जाने वाली आवश्यक सेवाएँ, जैसे स्वच्छ जल, स्वच्छ वायु, परागण, पोषक तत्वों का चक्रण तथा जलवायु विनियमन भी प्रभावित हो रहे हैं। प्रस्तुत समीक्षा अध्ययन का उद्देश्य औद्योगिक प्रदूषण के विभिन्न स्वरूपों तथा उनके पारिस्थितिकी तंत्र पर पड़ने वाले प्रभावों का समग्र एवं आलोचनात्मक विश्लेषण प्रस्तुत करना है। अध्ययन में राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय स्तर पर प्रकाशित शोध लेखों, पुस्तकों, सरकारी प्रतिवेदनों तथा अंतरराष्ट्रीय संस्थाओं की रिपोर्टों का तुलनात्मक अध्ययन किया गया है। उपलब्ध साहित्य के आधार पर औद्योगिक प्रदूषण के प्रमुख स्रोतों, प्रदूषकों की प्रकृति, पारिस्थितिक तंत्र पर उनके प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष प्रभावों, जैव विविधता के क्षरण, खाद्य श्रृंखला में विषैले तत्वों के संचयन तथा वैश्विक पर्यावरण

णीय चुनौतियों के साथ उनके अंतर्संबंधों का विश्लेषण किया गया है। अध्ययन में प्रदूषण नियंत्रण तकनीकों, हरित औद्योगिकीकरण, पर्यावरणीय नीतियों तथा सतत विकास की अवधारणा की भी समीक्षा की गई है। समीक्षा से यह स्पष्ट होता है कि औद्योगिक विकास एवं पर्यावरण संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित किए बिना पारिस्थितिक स्थिरता सुनिश्चित नहीं की जा सकती। स्वच्छ उत्पादन तकनीकों का उपयोग, प्रभावी अपशिष्ट प्रबंधन, कठोर पर्यावरणीय नियमन, संसाधनों का पुनर्चक्रण, नवीकरणीय ऊर्जा का विस्तार तथा पर्यावरणीय उत्तरदायित्व को बढ़ावा देकर औद्योगिक प्रदूषण के दुष्प्रभावों को उल्लेखनीय रूप से कम किया जा सकता है। अध्ययन के निष्कर्ष नीति-निर्माताओं, पर्यावरण वैज्ञानिकों, उद्योगों तथा शोधकर्ताओं के लिए उपयोगी मार्गदर्शन प्रदान करते हैं तथा सतत औद्योगिक विकास एवं पारिस्थितिकी तंत्र के संरक्षण की दिशा में महत्वपूर्ण वैचारिक आधार उपलब्ध कराते हैं।

मुख्य शब्द: औद्योगिक प्रदूषण, पारिस्थितिकी तंत्र, पर्यावरणीय प्रदूषण, जैव विविधता, पारिस्थितिक संतुलन, वायु प्रदूषण, जल प्रदूषण, मृदा प्रदूषण, जैव-संचयन, सतत विकास, पर्यावरण संरक्षण।

1. परिचय

औद्योगिकीकरण आधुनिक आर्थिक विकास, तकनीकी प्रगति, रोजगार सृजन तथा आधारभूत संरचना के विस्तार का एक प्रमुख आधार रहा है। औद्योगिक क्रांति के बाद विश्व के अधिकांश देशों में उत्पादन प्रणाली, ऊर्जा उपयोग, परिवहन, नगरीकरण तथा उपभोग के स्वरूप में व्यापक परिवर्तन आया। भारत जैसे विकासशील देशों में भी औद्योगिक क्षेत्र ने आर्थिक वृद्धि, निर्यात, शहरी विकास तथा आजीविका के अवसरों को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। इसके बावजूद तीव्र औद्योगिक विस्तार ने पर्यावरणीय प्रदूषण, प्राकृतिक संसाधनों के क्षरण तथा पारिस्थितिकी तंत्र के असंतुलन जैसी गंभीर चुनौतियों को जन्म दिया है [1]।

औद्योगिक प्रदूषण से आशय उन प्रदूषकों से है जो औद्योगिक उत्पादन, प्रसंस्करण, ऊर्जा उत्पादन, खनन, रासायनिक निर्माण, धातु प्रसंस्करण तथा अपशिष्ट निपटान जैसी गतिविधियों से उत्पन्न होते हैं। इन प्रदूषकों में गैसीय उत्सर्जन, औद्योगिक अपशिष्ट जल, ठोस अपशिष्ट, भारी धातुएँ, रासायनिक अवशेष, ध्वनि प्रदूषण तथा तापीय प्रदूषण सम्मिलित हैं। तापीय विद्युत संयंत्र, इस्पात उद्योग, सीमेंट उद्योग, पेट्रोकेमिकल उद्योग, वस्त्र उद्योग, चमड़ा उद्योग, कागज उद्योग तथा खनन क्षेत्र औद्योगिक प्रदूषण के प्रमुख स्रोत माने जाते हैं [2]। पारिस्थितिकी तंत्र जैविक एवं अजैविक घटकों की एक परस्पर संबंधित प्रणाली है, जिसमें जीव-जंतु, वनस्पतियाँ, सूक्ष्मजीव, जल, वायु, मृदा, तापमान तथा ऊर्जा प्रवाह एक-दूसरे से जुड़े होते हैं। यह तंत्र स्वच्छ वायु, स्वच्छ जल, मृदा निर्माण, पोषक तत्वों का चक्रण, परागण, जलवायु विनियमन तथा जैव विविधता संरक्षण जैसी महत्वपूर्ण पारिस्थितिक सेवाएँ प्रदान करता है। जब औद्योगिक प्रदूषकों की मात्रा प्राकृतिक वहन क्षमता से अधिक हो जाती है, तब पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना, कार्यप्रणाली और स्थिरता प्रभावित होने लगती है [3]।

वायु प्रदूषण औद्योगिक प्रदूषण का सबसे व्यापक और प्रत्यक्ष रूप है। उद्योगों से उत्सर्जित सल्फर डाइऑक्साइड, नाइट्रोजन ऑक्साइड, कार्बन मोनोऑक्साइड, कार्बन डाइऑक्साइड, सूक्ष्म कण तथा वाष्पशील कार्बनिक यौगिक वायुमंडलीय गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं। इन प्रदूषकों के कारण अम्लीय वर्षा, धुंध, जलवायु परिवर्तन, वनस्पति क्षति तथा स्थलीय और जलीय पारिस्थितिकी तंत्रों में रासायनिक असंतुलन उत्पन्न होता है [4]। वायु प्रदूषकों का

प्रभाव केवल मानव स्वास्थ्य तक सीमित नहीं रहता, बल्कि पौधों की प्रकाश संश्लेषण क्षमता, पत्तियों की संरचना, मिट्टी की अम्लता तथा जल निकायों की गुणवत्ता को भी प्रभावित करता है [5]।

जल प्रदूषण औद्योगिक गतिविधियों का एक अन्य गंभीर परिणाम है। अनेक उद्योगों से निकलने वाला अनुपचारित या आंशिक रूप से उपचारित अपशिष्ट जल नदियों, झीलों, तालाबों तथा भूजल स्रोतों में मिलकर जलीय पारिस्थितिकी को प्रभावित करता है। औद्योगिक अपशिष्ट जल में भारी धातुएँ, अम्लीय पदार्थ, क्षारीय पदार्थ, रंजक, कार्बनिक रसायन तथा विषैले यौगिक पाए जाते हैं। इनके कारण जल में घुलित ऑक्सीजन की मात्रा घटती है, जलीय जीवों की मृत्यु होती है, शैवाल वृद्धि असंतुलित होती है तथा जल-आधारित खाद्य श्रृंखला प्रभावित होती है [6]। मृदा प्रदूषण भी औद्योगिक प्रदूषण का दीर्घकालिक और गंभीर प्रभाव है। औद्योगिक ठोस अपशिष्ट, राख, रासायनिक अवशेष, भारी धातुएँ तथा खनन अपशिष्ट मृदा में जमा होकर उसकी भौतिक, रासायनिक एवं जैविक संरचना को बदल देते हैं। इससे मृदा की उर्वरता घटती है, सूक्ष्मजीवों की गतिविधि प्रभावित होती है तथा कृषि उत्पादन की गुणवत्ता में गिरावट आती है। मृदा में उपस्थित विषैले तत्व पौधों के माध्यम से खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर सकते हैं, जिससे पारिस्थितिक और स्वास्थ्य संबंधी जोखिम बढ़ जाते हैं [7]। औद्योगिक प्रदूषण का जैव विविधता पर भी गंभीर प्रभाव पड़ता है। प्रदूषण के कारण अनेक जीवों के प्राकृतिक आवास नष्ट होते हैं, प्रजातियों की संख्या घटती है तथा पारिस्थितिक समुदायों की संरचना बदल जाती है। विशेष रूप से जलीय जीव, उभयचर, पक्षी, कीट, मृदा जीव तथा संवेदनशील वनस्पति प्रजातियाँ प्रदूषण के प्रति अधिक प्रभावित होती हैं। जैव विविधता में कमी से पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता, अनुकूलन क्षमता तथा पुनरुत्पादन क्षमता कमजोर होती है [8]। औद्योगिक प्रदूषण के संदर्भ में जैव-संचयन और जैव-वर्धन अत्यंत महत्वपूर्ण प्रक्रियाएँ हैं। भारी धातुएँ और स्थायी कार्बनिक प्रदूषक पर्यावरण में लंबे समय तक बने रहते हैं तथा जीवों के शरीर में जमा होते जाते हैं। जब ये प्रदूषक खाद्य श्रृंखला में ऊपर की ओर बढ़ते हैं, तो उनकी सांद्रता उच्च पोषण स्तरों पर अधिक हो जाती है। इसका प्रभाव मछलियों, पक्षियों, स्तनधारियों और अंततः मानव समाज तक पहुँच सकता है [9]। औद्योगिक प्रदूषण पारिस्थितिक सेवाओं को भी प्रभावित करता है। जब जल स्रोत प्रदूषित होते हैं, मृदा की गुणवत्ता घटती है, वायु प्रदूषित होती है और जैव विविधता कम होती है, तब पारिस्थितिकी तंत्र की सेवा-प्रदान क्षमता कमजोर होती है। इससे स्वच्छ जल की उपलब्धता, कृषि उत्पादकता, जलवायु नियमन, परागण, प्राकृतिक आपदा नियंत्रण तथा आजीविका संसाधनों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है [10]। वर्तमान समय में औद्योगिक प्रदूषण को जलवायु परिवर्तन से भी जोड़कर देखा जा रहा है। औद्योगिक गतिविधियों से उत्पन्न ग्रीनहाउस गैसों वैश्विक तापवृद्धि को बढ़ाती हैं, जिसके परिणामस्वरूप वर्षा चक्र, तापमान, जल उपलब्धता, वनस्पति वितरण तथा प्रजातियों के आवासों में परिवर्तन देखा जा रहा है। जलवायु परिवर्तन और प्रदूषण मिलकर पारिस्थितिकी तंत्रों पर संयुक्त दबाव उत्पन्न करते हैं [11]। भारत में औद्योगिक विकास की तीव्र गति ने अनेक क्षेत्रों में पर्यावरणीय दबाव बढ़ाया है। औद्योगिक क्लस्टरों, खनन क्षेत्रों, तापीय ऊर्जा क्षेत्रों और शहरी-औद्योगिक पट्टियों में वायु, जल और मृदा प्रदूषण की समस्याएँ अधिक स्पष्ट रूप से दिखाई देती हैं। कई क्षेत्रों में औद्योगिक अपशिष्ट प्रबंधन, प्रदूषण नियंत्रण तकनीक, निगरानी व्यवस्था तथा नियामक अनुपालन की कमी के कारण पारिस्थितिक असंतुलन गंभीर होता जा रहा है [12]। औद्योगिक प्रदूषण का प्रभाव स्थानीय से वैश्विक स्तर तक देखा जा सकता है। स्थानीय स्तर पर यह जल स्रोतों, कृषि भूमि, वनस्पति और जीव-जंतुओं को प्रभावित करता है। क्षेत्रीय स्तर पर यह नदी-

घाटियों, वन क्षेत्रों और तटीय पारिस्थितिकी तंत्रों को प्रभावित कर सकता है। वैश्विक स्तर पर यह जलवायु परिवर्तन, जैव विविधता ह्रास और प्राकृतिक संसाधनों की अस्थिरता से जुड़ा जाता है [13]।

सतत विकास की अवधारणा इस समस्या के समाधान के लिए महत्वपूर्ण आधार प्रदान करती है। इसका मूल विचार यह है कि आर्थिक विकास और पर्यावरण संरक्षण को परस्पर विरोधी न मानकर संतुलित रूप से आगे बढ़ाया जाए। स्वच्छ उत्पादन, हरित औद्योगिकीकरण, ऊर्जा दक्षता, अपशिष्ट पुनर्चक्रण, नवीकरणीय ऊर्जा और पर्यावरणीय उत्तरदायित्व औद्योगिक प्रदूषण को कम करने के प्रमुख उपाय माने जाते हैं [14]। औद्योगिक प्रदूषण नियंत्रण के लिए केवल तकनीकी उपाय पर्याप्त नहीं हैं। इसके लिए प्रभावी नीतिगत ढाँचा, कठोर पर्यावरणीय कानून, पारदर्शी निगरानी प्रणाली, उद्योगों की जवाबदेही, स्थानीय समुदायों की भागीदारी तथा पर्यावरण शिक्षा की भी आवश्यकता है। पर्यावरणीय प्रशासन की कमजोरी प्रदूषण नियंत्रण प्रयासों को सीमित कर देती है, जबकि प्रभावी शासन व्यवस्था पारिस्थितिकी तंत्र संरक्षण को मजबूत बना सकती है [15]। उपलब्ध साहित्य से स्पष्ट होता है कि औद्योगिक प्रदूषण और पारिस्थितिकी तंत्र पर इसके प्रभावों का अध्ययन अक्सर पृथक-पृथक आयामों में किया गया है। कुछ अध्ययन वायु प्रदूषण पर केंद्रित हैं, कुछ जल प्रदूषण पर, कुछ भारी धातुओं पर और कुछ जैव विविधता पर। किंतु औद्योगिक प्रदूषण के बहुआयामी प्रभावों को वायु, जल, मृदा, जैव विविधता, खाद्य श्रृंखला, पारिस्थितिक सेवाओं और जलवायु परिवर्तन के संदर्भ में एक साथ समझने वाले समेकित अध्ययन अपेक्षाकृत सीमित हैं [16]। प्रस्तुत समीक्षा अध्ययन इसी शोध-अंतर को ध्यान में रखते हुए तैयार किया गया है। इसका उद्देश्य औद्योगिक प्रदूषण की प्रकृति, स्रोत, स्वरूप तथा पारिस्थितिकी तंत्र पर इसके प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष प्रभावों का समग्र विश्लेषण करना है। यह अध्ययन उपलब्ध राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय साहित्य के आधार पर औद्योगिक प्रदूषण के कारण उत्पन्न पारिस्थितिक असंतुलन, जैव विविधता ह्रास, खाद्य श्रृंखला में विषैले तत्वों के संचयन तथा पारिस्थितिक सेवाओं के क्षरण को व्यवस्थित रूप से प्रस्तुत करता है [17]। इस अध्ययन का महत्व इसलिए भी है क्योंकि पारिस्थितिकी तंत्र का संरक्षण केवल पर्यावरणीय दृष्टि से ही नहीं, बल्कि सामाजिक, आर्थिक और स्वास्थ्य संबंधी दृष्टि से भी आवश्यक है। स्वच्छ जल, उर्वर मृदा, शुद्ध वायु, जैव विविधता और स्थिर जलवायु मानव जीवन तथा आर्थिक विकास की आधारभूत शर्तें हैं। अतः औद्योगिक विकास की भविष्य की रणनीतियों में पारिस्थितिक संतुलन को केंद्रीय स्थान देना आवश्यक है [18]। इस प्रकार प्रस्तुत अध्ययन औद्योगिक प्रदूषण और पारिस्थितिकी तंत्र के मध्य संबंधों की एक विस्तृत वैचारिक समझ विकसित करने का प्रयास करता है। यह अध्ययन पर्यावरण वैज्ञानिकों, नीति-निर्माताओं, उद्योगों, शोधकर्ताओं और विद्यार्थियों के लिए उपयोगी संदर्भ प्रदान कर सकता है। साथ ही यह सतत औद्योगिक विकास, प्रदूषण नियंत्रण और पारिस्थितिकी तंत्र संरक्षण के बीच संतुलन स्थापित करने की दिशा में एक महत्वपूर्ण वैचारिक आधार प्रस्तुत करता है [19, 20]।

2. औद्योगिक प्रदूषण की अवधारणा एवं स्वरूप

2.1 औद्योगिक प्रदूषण का अर्थ एवं परिभाषा

औद्योगिक प्रदूषण से आशय उन प्रदूषकों एवं अपशिष्ट पदार्थों से है जो औद्योगिक उत्पादन, विनिर्माण, ऊर्जा उत्पादन, खनन, रासायनिक प्रसंस्करण तथा अन्य औद्योगिक गतिविधियों के परिणामस्वरूप पर्यावरण में

उत्सर्जित होते हैं। जब उद्योगों से उत्पन्न गैसीय, द्रव, ठोस अथवा तापीय अपशिष्ट प्राकृतिक पर्यावरण की स्वाभाविक वहन क्षमता से अधिक मात्रा में पर्यावरण में पहुँचते हैं, तब वे वायु, जल, मृदा तथा जैविक संसाधनों की गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं। इस स्थिति को औद्योगिक प्रदूषण कहा जाता है।

औद्योगिक प्रदूषण आधुनिक औद्योगिकीकरण की सबसे महत्वपूर्ण पर्यावरणीय चुनौतियों में से एक है। आर्थिक विकास के लिए उद्योगों की आवश्यकता निर्विवाद है, किन्तु यदि उत्पादन प्रक्रियाओं में पर्यावरणीय मानकों, स्वच्छ प्रौद्योगिकी तथा प्रदूषण नियंत्रण उपायों का समुचित पालन न किया जाए, तो औद्योगिक गतिविधियाँ प्राकृतिक संसाधनों के क्षरण तथा पारिस्थितिक असंतुलन का कारण बन जाती हैं। औद्योगिक प्रदूषण का प्रभाव केवल उत्पादन स्थल तक सीमित नहीं रहता, बल्कि इसके प्रभाव आसपास के क्षेत्रों, नदी तंत्रों, कृषि भूमि, वन क्षेत्रों तथा संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र तक पहुँच सकते हैं।

औद्योगिक प्रदूषण की विशेषता यह है कि इसके अनेक प्रदूषक लंबे समय तक पर्यावरण में बने रहते हैं। भारी धातुएँ, विषैले रासायनिक यौगिक तथा कुछ कार्बनिक प्रदूषक प्राकृतिक रूप से शीघ्र विघटित नहीं होते और वर्षों तक पर्यावरण में सक्रिय बने रह सकते हैं। इसके परिणामस्वरूप वे जैव-संचयन एवं जैव-वर्धन जैसी प्रक्रियाओं के माध्यम से जीव-जंतुओं तथा मानव समाज तक पहुँचकर दीर्घकालिक पर्यावरणीय एवं जैविक प्रभाव उत्पन्न करते हैं। औद्योगिक प्रदूषण को केवल प्रदूषकों के उत्सर्जन तक सीमित नहीं माना जा सकता। इसके अंतर्गत प्राकृतिक संसाधनों का अत्यधिक दोहन, ऊर्जा की अत्यधिक खपत, औद्योगिक अपशिष्टों का अनुचित निपटान, भूमि उपयोग में परिवर्तन तथा पारिस्थितिक संतुलन में व्यवधान जैसी प्रक्रियाएँ भी सम्मिलित हैं। यही कारण है कि आधुनिक पर्यावरण विज्ञान में औद्योगिक प्रदूषण को बहुआयामी पर्यावरणीय समस्या के रूप में देखा जाता है।

2.2 औद्योगिक प्रदूषण के प्रमुख स्रोत

औद्योगिक प्रदूषण विभिन्न प्रकार के उद्योगों एवं उनसे संबंधित उत्पादन प्रक्रियाओं से उत्पन्न होता है। प्रत्येक उद्योग की उत्पादन प्रणाली, प्रयुक्त कच्चा माल तथा निर्माण तकनीक के अनुसार प्रदूषकों का स्वरूप एवं मात्रा भिन्न-भिन्न होती है। कुछ उद्योग मुख्यतः वायु प्रदूषण उत्पन्न करते हैं, जबकि कुछ उद्योग जल, मृदा अथवा रासायनिक प्रदूषण के प्रमुख स्रोत होते हैं।

तापीय विद्युत संयंत्र औद्योगिक प्रदूषण के सबसे बड़े स्रोतों में सम्मिलित हैं। इनसे बड़ी मात्रा में कार्बन डाइऑक्साइड, सल्फर डाइऑक्साइड, नाइट्रोजन ऑक्साइड, फ्लाई ऐश तथा सूक्ष्म कण उत्सर्जित होते हैं, जो वायु गुणवत्ता को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं। इसी प्रकार इस्पात एवं धातु उद्योगों से धात्विक धूल, विषैले धुएँ तथा भारी धातुओं का उत्सर्जन होता है। रासायनिक एवं पेट्रोकेमिकल उद्योग विभिन्न प्रकार के अम्लों, क्षारों, कार्बनिक विलायकों तथा विषैले रासायनिक यौगिकों का उपयोग करते हैं। इन उद्योगों से उत्पन्न अपशिष्ट यदि उचित उपचार के बिना पर्यावरण में छोड़े जाएँ, तो वे जल, मृदा तथा वायु तीनों को प्रदूषित कर सकते हैं। उर्वरक उद्योग, औषधि उद्योग, कीटनाशक उद्योग तथा प्लास्टिक उद्योग भी अनेक प्रकार के जटिल रासायनिक प्रदूषकों के प्रमुख स्रोत हैं। चमड़ा उद्योग, वस्त्र उद्योग, कागज उद्योग तथा खाद्य प्रसंस्करण उद्योग बड़ी मात्रा में अपशिष्ट जल उत्पन्न करते हैं, जिसमें कार्बनिक पदार्थ, रंग, रसायन, भारी धातुएँ तथा अन्य प्रदूषक उपस्थित हो सकते हैं। यदि इनका समुचित उपचार न किया जाए तो ये नदियों, झीलें तथा भूजल की गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं।

खनन एवं खनिज प्रसंस्करण गतिविधियाँ भी औद्योगिक प्रदूषण का एक महत्वपूर्ण स्रोत हैं। खनन के दौरान बड़ी मात्रा में धूल, ठोस अपशिष्ट तथा भारी धातुएँ उत्पन्न होती हैं। इसके अतिरिक्त भूमि की प्राकृतिक संरचना में परिवर्तन, वनों की कटाई तथा मृदा अपरदन जैसी समस्याएँ भी उत्पन्न होती हैं, जो पारिस्थितिकी तंत्र पर दीर्घकालिक प्रभाव छोड़ती हैं।

2.3 औद्योगिक प्रदूषण के प्रकार

औद्योगिक प्रदूषण अनेक स्वरूपों में प्रकट होता है तथा प्रत्येक प्रकार का प्रदूषण पर्यावरण एवं पारिस्थितिकी तंत्र को अलग-अलग प्रकार से प्रभावित करता है। सामान्यतः इसे वायु प्रदूषण, जल प्रदूषण, मृदा प्रदूषण, ध्वनि प्रदूषण तथा तापीय एवं रासायनिक प्रदूषण के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। वायु प्रदूषण औद्योगिक प्रदूषण का सबसे व्यापक स्वरूप है। उद्योगों से उत्सर्जित गैसों, धूल कण तथा धुआँ वायुमंडल में मिलकर वायु की गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं। इससे वातावरण में प्रदूषकों की सांद्रता बढ़ती है, दृश्यता कम होती है, अम्लीय वर्षा की संभावना बढ़ती है तथा वनस्पतियों एवं जीव-जंतुओं पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। दीर्घकाल में वायु प्रदूषण जलवायु परिवर्तन तथा वैश्विक तापवृद्धि जैसी समस्याओं को भी बढ़ावा देता है। जल प्रदूषण तब उत्पन्न होता है जब उद्योगों से निकलने वाला अनुपचारित अपशिष्ट जल नदियों, झीलों, तालाबों अथवा भूजल स्रोतों में पहुँच जाता है। ऐसे अपशिष्टों में विभिन्न प्रकार के रसायन, तेल, रंग, अम्ल, क्षार तथा भारी धातुएँ उपस्थित होती हैं। इनके कारण जल की गुणवत्ता घटती है, जलीय जीवों का जीवन प्रभावित होता है तथा संपूर्ण जलीय पारिस्थितिकी तंत्र में असंतुलन उत्पन्न हो सकता है। मृदा प्रदूषण औद्योगिक ठोस अपशिष्टों, राख, रासायनिक अवशेषों तथा विषैले पदार्थों के कारण उत्पन्न होता है। इन पदार्थों के निरंतर संचय से मृदा की उर्वरता कम होती है, सूक्ष्मजीवों की सक्रियता प्रभावित होती है तथा कृषि उत्पादन की गुणवत्ता में गिरावट आती है। कई बार प्रदूषक पौधों के माध्यम से खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर व्यापक पारिस्थितिक प्रभाव उत्पन्न करते हैं।

ध्वनि प्रदूषण भी औद्योगिक क्षेत्रों की एक प्रमुख समस्या है। भारी मशीनों, जनरेटरों, कम्प्रेसरों, टर्बाइनों तथा अन्य यांत्रिक उपकरणों से निरंतर उच्च तीव्रता की ध्वनि उत्पन्न होती है। अत्यधिक ध्वनि न केवल मानव स्वास्थ्य को प्रभावित करती है, बल्कि पक्षियों, वन्यजीवों तथा अन्य जीवों के व्यवहार, संचार एवं प्रजनन प्रक्रियाओं पर भी प्रतिकूल प्रभाव डालती है। तापीय एवं रासायनिक प्रदूषण आधुनिक उद्योगों की एक महत्वपूर्ण पर्यावरणीय चुनौती है। अनेक उद्योग अत्यधिक तापमान वाला जल जलाशयों में छोड़ते हैं, जिससे जल का तापमान बढ़ जाता है और जलीय जीवों के लिए प्रतिकूल परिस्थितियाँ उत्पन्न हो जाती हैं। इसी प्रकार विभिन्न औद्योगिक रसायन, अम्ल, क्षार, कार्बनिक विलायक तथा विषैले यौगिक पर्यावरण में पहुँचकर प्राकृतिक संसाधनों की गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं। इन प्रदूषकों का प्रभाव दीर्घकाल तक बना रह सकता है तथा इनके कारण पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना, जैव विविधता एवं प्राकृतिक संतुलन पर गंभीर प्रतिकूल प्रभाव पड़ सकते हैं। समग्र रूप से देखा जाए तो औद्योगिक प्रदूषण के सभी स्वरूप परस्पर एक-दूसरे से जुड़े हुए हैं। वायु, जल, मृदा, ध्वनि तथा रासायनिक प्रदूषण स्वतंत्र रूप से कार्य नहीं करते, बल्कि संयुक्त रूप से पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता, प्राकृतिक संसाधनों की गुणवत्ता तथा जैव विविधता को प्रभावित करते हैं। इसलिए औद्योगिक प्रदूषण के प्रभावी नियंत्रण के लिए समग्र, वैज्ञानिक एवं सतत पर्यावरणीय प्रबंधन दृष्टिकोण अपनाना अत्यंत आवश्यक है।

3. पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना एवं कार्यप्रणाली

3.1 पारिस्थितिकी तंत्र की अवधारणा

पारिस्थितिकी तंत्र (Ecosystem) प्रकृति की एक ऐसी समन्वित एवं गतिशील प्रणाली है जिसमें जैविक (Biotic) तथा अजैविक (Abiotic) घटक परस्पर अंतःक्रिया करते हुए जीवन के लिए आवश्यक परिस्थितियों का निर्माण करते हैं। यह केवल जीवों का समूह नहीं है, बल्कि जीवों तथा उनके भौतिक पर्यावरण के मध्य स्थापित संतुलित संबंधों का एक संगठित तंत्र है। प्रत्येक पारिस्थितिकी तंत्र में ऊर्जा का निरंतर प्रवाह, पदार्थों का चक्रण तथा जीवों के मध्य पारस्परिक निर्भरता विद्यमान रहती है, जिसके कारण संपूर्ण प्रणाली संतुलित रूप से कार्य करती है।

पृथ्वी पर विभिन्न प्रकार के पारिस्थितिकी तंत्र पाए जाते हैं, जिनमें वन पारिस्थितिकी तंत्र, घासभूमि, मरुस्थलीय पारिस्थितिकी तंत्र, नदी एवं झील पारिस्थितिकी तंत्र, समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र तथा मानव-निर्मित कृषि एवं शहरी पारिस्थितिकी तंत्र प्रमुख हैं। प्रत्येक पारिस्थितिकी तंत्र की अपनी विशिष्ट संरचना, जैव विविधता, ऊर्जा प्रवाह तथा पर्यावरणीय विशेषताएँ होती हैं। यद्यपि इनकी संरचना अलग-अलग होती है, फिर भी सभी पारिस्थितिकी तंत्र एक-दूसरे से प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से जुड़े रहते हैं। पारिस्थितिकी तंत्र का प्रमुख उद्देश्य प्राकृतिक संतुलन बनाए रखना तथा जीवों के अस्तित्व के लिए आवश्यक संसाधनों की निरंतर उपलब्धता सुनिश्चित करना है। यदि किसी कारणवश इसके किसी एक घटक में असंतुलन उत्पन्न होता है, तो उसका प्रभाव संपूर्ण प्रणाली पर पड़ता है। यही कारण है कि पारिस्थितिकी तंत्र को एक समेकित एवं परस्पर निर्भर प्राकृतिक प्रणाली के रूप में देखा जाता है। औद्योगिकीकरण, नगरीकरण, वनों की कटाई, प्राकृतिक संसाधनों का अत्यधिक दोहन तथा पर्यावरणीय प्रदूषण ने वर्तमान समय में पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना एवं कार्यप्रणाली को व्यापक रूप से प्रभावित किया है। विशेष रूप से औद्योगिक प्रदूषण के कारण अनेक प्राकृतिक पारिस्थितिकी तंत्रों की वहन क्षमता कम हो रही है तथा उनकी पुनर्जीवन क्षमता भी प्रभावित हो रही है।

3.2 जैविक एवं अजैविक घटक

पारिस्थितिकी तंत्र दो प्रमुख घटकों—जैविक एवं अजैविक—से मिलकर बना होता है। दोनों घटक एक-दूसरे पर निर्भर होते हैं तथा उनके मध्य निरंतर पदार्थ एवं ऊर्जा का आदान-प्रदान होता रहता है। इन दोनों घटकों के संतुलित संबंध से ही पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता एवं उत्पादकता बनी रहती है। जैविक घटकों में सभी प्रकार के जीवधारी सम्मिलित होते हैं। इनमें सूक्ष्मजीव, शैवाल, पौधे, कीट, पक्षी, मछलियाँ, वन्यजीव तथा मनुष्य सभी शामिल हैं। इन जीवों को उनके कार्यों के आधार पर उत्पादक, उपभोक्ता एवं अपघटक के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। उत्पादक मुख्यतः हरे पौधे होते हैं, जो प्रकाश संश्लेषण के माध्यम से सौर ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं। शाकाहारी, मांसाहारी तथा सर्वाहारी जीव उपभोक्ता कहलाते हैं, जबकि जीवाणु एवं कवक जैसे सूक्ष्मजीव अपघटक के रूप में मृत जैविक पदार्थों का विघटन कर पोषक तत्वों को पुनः पर्यावरण में उपलब्ध कराते हैं।

अजैविक घटकों में वायु, जल, मृदा, सूर्य का प्रकाश, तापमान, आर्द्रता, खनिज तत्व, pH, वर्षा तथा अन्य भौतिक एवं रासायनिक कारक सम्मिलित होते हैं। ये सभी तत्व जीवधारियों के विकास, प्रजनन एवं अस्तित्व के लिए आवश्यक परिस्थितियाँ प्रदान करते हैं। जल जीवन का आधार है, जबकि मृदा पौधों के लिए पोषक तत्व उपलब्ध कराती है। सूर्य ऊर्जा का प्रमुख स्रोत है तथा तापमान एवं वर्षा जैविक गतिविधियों को नियंत्रित करते हैं। जैविक एवं अजैविक घटकों के मध्य निरंतर संतुलन बना रहना आवश्यक है। यदि किसी एक घटक में अत्यधिक परिवर्तन होता है, तो उसका प्रभाव दूसरे घटकों पर भी पड़ता है। उदाहरण के लिए, जल प्रदूषण से जलीय जीव प्रभावित

होते हैं, मृदा प्रदूषण से वनस्पति एवं सूक्ष्मजीवों की सक्रियता कम होती है तथा वायु प्रदूषण से पौधों की वृद्धि एवं प्रकाश संश्लेषण की क्षमता घट सकती है। इस प्रकार दोनों घटकों की परस्पर निर्भरता पारिस्थितिकी तंत्र की आधारशिला है।

3.3 ऊर्जा प्रवाह एवं खाद्य श्रृंखला

पारिस्थितिकी तंत्र का संचालन मुख्यतः ऊर्जा प्रवाह तथा पोषक तत्वों के चक्रण पर आधारित होता है। सूर्य पारिस्थितिकी तंत्र का प्राथमिक ऊर्जा स्रोत है। हरे पौधे प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया द्वारा सूर्य की ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं। यही ऊर्जा खाद्य पदार्थों के रूप में अन्य जीवों तक पहुँचती है और संपूर्ण जैविक समुदाय को संचालित करती है। ऊर्जा का प्रवाह सदैव एक दिशा में होता है। ऊर्जा उत्पादकों से प्राथमिक उपभोक्ताओं, फिर द्वितीयक एवं तृतीयक उपभोक्ताओं तक पहुँचती है तथा प्रत्येक स्तर पर ऊर्जा का एक बड़ा भाग ऊष्मा के रूप में नष्ट हो जाता है। इस कारण उच्च पोषण स्तरों तक पहुँचने वाली ऊर्जा की मात्रा क्रमशः कम होती जाती है। यही कारण है कि किसी भी पारिस्थितिकी तंत्र में उच्च श्रेणी के उपभोक्ताओं की संख्या अपेक्षाकृत कम होती है। खाद्य श्रृंखला (Food Chain) विभिन्न जीवों के मध्य भोजन एवं ऊर्जा के स्थानांतरण का क्रम है। सामान्यतः यह उत्पादकों से प्रारंभ होकर शाकाहारी, मांसाहारी तथा शीर्ष उपभोक्ताओं तक पहुँचती है। प्राकृतिक परिस्थितियों में अनेक खाद्य श्रृंखलाएँ परस्पर जुड़कर खाद्य जाल (Food Web) का निर्माण करती हैं, जिससे पारिस्थितिकी तंत्र अधिक स्थिर एवं संतुलित बना रहता है।

औद्योगिक प्रदूषण ऊर्जा प्रवाह एवं खाद्य श्रृंखला दोनों को प्रभावित करता है। प्रदूषकों के कारण उत्पादकों की उत्पादकता में कमी आती है, जिससे ऊर्जा प्रवाह बाधित होता है। दूसरी ओर भारी धातुएँ एवं विषैले रासायनिक पदार्थ खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर विभिन्न पोषण स्तरों पर जैव-संचयन तथा जैव-वर्धन की प्रक्रिया को बढ़ावा देते हैं। परिणामस्वरूप शीर्ष उपभोक्ताओं में विषैले तत्वों की सांद्रता अत्यधिक बढ़ जाती है, जिससे पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता प्रभावित होती है।

3.4 पारिस्थितिक संतुलन का महत्व

पारिस्थितिक संतुलन से आशय पारिस्थितिकी तंत्र के विभिन्न जैविक एवं अजैविक घटकों के मध्य स्थापित उस प्राकृतिक सामंजस्य से है, जिसके कारण प्राकृतिक प्रक्रियाएँ निरंतर एवं व्यवस्थित रूप से संचालित होती रहती हैं। यह संतुलन जीवों की संख्या, संसाधनों की उपलब्धता, ऊर्जा प्रवाह तथा पोषक तत्वों के चक्रण के मध्य सामंजस्य बनाए रखता है। पारिस्थितिक संतुलन पृथ्वी पर जीवन की निरंतरता के लिए अत्यंत आवश्यक है। इसके माध्यम से प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण, जलवायु का नियमन, जल चक्र का संचालन, मृदा की उर्वरता, जैव विविधता का संरक्षण तथा खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित होती है। संतुलित पारिस्थितिकी तंत्र प्राकृतिक आपदाओं के प्रभाव को कम करने तथा पर्यावरणीय परिवर्तनों के प्रति अनुकूलन क्षमता विकसित करने में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। जब औद्योगिक प्रदूषण, वनों की कटाई, प्राकृतिक संसाधनों का अत्यधिक दोहन अथवा जलवायु परिवर्तन जैसे कारकों के कारण पारिस्थितिक संतुलन प्रभावित होता है, तब संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र की कार्यप्रणाली बाधित होने लगती है। जैव विविधता में कमी, प्राकृतिक आवासों का विनाश, जल स्रोतों का प्रदूषण, मृदा की गुणवत्ता में गिरावट तथा खाद्य श्रृंखला का असंतुलन इसी प्रक्रिया के प्रमुख परिणाम हैं। दीर्घकाल में

यह स्थिति मानव समाज की खाद्य सुरक्षा, आर्थिक गतिविधियों तथा जीवन की गुणवत्ता को भी प्रभावित करती है।

वर्तमान समय में पारिस्थितिक संतुलन का संरक्षण सतत विकास की सबसे महत्वपूर्ण आवश्यकताओं में से एक माना जाता है। औद्योगिक विकास, प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण तथा पर्यावरणीय उत्तरदायित्व के मध्य संतुलन स्थापित किए बिना पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता बनाए रखना संभव नहीं है। इसलिए स्वच्छ प्रौद्योगिकी, प्रदूषण नियंत्रण, हरित औद्योगिकीकरण, संसाधनों का पुनर्चक्रण तथा प्रभावी पर्यावरणीय प्रबंधन को भविष्य की विकास रणनीतियों का अभिन्न अंग बनाया जाना आवश्यक है। इससे न केवल पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना एवं कार्यप्रणाली सुरक्षित रहेगी, बल्कि सतत आर्थिक विकास एवं भावी पीढ़ियों के लिए स्वस्थ पर्यावरण भी सुनिश्चित किया जा सकेगा।

4. औद्योगिक प्रदूषण का पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रभाव

4.1 वायुमंडलीय पारिस्थितिकी पर प्रभाव

वायुमंडल पृथ्वी के पारिस्थितिकी तंत्र का एक अत्यंत महत्वपूर्ण घटक है, जो जलवायु नियंत्रण, तापमान संतुलन, वर्षा चक्र तथा विभिन्न जैविक प्रक्रियाओं के संचालन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। औद्योगिक गतिविधियों के विस्तार के साथ वायुमंडल में विभिन्न प्रकार के गैसीय एवं कणीय प्रदूषकों का उत्सर्जन निरंतर बढ़ा है। तापीय विद्युत संयंत्र, इस्पात उद्योग, सीमेंट उद्योग, रासायनिक उद्योग, पेट्रोकेमिकल उद्योग तथा खनन गतिविधियों से निकलने वाली गैसों वायुमंडलीय संरचना को प्रभावित करती हैं। इन प्रदूषकों के कारण वायु की गुणवत्ता में गिरावट आती है तथा प्राकृतिक वायुमंडलीय प्रक्रियाएँ प्रभावित होती हैं। औद्योगिक उत्सर्जन के परिणामस्वरूप वातावरण में सल्फर डाइऑक्साइड, नाइट्रोजन ऑक्साइड, कार्बन मोनोऑक्साइड, कार्बन डाइऑक्साइड तथा सूक्ष्म कणों की मात्रा बढ़ जाती है। ये प्रदूषक अम्लीय वर्षा, धुंध, ओज़ोन निर्माण तथा वैश्विक तापवृद्धि जैसी समस्याओं को बढ़ावा देते हैं। अम्लीय वर्षा के कारण मृदा एवं जल की रासायनिक संरचना में परिवर्तन होता है, जबकि ग्रीनहाउस गैसों की अधिकता पृथ्वी के तापमान में वृद्धि का कारण बनती है। परिणामस्वरूप वर्षा चक्र, मौसमी परिवर्तन, वाष्पीकरण तथा प्राकृतिक आवासों की स्थिरता प्रभावित होती है। वायु प्रदूषण पौधों की प्रकाश संश्लेषण प्रक्रिया को भी बाधित करता है, जिससे उनकी वृद्धि एवं उत्पादकता में कमी आती है।

4.2 जलीय पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रभाव

जल पारिस्थितिकी तंत्र पृथ्वी पर जीवन के संरक्षण का आधार है। नदियाँ, झीलें, तालाब, आर्द्रभूमियाँ तथा समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र अनेक प्रकार के जीवों के लिए प्राकृतिक आवास उपलब्ध कराते हैं। औद्योगिक गतिविधियों से उत्पन्न अपशिष्ट जल जब बिना उपचार के जल स्रोतों में प्रवाहित किया जाता है, तब जल की भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणवत्ता प्रभावित होने लगती है। अनेक उद्योगों से निकलने वाले अम्लीय पदार्थ, क्षारीय पदार्थ, तेल, रंजक, भारी धातुएँ तथा विषैले रसायन जलीय जीवों के लिए अत्यंत हानिकारक सिद्ध होते हैं। प्रदूषित जल में घुलित ऑक्सीजन की मात्रा कम हो जाती है, जिसके कारण मछलियों एवं अन्य जलीय जीवों के जीवन पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। जल में पोषक तत्वों की अत्यधिक वृद्धि के कारण यूट्रोफिकेशन की समस्या उत्पन्न होती है, जिससे शैवालों की अनियंत्रित वृद्धि होती है तथा जल की गुणवत्ता और अधिक खराब हो जाती है। कई

जलीय जीवों के प्रजनन, वृद्धि एवं प्रवास पर भी औद्योगिक प्रदूषण का नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। दीर्घकाल में जलीय जैव विविधता घटती है तथा संपूर्ण जलीय पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता कमजोर हो जाती है।

4.3 स्थलीय एवं मृदा पारिस्थितिकी पर प्रभाव

मृदा केवल कृषि उत्पादन का माध्यम नहीं है, बल्कि यह असंख्य सूक्ष्मजीवों, वनस्पतियों एवं अन्य जीवों का प्राकृतिक आवास भी है। औद्योगिक ठोस अपशिष्ट, राख, रासायनिक अवशेष तथा भारी धातुएँ मृदा में एकत्रित होकर उसकी गुणवत्ता को प्रभावित करती हैं। इससे मृदा की भौतिक संरचना, जल धारण क्षमता, पोषक तत्वों की उपलब्धता तथा जैविक सक्रियता में कमी आने लगती है। मृदा प्रदूषण के कारण लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या घटती है, जिससे पोषक तत्वों का प्राकृतिक चक्रण प्रभावित होता है। पौधों की जड़ें विषैले तत्वों को अवशोषित करने लगती हैं, जिसके परिणामस्वरूप उनकी वृद्धि एवं उत्पादकता कम हो जाती है। प्रदूषित मृदा में उगने वाली फसलें भी गुणवत्ता की दृष्टि से प्रभावित होती हैं तथा उनके माध्यम से विषैले तत्व खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर सकते हैं। इसके अतिरिक्त औद्योगिक गतिविधियों के कारण भूमि उपयोग में परिवर्तन, खनन, वनों की कटाई तथा मृदा अपरदन जैसी समस्याएँ भी स्थलीय पारिस्थितिकी को प्रभावित करती हैं।

4.4 वन एवं वन्यजीवों पर प्रभाव

वन पारिस्थितिकी तंत्र पृथ्वी की जैव विविधता का सबसे समृद्ध एवं महत्वपूर्ण भाग है। उद्योगों के विस्तार, खनन गतिविधियों, सड़क निर्माण तथा औद्योगिक अवसंरचना के विकास के कारण अनेक वन क्षेत्रों का क्षरण हुआ है। प्राकृतिक आवासों के नष्ट होने से वन्यजीवों के भोजन, प्रजनन एवं आवागमन पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। औद्योगिक प्रदूषण से उत्पन्न धूल, विषैली गैसों तथा रासायनिक पदार्थ वृक्षों की वृद्धि को प्रभावित करते हैं। पत्तियों पर प्रदूषकों का जमाव प्रकाश संश्लेषण की क्षमता को कम करता है तथा पौधों की रोग प्रतिरोधक क्षमता घट जाती है। दूसरी ओर वन्यजीव प्रदूषित जल एवं भोजन के माध्यम से विषैले पदार्थों के संपर्क में आते हैं, जिससे उनकी प्रजनन क्षमता, व्यवहार एवं जीवन प्रत्याशा प्रभावित होती है। अनेक संवेदनशील प्रजातियों के विलुप्त होने का एक महत्वपूर्ण कारण उनके प्राकृतिक आवासों का निरंतर क्षरण भी है।

4.5 जैव विविधता पर प्रभाव

जैव विविधता किसी भी पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता, अनुकूलन क्षमता एवं उत्पादकता का प्रमुख आधार है। औद्योगिक प्रदूषण के कारण अनेक वनस्पति एवं जीव प्रजातियाँ प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित होती हैं। वायु, जल एवं मृदा प्रदूषण के कारण प्राकृतिक आवासों की गुणवत्ता में गिरावट आती है, जिससे संवेदनशील प्रजातियों का अस्तित्व संकट में पड़ जाता है। प्रदूषण के कारण पारिस्थितिकी तंत्र की प्रजातीय संरचना में परिवर्तन होने लगता है। कुछ सहनशील प्रजातियाँ बढ़ने लगती हैं, जबकि संवेदनशील प्रजातियाँ धीरे-धीरे समाप्त होने लगती हैं। इससे पारिस्थितिक संतुलन प्रभावित होता है तथा विभिन्न जीवों के मध्य स्थापित प्राकृतिक संबंध कमजोर पड़ जाते हैं। जैव विविधता में कमी आने से परागण, बीज प्रसार, पोषक तत्वों का चक्रण तथा प्राकृतिक कीट नियंत्रण जैसी प्रक्रियाएँ भी प्रभावित होती हैं।

4.6 खाद्य श्रृंखला एवं जैव-संचयन (Bioaccumulation)

औद्योगिक प्रदूषण का सबसे गंभीर प्रभाव खाद्य श्रृंखला के माध्यम से दिखाई देता है। अनेक औद्योगिक प्रदूषक, विशेषकर भारी धातुएँ एवं स्थायी रासायनिक यौगिक, प्राकृतिक रूप से शीघ्र विघटित नहीं होते। ये प्रदूषक पौधों, सूक्ष्मजीवों एवं जलीय जीवों के शरीर में धीरे-धीरे एकत्रित होने लगते हैं, जिसे जैव-संचयन कहा जाता है। जब प्रदूषित जीवों का उपभोग अन्य जीव करते हैं, तब इन विषैले तत्वों की सांद्रता प्रत्येक उच्च पोषण स्तर पर बढ़ती जाती है। इस प्रक्रिया को जैव-वर्धन कहा जाता है। परिणामस्वरूप खाद्य श्रृंखला के शीर्ष पर स्थित पक्षियों, स्तनधारियों तथा मनुष्यों में विषैले तत्वों की मात्रा सबसे अधिक पाई जाती है। इससे प्रजनन संबंधी समस्याएँ, तंत्रिका तंत्र के विकार, विकास संबंधी असामान्यताएँ तथा दीर्घकालिक स्वास्थ्य जोखिम उत्पन्न हो सकते हैं। इस प्रकार औद्योगिक प्रदूषण का प्रभाव केवल किसी एक जीव तक सीमित न रहकर संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र में प्रसारित हो जाता है।

4.7 पारिस्थितिक सेवाओं (Ecosystem Services) पर प्रभाव

पारिस्थितिक सेवाएँ वे प्राकृतिक लाभ हैं जो पारिस्थितिकी तंत्र मानव समाज को निरंतर प्रदान करता है। इनमें स्वच्छ वायु, स्वच्छ जल, उपजाऊ मृदा, जलवायु का नियमन, परागण, पोषक तत्वों का चक्रण, कार्बन का अवशोषण तथा प्राकृतिक संसाधनों की उपलब्धता प्रमुख हैं। स्वस्थ पारिस्थितिकी तंत्र इन सेवाओं के माध्यम से मानव जीवन एवं आर्थिक गतिविधियों का आधार बनता है। औद्योगिक प्रदूषण के कारण इन पारिस्थितिक सेवाओं की गुणवत्ता एवं उपलब्धता प्रभावित होने लगती है। जल स्रोतों के प्रदूषित होने से स्वच्छ पेयजल की उपलब्धता घटती है। मृदा प्रदूषण कृषि उत्पादकता को कम करता है। वनों के क्षरण से कार्बन अवशोषण क्षमता घटती है तथा जलवायु परिवर्तन की गति तेज होती है। जैव विविधता में कमी आने से परागण, प्राकृतिक कीट नियंत्रण एवं पोषक तत्वों के चक्रण जैसी प्रक्रियाएँ कमजोर पड़ जाती हैं। परिणामस्वरूप कृषि, मत्स्य पालन, वानिकी, पर्यटन तथा अन्य प्राकृतिक संसाधनों पर आधारित आर्थिक गतिविधियाँ भी प्रभावित होती हैं। समग्र रूप से यह स्पष्ट होता है कि औद्योगिक प्रदूषण का प्रभाव किसी एक पर्यावरणीय घटक तक सीमित नहीं रहता, बल्कि यह वायुमंडल, जल, मृदा, वन, वन्यजीव, जैव विविधता, खाद्य श्रृंखला तथा पारिस्थितिक सेवाओं सहित संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र को प्रभावित करता है। अतः औद्योगिक विकास को पर्यावरणीय उत्तरदायित्व, स्वच्छ प्रौद्योगिकी तथा सतत संसाधन प्रबंधन के सिद्धांतों के अनुरूप संचालित करना आवश्यक है, जिससे आर्थिक प्रगति और पारिस्थितिक संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित किया जा सके।

5. औद्योगिक प्रदूषण एवं वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियाँ

औद्योगिकीकरण ने विश्व की आर्थिक प्रगति, तकनीकी विकास तथा मानव जीवन स्तर में उल्लेखनीय सुधार किया है, किन्तु इसके साथ अनेक वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियाँ भी उत्पन्न हुई हैं। उद्योगों से निरंतर उत्सर्जित ग्रीनहाउस गैसों, विषैले रासायनिक पदार्थ, सूक्ष्म कण, भारी धातुएँ तथा अन्य प्रदूषक केवल स्थानीय अथवा क्षेत्रीय स्तर तक सीमित नहीं रहते, बल्कि वायुमंडलीय एवं जल चक्र के माध्यम से व्यापक भौगोलिक क्षेत्रों को प्रभावित करते हैं। परिणामस्वरूप जलवायु परिवर्तन, अम्लीय वर्षा, ओजोन परत का क्षरण, वैश्विक तापवृद्धि तथा सतत विकास संबंधी चुनौतियाँ निरंतर गंभीर होती जा रही हैं। इन समस्याओं का प्रभाव मानव समाज के साथ-साथ संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र, जैव विविधता तथा प्राकृतिक संसाधनों पर भी स्पष्ट रूप से दिखाई देता है।

5.1 जलवायु परिवर्तन

वर्तमान समय में जलवायु परिवर्तन विश्व की सबसे गंभीर पर्यावरणीय समस्याओं में से एक है। औद्योगिक क्रांति के बाद जीवाश्म ईंधनों के व्यापक उपयोग तथा औद्योगिक उत्पादन में तीव्र वृद्धि के कारण वातावरण में कार्बन डाइऑक्साइड, मीथेन, नाइट्रस ऑक्साइड तथा अन्य ग्रीनहाउस गैसों की मात्रा लगातार बढ़ी है। इन गैसों के कारण पृथ्वी के वायुमंडल में ऊष्मा का संचय बढ़ता है, जिससे वैश्विक जलवायु प्रणाली प्रभावित होती है।

जलवायु परिवर्तन के परिणामस्वरूप तापमान में वृद्धि, वर्षा के स्वरूप में परिवर्तन, हिमनदों का पिघलना, समुद्र के जलस्तर में वृद्धि तथा चरम मौसमी घटनाओं की आवृत्ति में वृद्धि देखी जा रही है। सूखा, बाढ़, चक्रवात, हीट वेव तथा अनियमित वर्षा जैसी घटनाएँ कृषि, जल संसाधनों तथा प्राकृतिक पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव डालती हैं। अनेक जीव प्रजातियों के प्राकृतिक आवास बदल रहे हैं तथा कई प्रजातियाँ नए पर्यावरणीय परिवर्तनों के अनुरूप स्वयं को अनुकूलित नहीं कर पा रही हैं। जलवायु परिवर्तन के कारण पारिस्थितिकी तंत्रों की संरचना, उत्पादकता तथा जैव विविधता प्रभावित होती है। वन क्षेत्रों में आग की घटनाओं में वृद्धि, प्रवाल भित्तियों का क्षरण, आर्द्रभूमियों का सिकुड़ना तथा हिमालयी एवं ध्रुवीय पारिस्थितिकी तंत्रों में परिवर्तन इसके प्रमुख उदाहरण हैं। इसलिए औद्योगिक प्रदूषण को जलवायु परिवर्तन का एक प्रमुख प्रेरक कारक माना जाता है।

5.2 अम्लीय वर्षा

अम्लीय वर्षा औद्योगिक प्रदूषण का एक महत्वपूर्ण पर्यावरणीय परिणाम है। उद्योगों एवं तापीय विद्युत संयंत्रों से उत्सर्जित सल्फर डाइऑक्साइड तथा नाइट्रोजन ऑक्साइड वायुमंडल में जलवाष्प एवं अन्य गैसों के साथ अभिक्रिया करके सल्फ्यूरिक एवं नाइट्रिक अम्ल का निर्माण करते हैं। ये अम्ल वर्षा, हिमपात अथवा कोहरे के माध्यम से पृथ्वी की सतह पर पहुँचते हैं। अम्लीय वर्षा का प्रभाव मृदा, जल स्रोतों, वनों तथा ऐतिहासिक धरोहरों पर स्पष्ट रूप से दिखाई देता है। इससे मृदा की अम्लीयता बढ़ जाती है, जिसके कारण पौधों के लिए आवश्यक पोषक तत्वों की उपलब्धता कम हो जाती है। झीलों एवं नदियों का pH घटने से अनेक जलीय जीवों के अस्तित्व पर संकट उत्पन्न हो जाता है। वन क्षेत्रों में वृक्षों की पत्तियाँ क्षतिग्रस्त होती हैं तथा उनकी वृद्धि एवं उत्पादकता प्रभावित होती है। अम्लीय वर्षा का प्रभाव केवल प्राकृतिक संसाधनों तक सीमित नहीं रहता, बल्कि यह भवनों, धातु संरचनाओं, स्मारकों तथा सांस्कृतिक विरासत को भी क्षति पहुँचाती है। संगमरमर, चूना पत्थर तथा अन्य निर्माण सामग्री अम्लीय वर्षा के संपर्क में आने पर धीरे-धीरे क्षरित होने लगती हैं। इसलिए यह समस्या पर्यावरणीय, आर्थिक तथा सांस्कृतिक दृष्टि से भी अत्यंत महत्वपूर्ण है।

5.3 ओज़ोन परत पर प्रभाव

ओज़ोन परत पृथ्वी को सूर्य से आने वाली हानिकारक पराबैंगनी किरणों से सुरक्षा प्रदान करती है। यद्यपि ओज़ोन परत के क्षरण का प्रमुख कारण क्लोरोफ्लोरोकार्बन (CFCs) तथा अन्य ओज़ोन-क्षयकारी पदार्थ हैं, फिर भी अनेक औद्योगिक प्रक्रियाएँ इन पदार्थों के उत्सर्जन में प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से योगदान देती हैं। ओज़ोन परत के पतले होने से पृथ्वी की सतह तक अधिक मात्रा में पराबैंगनी किरणें पहुँचने लगती हैं। इससे मानव स्वास्थ्य के साथ-साथ वनस्पतियों, कृषि फसलों, जलीय जीवों तथा सूक्ष्मजीवों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। अत्यधिक पराबैंगनी विकिरण पौधों की वृद्धि, प्रकाश संश्लेषण तथा प्रजनन क्षमता को प्रभावित कर सकता है। समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र में प्लवक (Phytoplankton) जैसे सूक्ष्म जीवों पर इसका प्रभाव संपूर्ण समुद्री खाद्य श्रृंखला को प्रभावित कर सकता है।

वैश्विक स्तर पर ओज़ोन परत की सुरक्षा के लिए विभिन्न अंतरराष्ट्रीय समझौते लागू किए गए हैं, जिनके परिणामस्वरूप अनेक ओज़ोन-क्षयकारी पदार्थों के उपयोग में कमी आई है। इसके बावजूद औद्योगिक क्षेत्रों में पर्यावरणीय मानकों का निरंतर पालन तथा स्वच्छ विकल्पों का उपयोग आवश्यक बना हुआ है।

5.4 वैश्विक तापवृद्धि

वैश्विक तापवृद्धि औद्योगिक प्रदूषण से जुड़ी सबसे व्यापक समस्याओं में से एक है। ग्रीनहाउस गैसों की बढ़ती मात्रा के कारण पृथ्वी का औसत तापमान लगातार बढ़ रहा है। औद्योगिक उत्पादन, ऊर्जा उत्पादन, परिवहन तथा जीवाश्म ईंधनों के अत्यधिक उपयोग ने इस प्रक्रिया को और अधिक तीव्र बना दिया है। तापमान में वृद्धि का प्रभाव कृषि, जल संसाधनों, जैव विविधता, समुद्री पारिस्थितिकी तथा मानव जीवन पर व्यापक रूप से देखा जा रहा है। हिमनदों के पिघलने से समुद्र का जलस्तर बढ़ रहा है, जिसके कारण तटीय क्षेत्रों में बाढ़ एवं भूमि क्षरण की समस्या उत्पन्न हो रही है। कई क्षेत्रों में सूखे की अवधि बढ़ रही है, जबकि अन्य क्षेत्रों में अत्यधिक वर्षा एवं बाढ़ की घटनाएँ बढ़ रही हैं। यह स्थिति प्राकृतिक संसाधनों के प्रबंधन तथा खाद्य सुरक्षा के लिए गंभीर चुनौती उत्पन्न करती है। वैश्विक तापवृद्धि का प्रभाव पारिस्थितिकी तंत्रों की संरचना पर भी स्पष्ट रूप से दिखाई देता है। अनेक जीव प्रजातियाँ अपने पारंपरिक आवास छोड़ने के लिए विवश हो रही हैं तथा कुछ संवेदनशील प्रजातियाँ विलुप्ति के खतरे का सामना कर रही हैं। इससे जैव विविधता एवं पारिस्थितिक संतुलन दोनों प्रभावित होते हैं।

5.5 सतत विकास के समक्ष चुनौतियाँ

सतत विकास का मूल उद्देश्य आर्थिक प्रगति, सामाजिक कल्याण तथा पर्यावरण संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित करना है। किन्तु औद्योगिक प्रदूषण इस संतुलन के समक्ष अनेक गंभीर चुनौतियाँ उत्पन्न करता है। तीव्र औद्योगिकीकरण के कारण प्राकृतिक संसाधनों का अत्यधिक दोहन, ऊर्जा की बढ़ती मांग, अपशिष्टों का बढ़ता उत्पादन तथा प्रदूषण के बढ़ते स्तर सतत विकास के लक्ष्यों की प्राप्ति को कठिन बनाते हैं। वर्तमान समय में विकासशील देशों के समक्ष सबसे बड़ी चुनौती यह है कि वे आर्थिक विकास की गति बनाए रखते हुए पर्यावरणीय गुणवत्ता को भी सुरक्षित रखें। इसके लिए उद्योगों में स्वच्छ उत्पादन तकनीकों का उपयोग, ऊर्जा दक्षता में वृद्धि, नवीकरणीय ऊर्जा का विस्तार, अपशिष्ट पुनर्चक्रण, संसाधनों का विवेकपूर्ण उपयोग तथा हरित औद्योगिकीकरण को बढ़ावा देना आवश्यक है। सतत विकास की दिशा में प्रभावी पर्यावरणीय नीतियाँ, कठोर नियामक व्यवस्था, वैज्ञानिक निगरानी, पर्यावरणीय प्रभाव आकलन, उद्योगों की सामाजिक एवं पर्यावरणीय उत्तरदायित्व तथा जनसहभागिता अत्यंत महत्वपूर्ण हैं। इसके अतिरिक्त उद्योग, सरकार, वैज्ञानिक समुदाय, स्थानीय प्रशासन तथा नागरिक समाज के मध्य समन्वित सहयोग भी आवश्यक है, जिससे विकास एवं पर्यावरण संरक्षण के मध्य संतुलित दृष्टिकोण स्थापित किया जा सके। समग्र रूप से यह स्पष्ट होता है कि औद्योगिक प्रदूषण वर्तमान समय की लगभग सभी प्रमुख वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियों से प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से जुड़ा हुआ है। जलवायु परिवर्तन, अम्लीय वर्षा, ओज़ोन परत का संरक्षण, वैश्विक तापवृद्धि तथा सतत विकास जैसे विषय एक-दूसरे से परस्पर संबंधित हैं। इसलिए इन समस्याओं के समाधान के लिए समन्वित, वैज्ञानिक तथा दीर्घकालिक रणनीतियों को अपनाना आवश्यक है। स्वच्छ प्रौद्योगिकी, हरित औद्योगिकीकरण, अंतरराष्ट्रीय सहयोग, प्रभावी

पर्यावरणीय शासन तथा प्राकृतिक संसाधनों के सतत प्रबंधन के माध्यम से ही औद्योगिक विकास और पर्यावरण संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित किया जा सकता है।

6. औद्योगिक प्रदूषण नियंत्रण एवं संरक्षण रणनीतियाँ

औद्योगिक प्रदूषण वर्तमान समय की सबसे गंभीर पर्यावरणीय चुनौतियों में से एक है। इसके प्रभाव केवल वायु, जल एवं मृदा तक सीमित नहीं रहते, बल्कि संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र, जैव विविधता तथा मानव जीवन की गुणवत्ता को भी प्रभावित करते हैं। इसलिए औद्योगिक विकास के साथ-साथ प्रभावी प्रदूषण नियंत्रण एवं पर्यावरण संरक्षण रणनीतियों को अपनाना अत्यंत आवश्यक हो गया है। आधुनिक पर्यावरणीय प्रबंधन का उद्देश्य केवल प्रदूषण को नियंत्रित करना नहीं है, बल्कि ऐसी औद्योगिक प्रणाली का विकास करना है जो आर्थिक प्रगति के साथ प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण एवं सतत विकास को भी सुनिश्चित कर सके।

6.1 पर्यावरणीय कानून एवं नीतियाँ

पर्यावरण संरक्षण के लिए प्रभावी विधिक एवं नीतिगत व्यवस्था किसी भी देश की पर्यावरणीय शासन प्रणाली का आधार होती है। औद्योगिक गतिविधियों के कारण उत्पन्न प्रदूषण को नियंत्रित करने के लिए विभिन्न देशों में समय-समय पर अनेक पर्यावरणीय कानून, नियम एवं मानक निर्धारित किए गए हैं। इनका उद्देश्य उद्योगों द्वारा प्रदूषकों के उत्सर्जन को नियंत्रित करना, अपशिष्टों के सुरक्षित निपटान को सुनिश्चित करना तथा प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण को बढ़ावा देना है। भारत में पर्यावरण संरक्षण के लिए वायु प्रदूषण नियंत्रण, जल प्रदूषण नियंत्रण, पर्यावरण संरक्षण, वन संरक्षण तथा जैव विविधता संरक्षण से संबंधित अनेक अधिनियम लागू किए गए हैं। इन कानूनों के माध्यम से उद्योगों के लिए उत्सर्जन मानक, अपशिष्ट उपचार, पर्यावरणीय प्रभाव आकलन तथा नियमित निगरानी जैसी व्यवस्थाएँ विकसित की गई हैं। इसके अतिरिक्त केंद्रीय एवं राज्य प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड उद्योगों की पर्यावरणीय गतिविधियों की निगरानी करते हैं तथा पर्यावरणीय मानकों के अनुपालन को सुनिश्चित करने का प्रयास करते हैं। प्रभावी पर्यावरणीय नीतियों का उद्देश्य केवल दंडात्मक व्यवस्था तक सीमित नहीं होना चाहिए, बल्कि उद्योगों को स्वच्छ प्रौद्योगिकी अपनाने, संसाधनों के कुशल उपयोग तथा पर्यावरणीय उत्तरदायित्व के लिए प्रोत्साहित करना भी आवश्यक है। पारदर्शी प्रशासन, नियमित पर्यावरणीय ऑडिट तथा जनसहभागिता के माध्यम से पर्यावरणीय शासन को अधिक प्रभावी बनाया जा सकता है।

6.2 प्रदूषण नियंत्रण तकनीक

औद्योगिक प्रदूषण को नियंत्रित करने में आधुनिक प्रौद्योगिकी की भूमिका अत्यंत महत्वपूर्ण है। वर्तमान समय में विभिन्न प्रकार की प्रदूषण नियंत्रण तकनीकों का विकास किया गया है, जिनका उद्देश्य प्रदूषकों के उत्सर्जन को न्यूनतम करना तथा प्राकृतिक संसाधनों की गुणवत्ता को सुरक्षित रखना है। इन तकनीकों के माध्यम से वायु, जल एवं मृदा प्रदूषण को प्रभावी ढंग से नियंत्रित किया जा सकता है। वायु प्रदूषण नियंत्रण के लिए इलेक्ट्रोस्टैटिक प्रीसिपिटेटर, बैग फ़िल्टर, साइक्लोन सेपरेटर, स्क्रबर तथा गैस शोधन प्रणालियों का उपयोग किया जाता है। जल प्रदूषण नियंत्रण हेतु अपशिष्ट जल उपचार संयंत्र, जैविक उपचार प्रणाली, रासायनिक उपचार तथा उन्नत निस्पंदन तकनीकों का प्रयोग किया जाता है। इसी प्रकार ठोस अपशिष्टों के सुरक्षित निपटान, पुनः उपयोग एवं पुनर्चक्रण के लिए आधुनिक अपशिष्ट प्रबंधन प्रणालियाँ विकसित की गई हैं।

डिजिटल तकनीकों, सेंसर आधारित निगरानी प्रणाली, कृत्रिम बुद्धिमत्ता, इंटरनेट ऑफ थिंग्स तथा रिमोट मॉनिटरिंग तकनीकों के उपयोग से प्रदूषण के स्तर का वास्तविक समय में आकलन किया जा सकता है। इससे पर्यावरणीय जोखिमों की शीघ्र पहचान तथा समय पर सुधारात्मक कार्यवाही संभव हो जाती है।

6.3 हरित औद्योगिकीकरण

हरित औद्योगिकीकरण आधुनिक औद्योगिक विकास की ऐसी अवधारणा है जिसमें उत्पादन क्षमता एवं आर्थिक विकास को पर्यावरण संरक्षण के साथ संतुलित किया जाता है। इसका उद्देश्य प्राकृतिक संसाधनों के विवेकपूर्ण उपयोग, ऊर्जा दक्षता में वृद्धि तथा प्रदूषण के स्तर को न्यूनतम करते हुए औद्योगिक विकास को दीर्घकालिक एवं पर्यावरण-अनुकूल बनाना है। हरित औद्योगिकीकरण के अंतर्गत स्वच्छ ऊर्जा स्रोतों का उपयोग, ऊर्जा दक्ष उपकरणों का विकास, जल संरक्षण, अपशिष्टों का पुनर्चक्रण, कार्बन उत्सर्जन में कमी तथा पर्यावरण-अनुकूल उत्पादन प्रक्रियाओं को बढ़ावा दिया जाता है। इसके माध्यम से उद्योगों की उत्पादन लागत में भी कमी आती है तथा संसाधनों का अधिक कुशल उपयोग संभव होता है। हरित उद्योग न केवल पर्यावरणीय गुणवत्ता में सुधार करते हैं, बल्कि सामाजिक उत्तरदायित्व, नवाचार, प्रतिस्पर्धात्मक क्षमता तथा सतत आर्थिक विकास को भी प्रोत्साहित करते हैं। भविष्य की औद्योगिक नीतियों में हरित औद्योगिकीकरण को प्राथमिकता देना पर्यावरण संरक्षण की दृष्टि से अत्यंत आवश्यक है।

6.4 अपशिष्ट प्रबंधन एवं पुनर्चक्रण

औद्योगिक अपशिष्टों का वैज्ञानिक प्रबंधन पर्यावरण संरक्षण की दिशा में सबसे महत्वपूर्ण उपायों में से एक है। उद्योगों से उत्पन्न ठोस, द्रव एवं रासायनिक अपशिष्टों का यदि उचित उपचार एवं प्रबंधन न किया जाए तो वे दीर्घकाल तक पर्यावरण को प्रदूषित करते रहते हैं। इसलिए अपशिष्टों के उत्पादन को कम करना तथा उनका सुरक्षित निपटान सुनिश्चित करना आवश्यक है। आधुनिक अपशिष्ट प्रबंधन का आधार "कम उपयोग, पुनः उपयोग एवं पुनर्चक्रण" की अवधारणा है। उत्पादन प्रक्रिया में उत्पन्न अपशिष्टों का पुनः उपयोग कर प्राकृतिक संसाधनों की खपत कम की जा सकती है। पुनर्चक्रण की प्रक्रिया से धातु, प्लास्टिक, कागज, काँच तथा अन्य औद्योगिक पदार्थों का पुनः उत्पादन संभव होता है, जिससे कच्चे संसाधनों की आवश्यकता कम होती है तथा प्रदूषण का स्तर भी घटता है। अपशिष्ट प्रबंधन में वैज्ञानिक वर्गीकरण, सुरक्षित भंडारण, उपचार, परिवहन तथा अंतिम निपटान की समुचित व्यवस्था भी आवश्यक है। खतरनाक अपशिष्टों के लिए विशेष प्रबंधन प्रणाली विकसित की जानी चाहिए ताकि उनका प्रभाव पारिस्थितिकी तंत्र पर न्यूनतम हो।

6.5 स्वच्छ उत्पादन तकनीक

स्वच्छ उत्पादन तकनीक का उद्देश्य उत्पादन प्रक्रिया के प्रत्येक चरण में प्रदूषण को उत्पन्न होने से पहले ही कम करना है। यह पारंपरिक प्रदूषण नियंत्रण पद्धतियों से भिन्न है क्योंकि इसमें प्रदूषण को बाद में नियंत्रित करने के स्थान पर उत्पादन प्रक्रिया को ही अधिक पर्यावरण-अनुकूल बनाया जाता है।

स्वच्छ उत्पादन तकनीकों के अंतर्गत ऊर्जा दक्ष मशीनों का उपयोग, कम विषैले कच्चे माल का चयन, जल की बचत, संसाधनों का अधिकतम उपयोग तथा अपशिष्टों के उत्पादन को न्यूनतम करने पर बल दिया जाता है।

इससे उत्पादन प्रक्रिया अधिक सुरक्षित, किफायती तथा पर्यावरण-अनुकूल बनती है। स्वच्छ उत्पादन अपनाने वाले उद्योगों में ऊर्जा की खपत कम होती है, प्रदूषण नियंत्रण पर होने वाला व्यय घटता है तथा उत्पादों की गुणवत्ता एवं प्रतिस्पर्धात्मक क्षमता में भी सुधार होता है। यही कारण है कि आधुनिक औद्योगिक विकास में स्वच्छ उत्पादन तकनीकों को सतत विकास का महत्वपूर्ण आधार माना जा रहा है।

6.6 उद्योगों की पर्यावरणीय उत्तरदायित्व

औद्योगिक विकास को पर्यावरण संरक्षण के साथ संतुलित करने के लिए उद्योगों की पर्यावरणीय उत्तरदायित्व अत्यंत महत्वपूर्ण है। प्रत्येक उद्योग का दायित्व है कि वह उत्पादन प्रक्रिया के दौरान पर्यावरणीय मानकों का पालन करे, प्राकृतिक संसाधनों का विवेकपूर्ण उपयोग करे तथा प्रदूषण नियंत्रण उपायों को प्रभावी ढंग से लागू करे। पर्यावरणीय उत्तरदायित्व के अंतर्गत उद्योगों को नियमित पर्यावरणीय निगरानी, उत्सर्जन नियंत्रण, अपशिष्ट प्रबंधन, जल एवं ऊर्जा संरक्षण, वृक्षारोपण तथा स्थानीय समुदायों के साथ सहयोग जैसे कार्यों को अपनी प्रबंधन प्रणाली का अभिन्न भाग बनाना चाहिए। इसके अतिरिक्त पर्यावरणीय लेखा-जोखा, स्थिरता प्रतिवेदन तथा पर्यावरणीय प्रदर्शन का नियमित मूल्यांकन उद्योगों की पारदर्शिता एवं जवाबदेही को बढ़ाता है।

आधुनिक समय में पर्यावरणीय, सामाजिक एवं सुशासन संबंधी मानकों का महत्व लगातार बढ़ रहा है। उद्योग यदि आर्थिक लाभ के साथ सामाजिक एवं पर्यावरणीय उत्तरदायित्व को भी समान महत्व दें, तो दीर्घकाल में सतत विकास, प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण तथा पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता सुनिश्चित की जा सकती है। समग्र रूप से यह कहा जा सकता है कि औद्योगिक प्रदूषण का प्रभावी नियंत्रण केवल किसी एक उपाय से संभव नहीं है। इसके लिए विधिक प्रावधानों, आधुनिक प्रौद्योगिकी, हरित औद्योगिकीकरण, वैज्ञानिक अपशिष्ट प्रबंधन, स्वच्छ उत्पादन प्रणाली तथा उद्योगों की पर्यावरणीय उत्तरदायित्व को एकीकृत रूप से अपनाना आवश्यक है। जब सरकार, उद्योग, वैज्ञानिक संस्थान तथा समाज मिलकर समन्वित प्रयास करेंगे, तभी औद्योगिक विकास और पर्यावरण संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित किया जा सकेगा तथा भविष्य की पीढ़ियों के लिए सुरक्षित एवं स्वस्थ पारिस्थितिकी तंत्र का निर्माण संभव होगा।

7. चर्चा

प्रस्तुत समीक्षा अध्ययन के अंतर्गत उपलब्ध राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय साहित्य का समग्र एवं तुलनात्मक विश्लेषण किया गया। साहित्य के अध्ययन से यह स्पष्ट होता है कि औद्योगिक प्रदूषण वर्तमान समय की सबसे गंभीर पर्यावरणीय समस्याओं में से एक है, जिसका प्रभाव केवल वायु, जल एवं मृदा की गुणवत्ता तक सीमित नहीं रहता, बल्कि संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना, कार्यप्रणाली तथा स्थिरता को भी प्रभावित करता है। विभिन्न शोधों में यह व्यापक रूप से स्वीकार किया गया है कि औद्योगिकीकरण ने आर्थिक विकास को गति प्रदान की है, किन्तु इसके साथ प्राकृतिक संसाधनों पर बढ़ते दबाव ने पर्यावरणीय असंतुलन की समस्या को भी गंभीर बनाया है। उपलब्ध साहित्य के तुलनात्मक अध्ययन से यह ज्ञात होता है कि अधिकांश शोधों ने औद्योगिक प्रदूषण के किसी एक विशिष्ट आयाम पर विशेष ध्यान केंद्रित किया है। अनेक अध्ययनों में वायु प्रदूषण एवं मानव स्वास्थ्य के संबंधों का विश्लेषण किया गया है, जबकि कुछ अध्ययनों में जल प्रदूषण, मृदा प्रदूषण अथवा भारी धातुओं के प्रभावों का पृथक अध्ययन किया गया है। इसी प्रकार अनेक शोध जैव विविधता संरक्षण, जलवायु परिवर्तन अथवा औद्योगिक अपशिष्ट प्रबंधन तक सीमित रहे हैं। इसके विपरीत अपेक्षाकृत कम अध्ययन ऐसे

उपलब्ध हैं जिनमें औद्योगिक प्रदूषण के विभिन्न स्वरूपों तथा उनके पारिस्थितिकी तंत्र पर पड़ने वाले संयुक्त प्रभावों का समेकित मूल्यांकन प्रस्तुत किया गया हो। साहित्य में पर्याप्त समानता इस तथ्य को लेकर दिखाई देती है कि औद्योगिक प्रदूषण पारिस्थितिक संतुलन को प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष दोनों रूपों में प्रभावित करता है। लगभग सभी अध्ययनों में यह स्वीकार किया गया है कि वायु, जल एवं मृदा प्रदूषण के कारण जैव विविधता में कमी, प्राकृतिक आवासों का क्षरण, खाद्य श्रृंखला में विषैले तत्वों का संचयन तथा पारिस्थितिक सेवाओं की गुणवत्ता में गिरावट आती है। अधिकांश शोध यह भी संकेत करते हैं कि प्रदूषण के दीर्घकालिक प्रभाव धीरे-धीरे संपूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र को प्रभावित करते हैं तथा इनके परिणाम कई दशकों तक बने रह सकते हैं।

यद्यपि विभिन्न अध्ययनों के निष्कर्षों में व्यापक समानता पाई जाती है, तथापि कुछ महत्वपूर्ण भिन्नताएँ भी दृष्टिगोचर होती हैं। विकसित देशों में किए गए अनेक अध्ययनों का मुख्य फोकस स्वच्छ उत्पादन तकनीकों, कार्बन उत्सर्जन में कमी तथा हरित औद्योगिकीकरण पर केंद्रित है, जबकि विकासशील देशों में किए गए अधिकांश अध्ययन प्रदूषण नियंत्रण, अपशिष्ट प्रबंधन, पर्यावरणीय कानूनों के अनुपालन तथा प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण पर अधिक बल देते हैं। इसी प्रकार विभिन्न भौगोलिक क्षेत्रों की जलवायु, औद्योगिक संरचना तथा संसाधनों की उपलब्धता के कारण प्रदूषण के स्वरूप एवं प्रभावों में भी क्षेत्रीय भिन्नताएँ देखने को मिलती हैं। समीक्षित साहित्य से यह भी स्पष्ट होता है कि पारिस्थितिकी तंत्र पर औद्योगिक प्रदूषण के प्रभाव बहुआयामी एवं परस्पर संबंधित हैं। किसी एक पर्यावरणीय घटक में उत्पन्न असंतुलन का प्रभाव अन्य घटकों पर भी पड़ता है। उदाहरण के लिए वायु प्रदूषण अम्लीय वर्षा के माध्यम से मृदा एवं जल दोनों को प्रभावित कर सकता है, जबकि जल प्रदूषण जलीय जीवों, कृषि उत्पादन तथा खाद्य श्रृंखला को प्रभावित करता है। इसी प्रकार मृदा प्रदूषण वनस्पतियों एवं सूक्ष्मजीवों की सक्रियता को प्रभावित कर संपूर्ण पारिस्थितिक तंत्र की उत्पादकता में कमी ला सकता है। यह अंतर्संबंध दर्शाता है कि औद्योगिक प्रदूषण की समस्या को पृथक-पृथक घटकों के आधार पर नहीं, बल्कि समग्र पारिस्थितिक दृष्टिकोण से समझना आवश्यक है। उपलब्ध साहित्य के विश्लेषण से कुछ महत्वपूर्ण शोध अंतर भी सामने आते हैं। अधिकांश अध्ययन किसी एक प्रदूषक, किसी विशिष्ट उद्योग अथवा किसी सीमित भौगोलिक क्षेत्र तक केंद्रित हैं। बहुत कम शोध ऐसे उपलब्ध हैं जिनमें वायु, जल, मृदा, जैव विविधता, पारिस्थितिक सेवाओं, जलवायु परिवर्तन तथा सतत विकास के मध्य अंतर्संबंधों का एकीकृत विश्लेषण प्रस्तुत किया गया हो। इसके अतिरिक्त विकासशील देशों, विशेषकर भारत के संदर्भ में ऐसे समेकित समीक्षा अध्ययनों की संख्या अपेक्षाकृत कम है जो औद्योगिक प्रदूषण के बहुआयामी पारिस्थितिक प्रभावों का व्यापक मूल्यांकन प्रस्तुत करते हों।

वर्तमान अध्ययन इस शोध अंतर को आंशिक रूप से पूरा करने का प्रयास करता है। इसमें औद्योगिक प्रदूषण के विभिन्न स्वरूपों, पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना एवं कार्यप्रणाली, जैव विविधता, खाद्य श्रृंखला, पारिस्थितिक सेवाओं तथा वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियों के मध्य संबंधों का समग्र एवं विश्लेषणात्मक अध्ययन प्रस्तुत किया गया है। यह दृष्टिकोण विषय को व्यापक संदर्भ में समझने तथा विभिन्न अध्ययनों के निष्कर्षों को एकीकृत करने में सहायक सिद्ध होता है। भविष्य के अनुसंधानों के लिए अनेक महत्वपूर्ण संभावनाएँ उपलब्ध हैं। कृत्रिम बुद्धिमत्ता, रिमोट सेंसिंग, भौगोलिक सूचना प्रणाली, बिग डेटा विश्लेषण तथा इंटरनेट ऑफ थिंग्स जैसी आधुनिक तकनीकों का उपयोग करके औद्योगिक प्रदूषण की वास्तविक समय में निगरानी तथा पारिस्थितिक परिवर्तनों का अधिक सटीक मूल्यांकन किया जा सकता है। इसके अतिरिक्त जलवायु परिवर्तन, कार्बन तटस्थता, परिपत्र अर्थव्यवस्था, हरित औद्योगिकीकरण तथा प्रकृति-आधारित समाधानों के संदर्भ में औद्योगिक प्रदूषण के प्रभावों पर बहुविषयक अनुसंधान भविष्य में अत्यंत उपयोगी सिद्ध होंगे। स्थानीय समुदायों की सहभागिता, पर्यावरणीय

शासन तथा औद्योगिक उत्तरदायित्व पर आधारित अध्ययनों से भी सतत विकास की दिशा में महत्वपूर्ण ज्ञान प्राप्त किया जा सकता है। समग्र रूप से यह कहा जा सकता है कि उपलब्ध साहित्य औद्योगिक प्रदूषण को एक जटिल एवं बहुआयामी पर्यावरणीय चुनौती के रूप में प्रस्तुत करता है। इसके प्रभावों को समझने तथा प्रभावी समाधान विकसित करने के लिए वैज्ञानिक अनुसंधान, पर्यावरणीय नीतियों, आधुनिक प्रौद्योगिकी तथा सामाजिक सहभागिता के मध्य समन्वित दृष्टिकोण अपनाना अत्यंत आवश्यक है।

8. निष्कर्ष

प्रस्तुत समीक्षा अध्ययन से यह स्पष्ट होता है कि औद्योगिकीकरण आर्थिक एवं सामाजिक विकास की एक अनिवार्य प्रक्रिया है, किन्तु इसके साथ उत्पन्न औद्योगिक प्रदूषण ने पारिस्थितिकी तंत्र के समक्ष अनेक गंभीर चुनौतियाँ प्रस्तुत की हैं। वायु, जल, मृदा, ध्वनि तथा रासायनिक प्रदूषण के कारण प्राकृतिक संसाधनों की गुणवत्ता प्रभावित हो रही है तथा जैव विविधता, खाद्य श्रृंखला, पारिस्थितिक सेवाओं एवं प्राकृतिक संतुलन पर दीर्घकालिक प्रतिकूल प्रभाव पड़ रहे हैं। इन प्रभावों का दायरा स्थानीय स्तर से लेकर वैश्विक स्तर तक विस्तृत है तथा यह पर्यावरणीय, सामाजिक एवं आर्थिक विकास के सभी आयामों को प्रभावित करता है। साहित्य के समेकित विश्लेषण से यह भी स्पष्ट होता है कि औद्योगिक प्रदूषण किसी एक पर्यावरणीय घटक तक सीमित नहीं रहता, बल्कि यह वायुमंडलीय, जलीय तथा स्थलीय पारिस्थितिकी तंत्रों के मध्य स्थापित प्राकृतिक संतुलन को प्रभावित करता है। प्रदूषकों के कारण जैव विविधता में कमी, प्राकृतिक आवासों का क्षरण, खाद्य श्रृंखला में विषैले तत्वों का संचयन तथा पारिस्थितिक सेवाओं की गुणवत्ता में गिरावट जैसी समस्याएँ उत्पन्न होती हैं। परिणामस्वरूप प्राकृतिक संसाधनों की उत्पादकता, पर्यावरणीय स्थिरता तथा मानव समाज की दीर्घकालिक विकास क्षमता प्रभावित होती है। अध्ययन से यह भी ज्ञात होता है कि औद्योगिक प्रदूषण की समस्या का समाधान केवल प्रदूषण नियंत्रण तक सीमित नहीं है, बल्कि इसके लिए समग्र पर्यावरणीय प्रबंधन की आवश्यकता है। स्वच्छ उत्पादन तकनीकों का उपयोग, हरित औद्योगिकीकरण, संसाधनों का पुनर्चक्रण, ऊर्जा दक्षता, अपशिष्टों का वैज्ञानिक प्रबंधन तथा प्रभावी पर्यावरणीय शासन इस दिशा में महत्वपूर्ण उपाय सिद्ध हो सकते हैं। इसके साथ ही पर्यावरणीय कानूनों का कठोर अनुपालन, नियमित निगरानी तथा उद्योगों की सामाजिक एवं पर्यावरणीय उत्तरदायित्व को भी सुदृढ़ किया जाना आवश्यक है। प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण एवं पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता के लिए उद्योगों, सरकार, वैज्ञानिक संस्थानों तथा स्थानीय समुदायों के मध्य समन्वित सहयोग अत्यंत आवश्यक है। पर्यावरणीय शिक्षा, जन-जागरूकता तथा आधुनिक तकनीकों का उपयोग प्रदूषण नियंत्रण को अधिक प्रभावी बना सकता है। कृत्रिम बुद्धिमत्ता, रिमोट सेंसिंग, भौगोलिक सूचना प्रणाली तथा डिजिटल निगरानी प्रणालियाँ भविष्य में पर्यावरणीय प्रबंधन की दक्षता को और अधिक सुदृढ़ कर सकती हैं।

सतत विकास के परिप्रेक्ष्य में औद्योगिक विकास एवं पर्यावरण संरक्षण को परस्पर पूरक दृष्टिकोण से देखना आवश्यक है। आर्थिक प्रगति तभी दीर्घकालिक एवं समावेशी मानी जाएगी जब वह प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण, जैव विविधता की सुरक्षा तथा पारिस्थितिक संतुलन के साथ संतुलित रूप से आगे बढ़े। हरित प्रौद्योगिकी, स्वच्छ ऊर्जा, परिपत्र अर्थव्यवस्था तथा पर्यावरण-अनुकूल औद्योगिक नीतियाँ भविष्य के सतत औद्योगिक विकास की आधारशिला सिद्ध हो सकती हैं।

अंततः यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि औद्योगिक प्रदूषण केवल पर्यावरणीय समस्या नहीं, बल्कि सतत विकास, प्राकृतिक संसाधन प्रबंधन तथा मानव कल्याण से जुड़ी एक बहुआयामी वैश्विक चुनौती है। इस चुनौती का प्रभावी समाधान वैज्ञानिक अनुसंधान, तकनीकी नवाचार, पर्यावरणीय उत्तरदायित्व, नीतिगत प्रतिबद्धता तथा सामाजिक सहभागिता के समन्वित प्रयासों से ही संभव है। ऐसा समग्र दृष्टिकोण ही भविष्य की पीढ़ियों के लिए सुरक्षित, स्वस्थ एवं संतुलित पारिस्थितिकी तंत्र सुनिश्चित करने में सहायक होगा।

संदर्भ

- [1] United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [2] Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, Article 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- [4] World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- [5] European Environment Agency. (2024). *Europe's air quality status 2024*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-air-quality-status-2024>
- [6] Schwarzenbach, R. P., Egli, T., Hofstetter, T. B., von Gunten, U., & Wehrli, B. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 109–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- [7] Das, S., Roy, A., Ghosh, A., Saha, R., Mondal, P., & Das, A. (2023). Heavy metal pollution in the environment and its impact on health: Exploring green technology for remediation. *Environmental Health Insights*, 17, 1–19. <https://doi.org/10.1177/11786302231201317>
- [8] Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. IPBES Secretariat.
- [9] Singh, V., Singh, N., Rai, S. N., Kumar, A., Singh, A. K., Singh, M. P., Sahoo, A., & Shekhar, S. (2023). Heavy metal contamination in the aquatic ecosystem: Toxicity and its remediation using eco-friendly approaches. *Toxics*, 11(2), 147. <https://doi.org/10.3390/toxics11020147>
- [10] Ji, S., Pan, S., Li, Z., Camara, M. A., & Miao, C. (2022). The effects of industrial pollution on ecosystem service value: A case study in a heavy industrial area, China. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 9477–9494. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01728-y>

- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. IPCC.
- [12] Central Pollution Control Board. (2022). *Comprehensive environmental assessment of critically polluted industrial clusters in India*. Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India.
- [13] United Nations Environment Programme. (2019). *Global environment outlook 6: Healthy planet, healthy people*. Cambridge University Press.
- [14] World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- [15] United Nations Environment Programme. (2021). *Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. United Nations Environment Programme.
- [16] Kumar, R., Verma, A., Shome, A., Sinha, R., Sinha, S., Jha, P. K., Kumar, R., Kumar, P., Das, S., Sharma, P., & Prasad, P. V. V. (2021). Impacts of plastic pollution on ecosystem services, sustainable development goals, and need to focus on circular economy and policy interventions. *Sustainability*, 13(17), 9963. <https://doi.org/10.3390/su13179963>
- [17] Aziz, K. H. H., Mustafa, F. S., Omer, K. M., Hama, S., Hamarawf, R. F., & Rahman, K. O. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: Efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity. *RSC Advances*, 13, 17595–17610. <https://doi.org/10.1039/D3RA00723E>
- [18] Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., et al. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
- [19] Fuller, R., Landrigan, P. J., Balakrishnan, K., Bathan, G., Bose-O'Reilly, S., Brauer, M., et al. (2022). Pollution and health: A progress update. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e535–e547. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)
- [20] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. FAO.
- [21] Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Brooks/Cole.
- [22] Daily, G. C. (Ed.). (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- [23] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>