

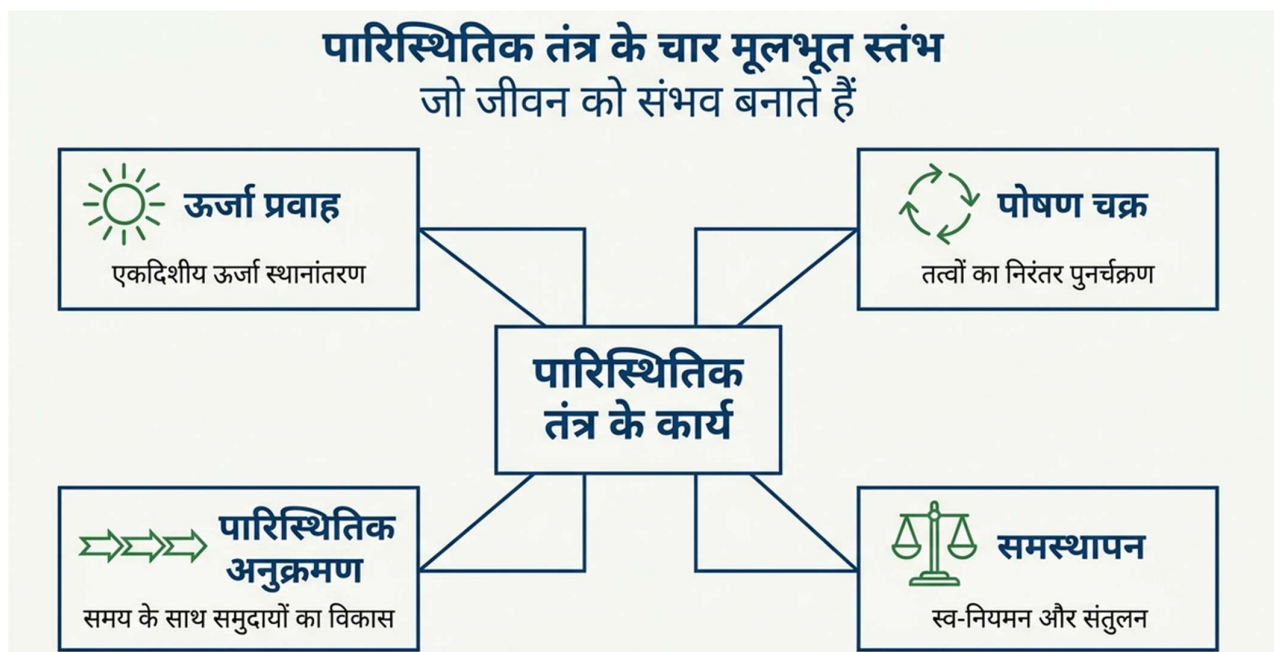
पारिस्थितिक तंत्र की कार्यप्रणाली

पारिस्थितिक तंत्र (Ecosystem) की अवधारणा को पहली बार 1935 में ए.जी. टैन्सले द्वारा प्रस्तुत किया गया था। सरल शब्दों में, एक पारिस्थितिक तंत्र किसी क्षेत्र में मौजूद सभी जैविक (Biotic) घटकों (जैसे पौधे, जानवर, सूक्ष्मजीव) और अजैविक (Abiotic) घटकों (जैसे हवा, पानी, मिट्टी, सूर्य का प्रकाश) के बीच होने वाली पारस्परिक क्रिया (Interaction) और उनके जटिल संबंधों का एक एकीकृत तंत्र है।

पारिस्थितिक तंत्र की कार्यप्रणाली का तात्पर्य उन प्रक्रियाओं से है जो इस तंत्र को जीवित, गतिशील और स्थिर बनाए रखती हैं। यह सिर्फ घटकों का संग्रह नहीं है, बल्कि यह एक 'कार्यशील' इकाई है। इसकी कार्यप्रणाली ही जीवन का आधार है, जो ऊर्जा के प्रवाह और पोषक तत्वों के चक्रण पर निर्भर करती है।

पारिस्थितिक तंत्र की मुख्य कार्यप्रणाली

पारिस्थितिक तंत्र की कार्यप्रणाली मुख्य रूप से चार प्रमुख प्रक्रियाओं के इर्द-गिर्द घूमती है:



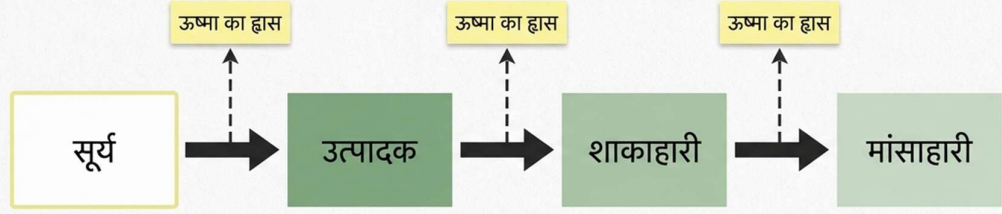
1. ऊर्जा का प्रवाह (Energy Flow)

यह पारिस्थितिक तंत्र की सबसे मूलभूत और महत्वपूर्ण प्रक्रिया है।

- पारिस्थितिक तंत्र में ऊर्जा का प्रवाह **एकदिशीय (Unidirectional)** होता है। यह सूर्य से शुरू होता है और विभिन्न पोषी स्तरों (Trophic Levels) से होकर गुजरता है।
- पृथ्वी पर अधिकांश पारिस्थितिक तंत्रों के लिए ऊर्जा का अंतिम स्रोत **सूर्य** है।

ऊर्जा का प्रवाह

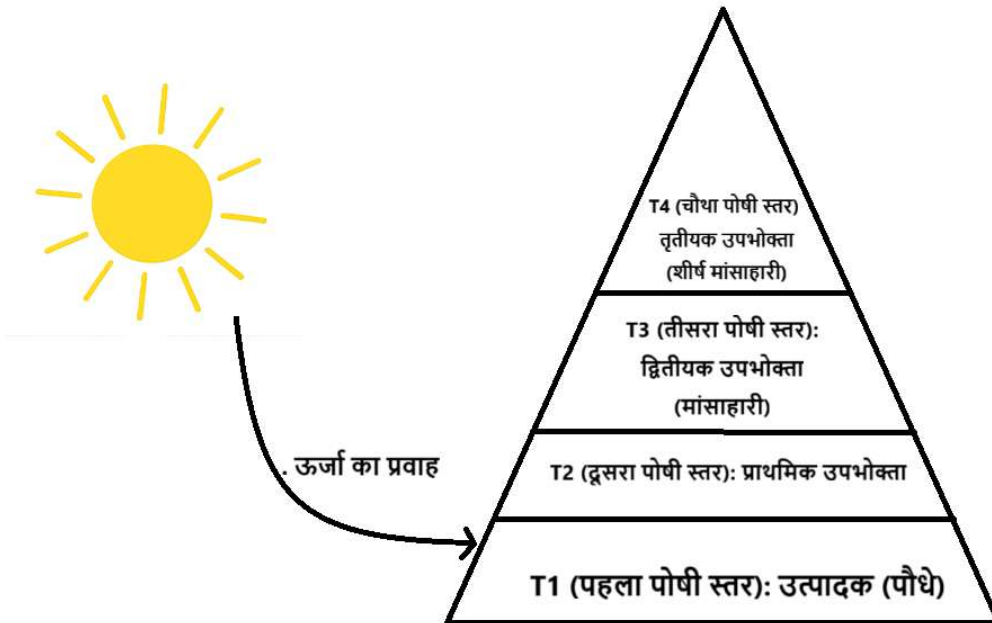
ऊर्जा का प्रवाह हमेशा एकदिशीय (Unidirectional) होता है।



★ **लिंडेमैन का 10% नियम:** एक पोषण स्तर से अगले स्तर तक केवल 10% ऊर्जा ही स्थानांतरित होती है। शेष 90% ऊष्मा के रूप में नष्ट हो जाती है।

• प्रक्रिया:

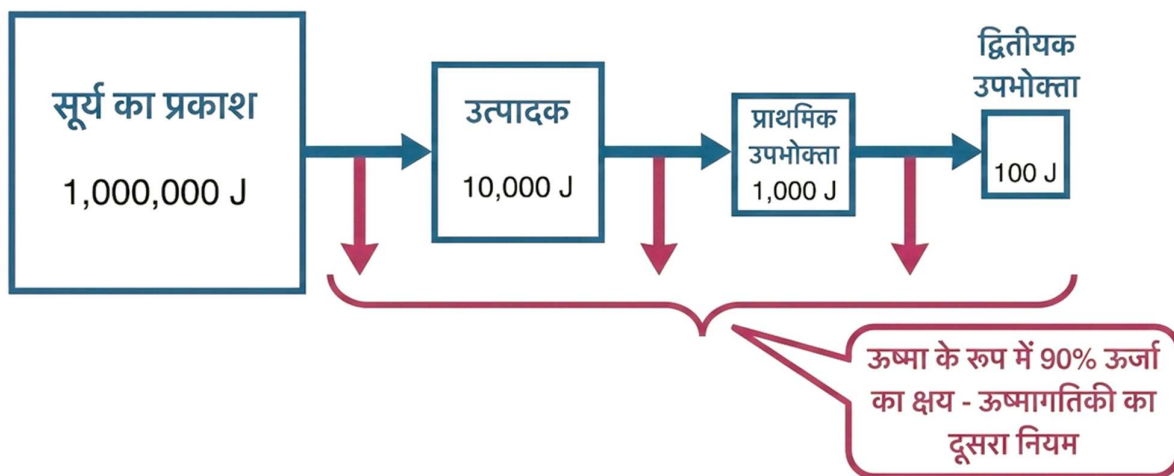
1. **प्रकाश संश्लेषण (Photosynthesis):** हरे पौधे (उत्पादक) सौर ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा (भोजन) में परिवर्तित करते हैं।
2. **पोषी स्तर (Trophic Levels):** ऊर्जा भोजन के रूप में एक स्तर से दूसरे स्तर पर स्थानांतरित होती है।



- T1 (पहला पोषी स्तर): उत्पादक (पौधे)।
- T2 (दूसरा पोषी स्तर): प्राथमिक उपभोक्ता (शाकाहारी, जो पौधों को खाते हैं)।

- **T3 (तीसरा पोषी स्तर):** द्वितीयक उपभोक्ता (मांसाहारी, जो शाकाहारियों को खाते हैं)।
- **T4 (चौथा पोषी स्तर):** तृतीयक उपभोक्ता (शीर्ष मांसाहारी)।
- **ऊष्मागतिकी के नियम (Laws of Thermodynamics):**
 - **पहला नियम:** ऊर्जा को न तो बनाया जा सकता है और न ही नष्ट किया जा सकता है; इसे केवल एक रूप से दूसरे रूप में बदला जा सकता है (जैसे सौर ऊर्जा से रासायनिक ऊर्जा)।
 - **दूसरा नियम:** जब ऊर्जा स्थानांतरित होती है, तो इसका कुछ हिस्सा (मुख्य रूप से ऊष्मा के रूप में) श्वसन (Respiration) जैसी चयापचय क्रियाओं में नष्ट हो जाता है।
- **लिंडमैन का 10% नियम (Lindeman's 10% Rule):** यह एक सामान्य नियम है कि एक पोषी स्तर से अगले पोषी स्तर पर केवल लगभग **10% ऊर्जा** ही स्थानांतरित हो पाती है। शेष 90% ऊर्जा उपापचयी गतिविधियों या ऊष्मा के रूप में खो जाती है। यही कारण है कि खाद्य श्रृंखलाएं (Food Chains) आमतौर पर 4-5 स्तरों तक सीमित होती हैं, क्योंकि शीर्ष स्तर तक पहुँचने के लिए पर्याप्त ऊर्जा नहीं बचती।

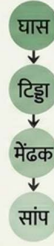
ऊर्जा प्रवाह सदैव एकदिशीय होता है और लिंडेमैन के 10% नियम का पालन करता है



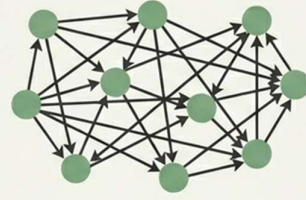
खाद्य श्रृंखला और खाद्य जाल (Food Chain and Food Web): ऊर्जा प्रवाह का रैखिक (Linear) पथ 'खाद्य श्रृंखला' कहलाता है (जैसे: घास → हिरण → शेर)। हालांकि, प्रकृति में अधिकांश पारिस्थितिक तंत्रों में कई खाद्य श्रृंखलाएं आपस में जुड़ी होती हैं, जिसे 'खाद्य जाल' (Food Web) कहते हैं, जो अधिक जटिल और स्थिर होता है।

खाद्य श्रृंखला बनाम खाद्य जाल

खाद्य श्रृंखला

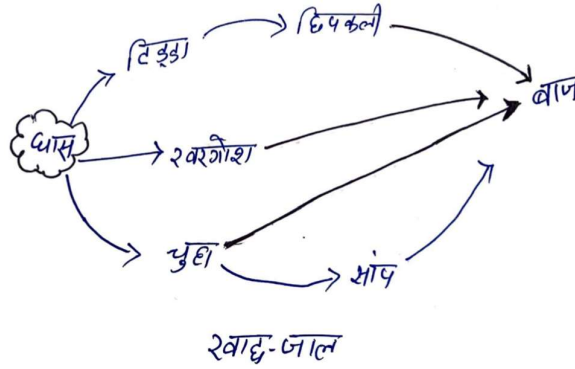


खाद्य जाल



विशेषता	खाद्य श्रृंखला	खाद्य जाल
जटिलता	सरल और रैखिक	अत्यधिक जटिल
स्थिरता	कम स्थिर	अधिक स्थिर
ऊर्जा प्रवाह	एकल मार्ग	कई वैकल्पिक मार्ग
भोजन के विकल्प	सीमित	प्रचुर

👉 **निष्कर्ष:** खाद्य जाल जितना अधिक जटिल होगा, पारिस्थितिकी तंत्र उतना ही अधिक स्थिर होगा। 👉

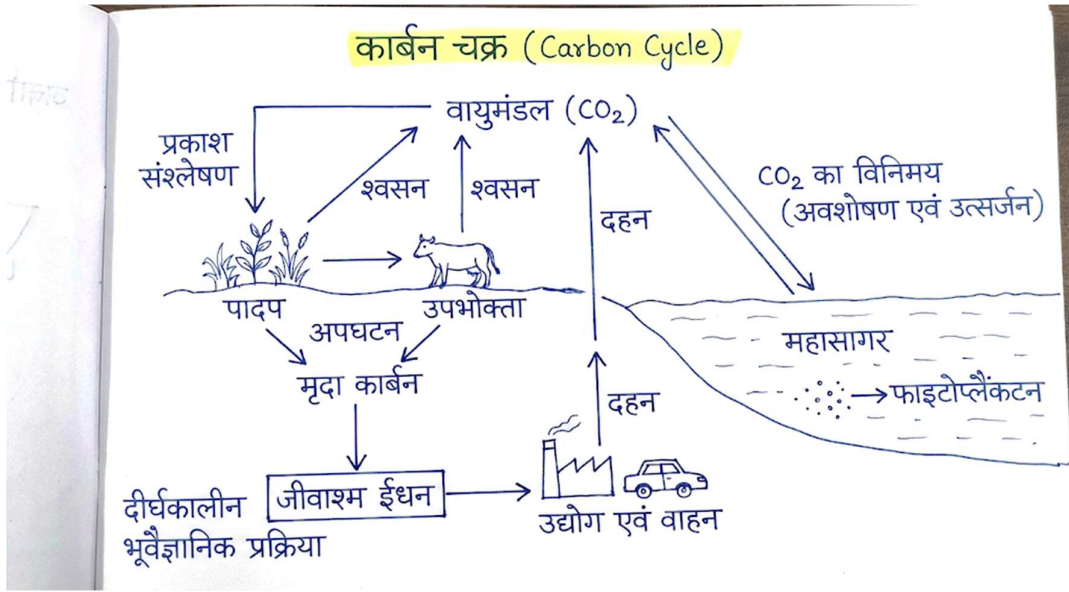


2. पोषक तत्वों का चक्रण (Nutrient Cycling)

यदि ऊर्जा का प्रवाह एकदिशीय (One-way street) है, तो पोषक तत्वों का प्रवाह **चक्रीय (Cyclical)** होता है।

- पोषक तत्व (जैसे कार्बन, नाइट्रोजन, फॉस्फोरस) सीमित मात्रा में हैं। इसलिए, पारिस्थितिक तंत्र इन्हें लगातार पुनर्चक्रित (Recycle) करता रहता है। इन्हें **जैव-भू-रासायनिक चक्र (Biogeochemical Cycles)** कहा जाता है, क्योंकि ये जैविक (Bio) और भूवैज्ञानिक (Geo) घटकों के बीच घूमते हैं।
- इस चक्र में अपघटकों (Decomposers) की भूमिका सर्वोपरि है। वे मृत पौधों और जानवरों को सड़ाकर उनमें फंसे पोषक तत्वों को वापस मिट्टी या वायुमंडल में छोड़ देते हैं, जहाँ से उत्पादक उन्हें पुनः उपयोग कर सकते हैं।
- **प्रमुख चक्र:**
 - **गैसीय चक्र (Gaseous Cycles):** इनका मुख्य भंडार वायुमंडल या महासागरों में होता है।

- **कार्बन चक्र:** प्रकाश संश्लेषण (CO₂ लेना) और श्वसन (CO₂ छोड़ना) के बीच संतुलन। जीवाश्म ईंधन के जलने से यह चक्र बाधित हुआ है।



- **नाइट्रोजन चक्र:** वायुमंडलीय नाइट्रोजन (N₂) का पौधों द्वारा प्रयोग करने योग्य रूपों (जैसे नाइट्रेट्स) में स्थिरीकरण (Fixation) और फिर वापस वायुमंडल में जाना (Denitrification)।
- **अवसादी चक्र :** इनका मुख्य भंडार पृथ्वी की पपड़ी (चट्टानों) में होता है।
- **फॉस्फोरस चक्र:** यह चक्र अपेक्षाकृत धीमा होता है और मुख्य रूप से चट्टानों के अपरदन (Weathering) से मिट्टी में और फिर जीवों में जाता है।
- **सल्फर चक्र:** यह गैसीय और अवसादी दोनों घटकों को प्रदर्शित करता है।

3. पारिस्थितिक उत्पादकता

- उत्पादकता का अर्थ है किसी पारिस्थितिक तंत्र में **जैव भार** के उत्पादन की दर। यह मापता है कि एक तंत्र कितनी तेजी से ऊर्जा को संचित कर रहा है।
- **प्रकार:**
 1. **प्राथमिक उत्पादकता :** यह उत्पादकों (पौधों) द्वारा प्रकाश संश्लेषण के माध्यम से कार्बनिक पदार्थों के निर्माण की दर है।
 - **सकल प्राथमिक उत्पादकता (Gross Primary Productivity) :** प्रकाश संश्लेषण द्वारा उत्पन्न कुल ऊर्जा या जैव भार।

- **शुद्ध प्राथमिक उत्पादकता (Net Primary Productivity):** GPP में से वह ऊर्जा घटा दी जाती है जो पौधे खुद अपनी श्वसन क्रिया में खर्च कर देते हैं ($NPP = GPP - R$)। **NPP** ही वह उपलब्ध ऊर्जा है जो अगले पोषी स्तर (शाकाहारियों) के लिए उपलब्ध होती है।

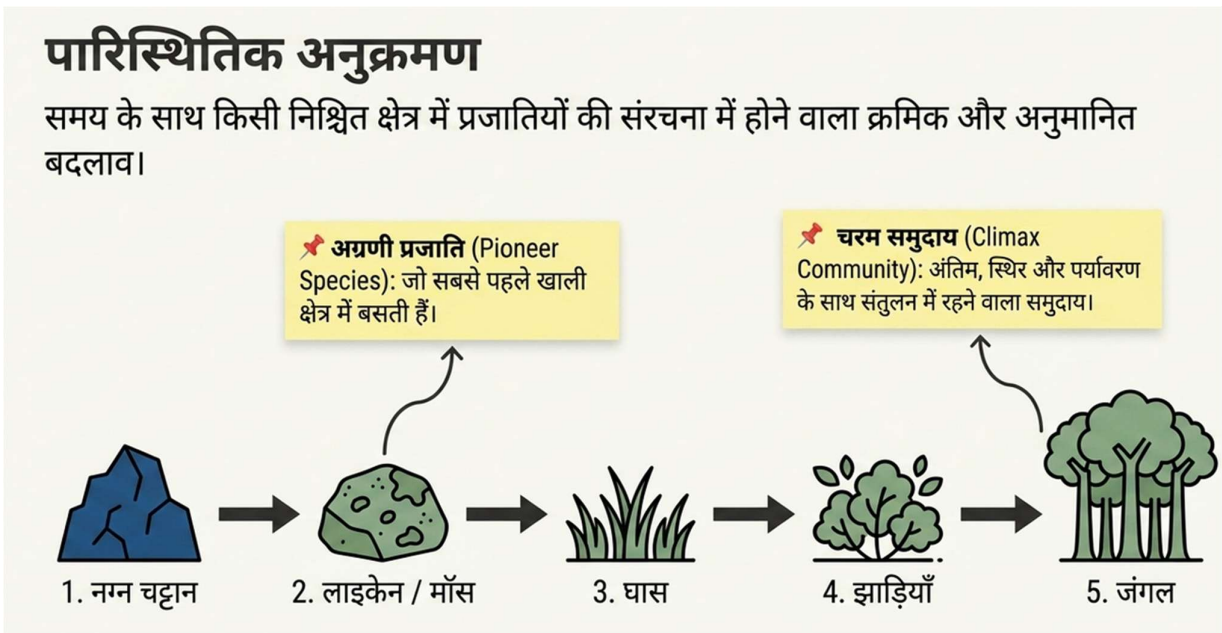
2. **द्वितीयक उत्पादकत :** यह उपभोक्ताओं (शाकाहारी, मांसाहारी) द्वारा नए जैव भार के निर्माण की दर है।

उदाहरण: उच्च NPP वाले क्षेत्र (जैसे उष्णकटिबंधीय वर्षा वन, प्रवाल भित्तियाँ) अधिक जैव विविधता का समर्थन करते हैं, जबकि कम NPP वाले क्षेत्र (जैसे मरुस्थल) कम जैव विविधता वाले होते हैं।

4. पारिस्थितिक गतिकी: अनुक्रमण और स्व-नियमन (Ecological Dynamics: Succession and Self-Regulation)

पारिस्थितिक तंत्र (Ecosystem) कभी स्थिर नहीं रहता; यह हमेशा परिवर्तनशील होता है। जीवों, जलवायु, मृदा और ऊर्जा के प्रवाह में निरंतर परिवर्तन होते रहते हैं। यह परिवर्तन धीरे-धीरे और संतुलन बनाए रखते हुए होता है।

पारिस्थितिक अनुक्रमण :



यह एक **क्रमिक प्रक्रिया** है जिसमें समय के साथ किसी स्थान पर **वनस्पतियों और प्राणियों की नई प्रजातियाँ** स्थापित होती हैं और पुरानी को प्रतिस्थापित करती हैं। इस प्रक्रिया के परिणामस्वरूप अंत में एक **स्थायी समुदाय (Climax Community)** बनता है।

- **प्राथमिक अनुक्रमण :** यह उन स्थानों पर होता है जहाँ पहले कोई जीवन नहीं था (जैसे, नया ज्वालामुखी लावा प्रवाह, नंगी चट्टान)।

- **द्वितीयक अनुक्रमण** : यह उन स्थानों पर होता है जहाँ मौजूदा समुदाय किसी गड़बड़ी (जैसे, आग, बाढ़, वनों की कटाई) के कारण नष्ट हो गया है, लेकिन मिट्टी अभी भी मौजूद है। **यह तेज़ी से होता है** क्योंकि मिट्टी और बीज पहले से मौजूद होते हैं। **उदाहरण:** जले हुए जंगल → झाड़ियाँ → पेड़ → नया जंगल

प्राथमिक बनाम द्वितीयक अनुक्रमण

आधार	प्राथमिक अनुक्रमण	द्वितीयक अनुक्रमण
प्रारंभिक स्थिति	बिल्कुल नया, निर्जन क्षेत्र (जैसे लावा, नई चट्टान)।	वह क्षेत्र जहाँ पहले से जीवन था, लेकिन नष्ट हो गया (जैसे जंगल की आग, बाढ़)।
मृदा की उपस्थिति	मृदा अनुपस्थित होती है।	मृदा पहले से मौजूद होती है।
अग्रणी प्रजाति	लाइकेन, सूक्ष्म जीव।	घास, खरपतवार।
लगने वाला समय	अत्यंत धीमा (हजारों वर्ष)।	अपेक्षाकृत तेज (50-200 वर्ष)।

- **चरम समुदाय** : यह अनुक्रमण की *अंतिम अवस्था* है। यह एक स्थिर और संतुलित पारिस्थितिक तंत्र है जहाँ ऊर्जा प्रवाह और पोषक चक्र स्थायी रूप से संतुलित रहते हैं। **उदाहरण:** एक परिपक्व (mature) जंगल, जो कई वर्षों से बिना किसी बड़े परिवर्तन के बना हुआ है।

होमियोस्टैसिस (Homeostasis) या स्व-नियमन:

यह पारिस्थितिक तंत्र की वह क्षमता है जिससे वह स्वयं को संतुलित रखता है, भले ही बाहरी वातावरण में परिवर्तन हो।

- यह Feedback Loop द्वारा काम करता है
- यदि किसी प्रजाति की संख्या बढ़ जाती है, तो उसकी जनसंख्या को नियंत्रित करने के लिए कोई न कोई प्राकृतिक तंत्र सक्रिय हो जाता है।
- इसी तरह, यदि संख्या घट जाती है, तो प्रकृति पुनः संतुलन स्थापित करने की दिशा में कार्य करती है।
- उदाहरण: जब खरगोशों की संख्या बढ़ती है → लोमड़ियों को अधिक भोजन मिलता है → उनकी आबादी बढ़ती है → वे अधिक खरगोश खा लेते हैं → खरगोशों की संख्या घटती है → लोमड़ियों को भोजन कम मिलता है → उनकी संख्या घटती है → और फिर संतुलन लौट आता है।
- यह प्राकृतिक नियंत्रण प्रणाली (Natural Control Mechanism) कहलाती है।

चुनौतियाँ

पारिस्थितिक तंत्र की कार्यप्रणाली केवल एक अकादमिक अवधारणा नहीं है, यह मानव अस्तित्व का आधार है। यह हमें **पारिस्थितिकी तंत्र सेवाएं (Ecosystem Services)** प्रदान करती है:

- **प्रावधान सेवाएं:** भोजन, पानी, लकड़ी, ईंधन।
- **विनियमन सेवाएं:** जलवायु विनियमन, बाढ़ नियंत्रण, जल शोधन।
- **समर्थन सेवाएं:** पोषक तत्व चक्रण, मृदा निर्माण, परागण।

चुनौतियाँ: मानवीय गतिविधियाँ (जैसे प्रदूषण, वनों की कटाई, जलवायु परिवर्तन, शहरीकरण) इन कार्यों को गंभीर रूप से बाधित कर रही हैं। उदाहरण के लिए:

- जीवाश्म ईंधन का जलना **कार्बन चक्र** को बाधित कर रहा है, जिससे ग्लोबल वार्मिंग हो रही है।
- कृषि में अत्यधिक उर्वरकों का उपयोग **नाइट्रोजन और फॉस्फोरस चक्र** को बाधित कर रहा है, जिससे सुपोषण (Eutrophication) हो रहा है।
- वनों की कटाई से ऊर्जा प्रवाह (NPP में कमी) और जल चक्र दोनों प्रभावित हो रहे हैं।

निष्कर्ष और आगे की राह

पारिस्थितिक तंत्र की कार्यप्रणाली ऊर्जा प्रवाह और पोषक तत्वों के चक्रण पर आधारित एक जटिल और अंतर्संबंधित नेटवर्क है। यह स्वयं को अनुक्रमण और होमियोस्टैसिस के माध्यम से गतिशील और स्थिर बनाए रखता है।

एक स्वस्थ पारिस्थितिक तंत्र मानव कल्याण के लिए अनिवार्य है। वर्तमान पर्यावरणीय संकटों को देखते हुए, यह आवश्यक है कि हम इन कार्यप्रणालियों में अपने हस्तक्षेप को कम करें। **सतत विकास (Sustainable Development)**, संरक्षण के प्रयास (जैसे राष्ट्रीय उद्यान, बायोस्फीयर रिजर्व) और पारिस्थितिक बहाली (Ecological Restoration) ही इन अमूल्य प्रणालियों को भविष्य के लिए संरक्षित करने का एकमात्र मार्ग है।