



**UGC-NET**

**पर्यावरण विज्ञान**

**National Testing Agency (NTA)**

**पेपर 2 || भाग 1**



# UGC NET पेपर – 2 (पर्यावरण विज्ञान)

क्र.सं.	अध्याय	पृष्ठ सं.
<b>इकाई – I : पर्यावरण विज्ञान के मूल सिद्धांत</b>		
1.	परिभाषा, सिद्धांत, दायरा और अंतःविषय प्रकृति	1
2.	वायुमंडल की संरचना और संयोजन	7
3.	जलमंडल की संरचना और संयोजन	13
4.	स्थलमंडल की संरचना और संयोजन	21
5.	जीवमंडल की संरचना और संयोजन	28
6.	पर्यावरण प्रणालियों में ऊष्मागतिकी के नियम	37
7.	पर्यावरण में ऊष्मा स्थानांतरण प्रक्रियाएँ	44
8.	इंटरफेस में द्रव्यमान और ऊर्जा स्थानांतरण	50
9.	मौसम संबंधी मापदंड – भाग 1 (दबाव, तापमान, वर्षा)	58
10.	मौसम संबंधी मापदंड – भाग 2 (आर्द्रता, मिश्रण अनुपात, विकिरण)	65
11.	मौसम संबंधी मापदंड – भाग 3 (हवा का वेग, लैप्स दरें, पवन गुलाब)	71
12.	पृथ्वी, मनुष्य और पर्यावरण के बीच अंतःक्रिया	78
13.	जैव-भू-रासायनिक चक्र – भाग 1 (कार्बन, नाइट्रोजन, फॉस्फोरस)	84
14.	जैव-भू-रासायनिक चक्र – भाग 2 (सल्फर, जल विज्ञान, ऑक्सीजन)	91
15.	पर्यावरण प्रबंधन और सतत विकास	98
<b>इकाई - II : पर्यावरण रसायन विज्ञान</b>		
1.	तत्वों का वर्गीकरण, स्टोइकियोमेट्री, गिब्स ऊर्जा, रासायनिक क्षमता	106
2.	रासायनिक गतिकी, रासायनिक संतुलन	112
3.	जल में गैसों की घुलनशीलता, कार्बोनेट प्रणाली	118
4.	असंतृप्त और संतृप्त हाइड्रोकार्बन, रेडियोआइसोटोप	123
5.	वायु की संरचना, कण, आयन, मूलक, रासायनिक प्रजातिकरण	130
6.	अकार्बनिक और कार्बनिक कण पदार्थ निर्माण में रासायनिक प्रक्रियाएँ	138
7.	थर्मोकैमिकल और फोटोकैमिकल प्रतिक्रियाएँ, ऑक्सीजन और ओजोन रसायन विज्ञान	144
8.	प्रकाश-रासायनिक धुंध, जल-चक्र, सार्वभौमिक विलायक के रूप में जल	151
9.	घुलित ऑक्सीजन (डीओ), जैव रासायनिक ऑक्सीजन मांग (बीओडी), रासायनिक ऑक्सीजन मांग (सीओडी), अवसादन, जमाव, फ्लोक्यूलेशन, निस्पंदन	158
10.	पीएच, रेडॉक्स क्षमता (ईएच), मिट्टी के अकार्बनिक और कार्बनिक घटक	166
11.	जैव-भू-रासायनिक चक्र (नाइट्रोजन, कार्बन, फॉस्फोरस, सल्फर), विषैले रसायन (कीटनाशक, भारी धातु, उपधातु, CO, O <sub>3</sub> , PAN, VOC, POP)	174
12.	विश्लेषणात्मक विधियों के सिद्धांत, इकाई-II निष्कर्ष	182

# पर्यावरण विज्ञान के मूल सिद्धांत

## परिभाषा, सिद्धांत, दायरा और अंतःविषय प्रकृति

### परिचय

पर्यावरण विज्ञान एक गतिशील, अंतःविषय क्षेत्र है जो मनुष्यों, पारिस्थितिकी तंत्रों और पृथ्वी की भौतिक प्रणालियों के बीच जटिल अंतःक्रियाओं को संबोधित करता है। इन विषयों का परीक्षा में गहन परीक्षण किया जाता है, जिसमें बुनियादी परिभाषाओं से लेकर भारतीय नीतियों और वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियों से जुड़े लागू परिदृश्यों तक के प्रश्न शामिल होते हैं। यह भाग पर्यावरण विज्ञान की परिभाषा, सिद्धांतों, दायरे और अंतःविषय प्रकृति पर केंद्रित है, जो एक व्यापक, परीक्षा-उन्मुख संसाधन प्रदान करता है।

### 1. पर्यावरण विज्ञान की परिभाषा

#### 1.1 पर्यावरण विज्ञान क्या है?

पर्यावरण विज्ञान पर्यावरण का व्यवस्थित, वैज्ञानिक अध्ययन है, जिसमें इसके भौतिक, रासायनिक और जैविक घटकों के बीच परस्पर क्रियाएं शामिल हैं, साथ ही इन प्रणालियों पर मानवीय गतिविधियों का प्रभाव भी शामिल है। इसका उद्देश्य पर्यावरणीय प्रक्रियाओं को समझना, प्रदूषण और जलवायु परिवर्तन जैसी चुनौतियों की पहचान करना और स्थायी समाधान प्रस्तावित करना है।

#### • मुख्य घटक :

- **भौतिक पर्यावरण** : इसमें वायुमंडल (वायु), जलमंडल (जल) और स्थलमंडल (भूमि) शामिल हैं, जो जीवन के लिए अजैविक ढांचा प्रदान करते हैं।
- **जैविक पर्यावरण** : इसमें जीवमंडल, पारिस्थितिकी तंत्र, प्रजातियां और जैव विविधता शामिल हैं, जो जीवित घटकों का प्रतिनिधित्व करते हैं।
- **मानवीय आयाम** : नीतियों, नैतिकता और सामाजिक प्रतिक्रियाओं के साथ-साथ मानवजनित गतिविधियों (जैसे, औद्योगिकीकरण, वनों की कटाई) और उनके पर्यावरणीय परिणामों पर ध्यान केंद्रित करता है।
- **उद्देश्य** : अनुसंधान, शिक्षा और नीति-निर्माण के माध्यम से मानव और पर्यावरण के बीच एक स्थायी संबंध को बढ़ावा देना।
- **अध्ययन का दायरा** : स्थानीय मुद्दों (जैसे, दिल्ली में शहरी वायु प्रदूषण) से लेकर वैश्विक चुनौतियों (जैसे, पेरिस समझौते के तहत जलवायु परिवर्तन शमन) तक।

#### 1.2 पर्यावरण विज्ञान का विकास

पर्यावरण विज्ञान प्रारंभिक प्राकृतिक इतिहास अध्ययनों से विकसित होकर एक आधुनिक, अंतःविषय अनुशासन बन गया है जो जटिल पर्यावरणीय मुद्दों को संबोधित करता है। इसका विकास पर्यावरण पर मानवीय प्रभावों के बारे में बढ़ती जागरूकता को दर्शाता है।

#### • ऐतिहासिक संदर्भ :

- **प्राचीन सभ्यताएँ** : प्रारंभिक समाज, जिनमें भारत (सिंधु घाटी, वैदिक काल) भी शामिल है, प्रकृति का सम्मान करते थे, तथा पवित्र उपवन जैसी प्रथाएँ पर्यावरण संरक्षण को दर्शाती थीं।
- **औद्योगिक क्रांति (18वीं-19वीं शताब्दी)** : यूरोप और उत्तरी अमेरिका में तीव्र औद्योगिकीकरण के कारण वनों की कटाई, वायु प्रदूषण और जल प्रदूषण में वृद्धि हुई, जिसके कारण संरक्षण के लिए शीघ्र प्रयास किए गए।
- **20 वीं सदी** :
  - **1962** : रेचल कार्सन की फिल्म साइलेंट स्प्रिंग ने डीडीटी जैसे कीटनाशकों के खतरों पर प्रकाश डाला, जिससे आधुनिक पर्यावरण आंदोलन की शुरुआत हुई।
  - **1970** : पृथ्वी दिवस की स्थापना, वैश्विक पर्यावरण जागरूकता बढ़ाना।
  - **1972** : मानव पर्यावरण पर संयुक्त राष्ट्र सम्मेलन (स्टॉकहोम) में पहला वैश्विक पर्यावरण शिखर सम्मेलन आयोजित किया गया, जिसके परिणामस्वरूप संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम (यूएनईपी) का निर्माण हुआ।
- **21वीं सदी** : क्योटो प्रोटोकॉल (1997) और पेरिस समझौता (2015) जैसे समझौतों के साथ जलवायु परिवर्तन, जैव विविधता हानि और सतत विकास पर ध्यान केंद्रित करना।

• **भारतीय संदर्भ :**

- **वैदिक काल :** ऋग्वेद और अथर्ववेद जैसे ग्रंथों में प्रकृति के साथ सामंजस्य पर जोर दिया गया, जिसमें देवताओं को प्राकृतिक तत्वों का प्रतिनिधित्व किया गया (जैसे, वायु के लिए वायु, पानी के लिए वरुण)।
- **औपनिवेशिक युग :** वनों और संसाधनों के ब्रिटिश शोषण के कारण पर्यावरण क्षरण हुआ, जिसके परिणामस्वरूप भारतीय वन अधिनियम (1865) जैसे संरक्षण कानूनों को शीघ्र लागू किया गया।
- **स्वतंत्रता के बाद :**
  - **1972 :** वन्यजीव संरक्षण अधिनियम ने लुप्तप्राय प्रजातियों और आवासों को संरक्षित किया।
  - **1986 :** पर्यावरण संरक्षण अधिनियम ने पर्यावरण विनियमन के लिए एक ढांचा स्थापित किया।
  - **2006 :** राष्ट्रीय पर्यावरण नीति ने सतत विकास लक्ष्यों को रेखांकित किया।
- **वैश्विक मील के पत्थर :**
  - **1948 :** अंतर्राष्ट्रीय प्रकृति संरक्षण संघ (आईयूसीएन) का गठन।
  - **1961 :** विश्व प्रकृति कोष (डब्ल्यूडब्ल्यूएफ) की स्थापना।
  - **1987 :** मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल ने ओजोन परत को नुकसान पहुंचाने वाले पदार्थों पर ध्यान दिया।
  - **2015 :** संयुक्त राष्ट्र द्वारा 17 सतत विकास लक्ष्यों (एसडीजी) को अपनाया गया।

**तालिका 1: पर्यावरण विज्ञान में प्रमुख उपलब्धियाँ**

वर्ष	आयोजन	महत्व
1865	भारतीय वन अधिनियम	ब्रिटिश शासन के तहत प्रारंभिक संरक्षण कानून
1962	साइलेंट स्प्रिंग का प्रकाशन	वैश्विक पर्यावरण जागरूकता को बढ़ावा दिया
1970	पहला पृथ्वी दिवस	पर्यावरण संबंधी मुद्दों के बारे में जन चेतना जागृत की
1972	स्टॉकहोम सम्मेलन	यूएनईपी, वैश्विक पर्यावरण शासन की स्थापना
1986	पर्यावरण संरक्षण अधिनियम (भारत)	व्यापक पर्यावरण कानून
1997	क्योटो प्रोटोकॉल	ग्रीनहाउस गैस कटौती पर पहला वैश्विक समझौता
2015	पेरिस समझौता	तापमान वृद्धि को 1.5-2°C तक सीमित रखने की वैश्विक प्रतिबद्धता

**1.3 अंतःविषय प्रकृति**

पर्यावरण विज्ञान पर्यावरणीय चुनौतियों का समग्र रूप से समाधान करने के लिए अनेक विषयों को एकीकृत करता है।

• **प्राकृतिक विज्ञान :**

- **पारिस्थितिकी :** जीवों और उनके पर्यावरण (जैसे, खाद्य जाल, पोषक चक्र) के बीच अंतःक्रियाओं का अध्ययन करता है।
- **रसायन विज्ञान :** प्रदूषकों, वायुमंडलीय प्रतिक्रियाओं (जैसे, ओजोन गठन) का विश्लेषण करता है।
- **भौतिकी :** ऊर्जा हस्तांतरण, ऊष्मागतिकी और मौसम विज्ञान का अन्वेषण करता है।
- **भूविज्ञान :** पृथ्वी की संरचना, मृदा निर्माण और संसाधन वितरण की जांच करता है।

• **सामाजिक विज्ञान :**

- **समाजशास्त्र :** मानव व्यवहार, पर्यावरण जागरूकता और सामुदायिक प्रतिक्रियाओं की जांच करता है।
- **अर्थशास्त्र :** पर्यावरणीय क्षरण की लागत और संरक्षण के लाभों का आकलन करता है (उदाहरण के लिए, नवीकरणीय ऊर्जा का लागत-लाभ विश्लेषण)।
- **राजनीति विज्ञान :** पर्यावरण नीतियों, शासन और अंतर्राष्ट्रीय समझौतों का अध्ययन करता है।

• **अनुप्रयुक्त विज्ञान :**

- **इंजीनियरिंग :** प्रदूषण नियंत्रण, नवीकरणीय ऊर्जा और अपशिष्ट प्रबंधन के लिए प्रौद्योगिकियों का विकास करना।
- **रिमोट सेंसिंग और जीआईएस :** पर्यावरणीय परिवर्तन, भूमि उपयोग और संसाधन वितरण का मानचित्रण।

• **भारतीय उदाहरण :**

- **पारिस्थितिकी और समाजशास्त्र :** चिपको आंदोलन ने पारिस्थितिकी संरक्षण को सामुदायिक सक्रियता के साथ जोड़ा।
- **रसायन विज्ञान और इंजीनियरिंग :** सीपीसीबी वायु गुणवत्ता की निगरानी करता है और प्रदूषण नियंत्रण प्रौद्योगिकियों का विकास करता है।
- **अर्थशास्त्र और नीति :** भारत का राष्ट्रीय सौर मिशन पर्यावरणीय स्थिरता के साथ आर्थिक विकास को संतुलित करता है।

**2. पर्यावरण विज्ञान के सिद्धांत**

पर्यावरण विज्ञान उन मूल सिद्धांतों द्वारा निर्देशित होता है जो पर्यावरण प्रणालियों को समझने और चुनौतियों का समाधान करने के लिए एक रूपरेखा प्रदान करते हैं। ये सिद्धांत हैं पारिस्थितिक संतुलन, परस्पर निर्भरता, स्थिरता और सिस्टम दृष्टिकोण।

## 2.1 पारिस्थितिक संतुलन

- **परिभाषा** : जीवित जीवों, उनके पर्यावरण और अजैविक कारकों के बीच गतिशील संतुलन, जो पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता सुनिश्चित करता है।
- **महत्वपूर्ण अवधारणाएं** :
  - **होमियोस्टेसिस** : पारिस्थितिकी तंत्र स्व-विनियमन तंत्र (जैसे, शिकारी-शिकार गतिशीलता) के माध्यम से संतुलन बनाए रखता है।
  - **वहन क्षमता** : वह अधिकतम जनसंख्या जिसे एक पारिस्थितिकी तंत्र बिना क्षरण के धारण कर सकता है।
  - **ट्रॉफिक स्तर** : उत्पादकों, उपभोक्ताओं और अपघटकों के माध्यम से ऊर्जा स्थानांतरण।
- **तंत्र** :
  - **नकारात्मक प्रतिक्रिया** : पारिस्थितिकी तंत्र को स्थिर करती है (उदाहरण के लिए, बढ़ी हुई CO<sub>2</sub> से अधिक प्रकाश संश्लेषण होता है, जिससे CO<sub>2</sub> कम हो जाती है)।
  - **सकारात्मक प्रतिक्रिया** : परिवर्तनों को बढ़ाती है (जैसे, वनों की कटाई से वर्षा कम हो जाती है, जिससे सूखा और अधिक बढ़ जाता है)।
- **उदाहरण** :
  - **वैश्विक** : प्रवाल भित्ति पारिस्थितिकी तंत्र सहजीवी संबंधों (जैसे, प्रवाल-जूक्सैन्थेला) के माध्यम से संतुलन बनाए रखते हैं।
  - **भारत** : राजस्थान में अत्यधिक चराई से पारिस्थितिकी संतुलन बिगड़ रहा है, जिससे रेगिस्तानीकरण हो रहा है।
- **अनुप्रयोग** :
  - भारत की प्रोजेक्ट टाइगर जैसी संरक्षण परियोजनाएं शिकारी-शिकार संतुलन को बहाल करती हैं।
  - आर्द्रभूमि पुनर्स्थापन से पोषक चक्रण और जैव विविधता में वृद्धि होती है।
- **भारतीय केस स्टडी** : केवलादेव राष्ट्रीय उद्यान (भरतपुर) को जल की कमी के कारण पारिस्थितिक असंतुलन का सामना करना पड़ा, जिसे नहर पुनरुद्धार के माध्यम से दूर किया गया।

### तालिका 2: पारिस्थितिक संतुलन के घटक

अवयव	विवरण	उदाहरण
समस्थिति	पारिस्थितिकी तंत्र का स्व-नियमन	वनों में शिकारी-शिकार संतुलन
वहन क्षमता	अधिकतम टिकाऊ जनसंख्या	घास के मैदान में हिरणों की आबादी
ट्रॉफिक स्तर	खाद्य शृंखलाओं के माध्यम से ऊर्जा स्थानांतरण	घास → हिरण → बाघ
फीडबैक लूप	स्थिरीकरण या प्रवर्धन तंत्र	CO <sub>2</sub> -प्रकाश संश्लेषण प्रतिक्रिया

## 2.2 अन्योन्याश्रितता

- **परिभाषा** : सभी पर्यावरणीय घटकों (जैविक और अजैविक) का परस्पर संबंध, जहां एक में परिवर्तन से अन्य प्रभावित होते हैं।
- **महत्वपूर्ण अवधारणाएं** :
  - **पारिस्थितिकी तंत्र सेवाएँ** :
    - **प्रावधान** : भोजन, पानी, लकड़ी।
    - **विनियमन** : जलवायु विनियमन, परागण।
    - **सांस्कृतिक** : मनोरंजन, आध्यात्मिक मूल्य।
    - **सहायक** : पोषक चक्रण, मृदा निर्माण।
  - **प्रमुख प्रजातियाँ** : पारिस्थितिकी तंत्र के कार्य के लिए महत्वपूर्ण प्रजातियाँ (जैसे, परागण के लिए मधुमक्खियाँ, वन पारिस्थितिकी तंत्र के लिए बाघ)।
  - **खाद्य जाल** : ट्रॉफिक अंतःक्रियाओं का जटिल नेटवर्क।
- **उदाहरण** :
  - **वैश्विक** : अमेज़न में वनों की कटाई से वैश्विक कार्बन अवशोषण कम हो जाता है, जिससे जलवायु प्रभावित होती है।
  - **भारत** : भारत में गिद्धों की घटती जनसंख्या के कारण शवों के अपघटन में बाधा उत्पन्न हुई है, जिससे बीमारियों का खतरा बढ़ गया है।
- **अनुप्रयोग** :
  - परागण संरक्षण से कृषि उत्पादकता बढ़ती है।
  - मैंग्रोव पुनर्स्थापन से तटीय पारिस्थितिकी तंत्र और समुदायों की रक्षा होती है।
- **भारतीय केस स्टडी** : सुंदरवन के मैंग्रोव परस्पर निर्भरता दर्शाते हैं, जैव विविधता, मत्स्य पालन और तूफान सुरक्षा में सहायक होते हैं।

## 2.3 स्थिरता

- **परिभाषा** : भविष्य की पीढ़ियों की जरूरतों को पूरा करने की क्षमता से समझौता किए बिना वर्तमान की जरूरतों को पूरा करना, जैसा कि ब्रुन्डलैंड रिपोर्ट (1987) द्वारा परिभाषित किया गया है।
- **महत्वपूर्ण अवधारणाएं** :
  - **तीन स्तंभ** :
    - **पर्यावरण** : पारिस्थितिकी तंत्र और संसाधनों की सुरक्षा।
    - **आर्थिक** : समान विकास और संसाधन उपयोग सुनिश्चित करना।
    - **सामाजिक** : न्याय, समानता और शिक्षा को बढ़ावा देना।
  - **सतत विकास लक्ष्य (एसडीजी)** : गरीबी, भुखमरी, जलवायु कार्रवाई आदि से संबंधित 17 संयुक्त राष्ट्र लक्ष्य (2015)।
  - **चक्रीय अर्थव्यवस्था** : पुनः उपयोग, पुनर्चक्रण और पुनर्जनन के माध्यम से अपशिष्ट को न्यूनतम करना।

- **उदाहरण :**
  - **वैश्विक :** जर्मनी की एनर्जीविंडे कार्बन उत्सर्जन को कम करने के लिए नवीकरणीय ऊर्जा को बढ़ावा देती है।
  - **भारत :** राष्ट्रीय सौर मिशन का लक्ष्य 2022 तक 100 गीगावाट सौर क्षमता हासिल करना है, जिसे 2030 तक बढ़ाया गया है।
- **अनुप्रयोग :**
  - जैविक खेती से रासायनिक खादों का प्रयोग कम होता है, तथा मृदा स्वास्थ्य सुरक्षित रहता है।
  - हरित स्थानों के साथ शहरी नियोजन से रहने की क्षमता बढ़ती है और ऊष्मा द्वीपों में कमी आती है।
- **भारतीय केस स्टडी :** स्वच्छ भारत अभियान खाद बनाने और पुनर्चक्रण के माध्यम से टिकाऊ अपशिष्ट प्रबंधन को बढ़ावा देता है।

### तालिका 3: स्थिरता के तीन स्तंभ

स्तंभ	केंद्र	उदाहरण
पर्यावरण	पारिस्थितिकी तंत्र संरक्षण, संसाधन संरक्षण	अरावली पहाड़ियों में पुनर्वनीकरण
आर्थिक	समतामूलक विकास, संसाधन दक्षता	गुजरात में सौर ऊर्जा परियोजनाएं
सामाजिक	समानता, शिक्षा, स्वास्थ्य	स्कूलों में पर्यावरण शिक्षा

### 2.4 प्रणाली दृष्टिकोण

- **परिभाषा :** पर्यावरण को परस्पर क्रिया करने वाले घटकों की एक जटिल प्रणाली के रूप में देखना, जिसका समग्र रूप से विश्लेषण किया जाता है।
- **महत्वपूर्ण अवधारणाएं :**
  - **समग्रतावाद (Holistics) :** संपूर्ण प्रणाली को समझना, न कि केवल भागों को।
  - **फ्रीडबैक लूप्स :**
    - **सकारात्मक :** परिवर्तन को बढ़ाता है (जैसे, बर्फ पिघलने से एल्बिडो कम हो जाता है, जिससे गर्मी बढ़ जाती है)।
    - **नकारात्मक :** परिवर्तन को स्थिर करता है (उदाहरणार्थ, बढ़ी हुई CO<sub>2</sub> प्रकाश संश्लेषण को बढ़ाती है)।
  - **प्रणाली सीमाएँ :** अध्ययन के दायरे को परिभाषित करना (उदाहरण के लिए, एक जलग्रहण क्षेत्र, एक शहर)।
- **उदाहरण :**
  - **वैश्विक :** जलवायु मॉडल तापमान परिवर्तन की भविष्यवाणी करने के लिए एक प्रणाली दृष्टिकोण का उपयोग करते हैं।
  - **भारत :** गंगा नदी बेसिन का अध्ययन प्रदूषण और जल प्रवाह को संबोधित करने वाली प्रणाली के रूप में किया जाता है।
- **अनुप्रयोग :**
  - पर्यावरणीय प्रभाव आकलन (ईआईए) परियोजना के प्रभावों की भविष्यवाणी करने के लिए सिस्टम मॉडलिंग का उपयोग करते हैं।
  - शहरी नियोजन परिवहन, अपशिष्ट और ऊर्जा प्रणालियों को एकीकृत करता है।
- **भारतीय केस स्टडी :** जलवायु परिवर्तन पर राष्ट्रीय कार्य योजना (एनएपीसीसी) एक प्रणाली दृष्टिकोण का उपयोग करती है, जिसमें आठ मिशन जल, ऊर्जा और कृषि जैसे परस्पर जुड़े मुद्दों पर ध्यान देते हैं।

### 3. पर्यावरण विज्ञान का दायरा

पर्यावरण विज्ञान का दायरा बहुत बड़ा है, जिसमें अकादमिक शोध, व्यावहारिक अनुप्रयोग, नीति-निर्माण और सामाजिक प्रभाव शामिल हैं। यह स्थानीय, राष्ट्रीय और वैश्विक स्तर पर पर्यावरणीय चुनौतियों का समाधान करता है।

#### 3.1 शैक्षणिक दायरा

- **सम्मिलित विषय :** पारिस्थितिकी, जलवायु विज्ञान, जल विज्ञान, विष विज्ञान, समाजशास्त्र, अर्थशास्त्र, आदि।
- **अनुसंधान क्षेत्र :**
  - **जलवायु परिवर्तन :** कारणों (जैसे, ग्रीनहाउस गैसों), प्रभावों (जैसे, समुद्र-स्तर में वृद्धि) और शमन (जैसे, कार्बन कैप्चर) का अध्ययन करना।
  - **जैव विविधता संरक्षण :** प्रजातियों, आवासों और आनुवंशिक विविधता की सुरक्षा करना।
  - **प्रदूषण नियंत्रण :** वायु, जल, मृदा और ध्वनि प्रदूषण की निगरानी और शमन।
  - **संसाधन प्रबंधन :** नवीकरणीय और गैर-नवीकरणीय संसाधनों का आकलन।
- **भारतीय संस्थान :**
  - **आईआईटी और आईआईएससी :** जलवायु मॉडलिंग, नवीकरणीय ऊर्जा पर अनुसंधान।
  - **नीरी :** वायु और जल प्रदूषण पर अध्ययन।
  - **टेरी :** सतत विकास और ऊर्जा पर ध्यान केन्द्रित करना।
- **उदाहरण :**
  - हिमालय के ग्लेशियरों के पीछे हटने पर शोध से भारत की जल सुरक्षा नीतियों को जानकारी मिलती है।
  - दिल्ली में शहरी वायु गुणवत्ता पर अध्ययन प्रदूषण नियंत्रण उपायों का मार्गदर्शन करते हैं।

#### तालिका 4: पर्यावरण विज्ञान में शैक्षणिक अनुसंधान क्षेत्र

क्षेत्र	केंद्र	भारतीय उदाहरण
जलवायु परिवर्तन	कारण, प्रभाव, शमन	हिमालय में ग्लेशियर अध्ययन
जैव विविधता	प्रजातियाँ और आवास संरक्षण	प्रोजेक्ट टाइगर
प्रदूषण	निगरानी और नियंत्रण	दिल्ली वायु गुणवत्ता निगरानी
संसाधन प्रबंधन	संसाधनों का सतत उपयोग	पंजाब में भूजल अध्ययन

### 3.2 व्यावहारिक अनुप्रयोग

- पर्यावरण प्रबंधन :
  - अपशिष्ट प्रबंधन : पुनर्चक्रण, खाद बनाना, लैंडफिल डिजाइन, और अपशिष्ट से ऊर्जा परियोजनाएं।
  - जल संसाधन प्रबंधन : वाटरशेड योजना, वर्षा जल संचयन और विलवणीकरण।
  - नवीकरणीय ऊर्जा : सौर, पवन, जल विद्युत और जैव ऊर्जा परियोजनाएं।
- प्रौद्योगिकियां :
  - रिमोट सेंसिंग : वनों की कटाई, शहरी फैलाव और जलवायु परिवर्तन पर नज़र रखता है।
  - जीआईएस : भूमि उपयोग, जैव विविधता और आपदा जोखिमों का मानचित्रण।
  - जैवउपचार : दूषित मिट्टी और पानी को साफ करने के लिए सूक्ष्मजीवों का उपयोग करता है।
- भारतीय उदाहरण :
  - स्वच्छ भारत अभियान : अपशिष्ट पृथक्करण और खाद बनाने को बढ़ावा देता है।
  - नमामि गंगे : गंगा नदी की सफाई और संरक्षण।
  - जल जीवन मिशन : ग्रामीण घरों में पाइप द्वारा जलापूर्ति सुनिश्चित करता है।

### 3.3 नीति और शासन

- भूमिका : पर्यावरण की सुरक्षा के लिए कानून, विनियम और अंतर्राष्ट्रीय समझौते तैयार करना।
- प्रमुख नीतियां :
  - वैश्विक :
    - मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल (1987) : ओजोन परत को नुकसान पहुंचाने वाले पदार्थों को चरणबद्ध तरीके से समाप्त करना।
    - पेरिस समझौता (2015) : इसका उद्देश्य वैश्विक तापमान वृद्धि को 1.5-2°C तक सीमित करना है।
  - भारत :
    - पर्यावरण संरक्षण अधिनियम (1986) : व्यापक पर्यावरण कानून।
    - जलवायु परिवर्तन पर राष्ट्रीय कार्य योजना (एनएपीसीसी, 2008) : इसमें आठ मिशन शामिल हैं (जैसे, राष्ट्रीय सौर मिशन, राष्ट्रीय जल मिशन)।
- संस्थाएँ :
  - पर्यावरण, वन और जलवायु परिवर्तन मंत्रालय (एमओईएफसीसी) : पर्यावरण नीतियों की देखरेख करता है।
  - केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (सीपीसीबी) : प्रदूषण की निगरानी करता है और मानकों को लागू करता है।
  - राज्य प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (एसपीसीबी) : राज्य स्तर पर नीतियों का कार्यान्वयन।
- उदाहरण :
  - भारत में एकल-उपयोग वाले प्लास्टिक पर प्रतिबंध (2022) से प्लास्टिक प्रदूषण में कमी आई।
  - हरित भारत मिशन वनरोपण और पारिस्थितिकी तंत्र बहाली को बढ़ावा देता है।

#### तालिका 5: प्रमुख पर्यावरण नीतियां

नीति	वर्ष	उद्देश्य
पर्यावरण संरक्षण अधिनियम	1986	व्यापक पर्यावरण विनियमन
एनएपीसीसी	2008	आठ मिशनों के माध्यम से जलवायु परिवर्तन का समाधान
मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल	1987	ओजोन परत को नुकसान पहुंचाने वाले पदार्थों को चरणबद्ध तरीके से समाप्त करना
पेरिस समझौता	2015	वैश्विक तापमान वृद्धि को 1.5-2°C तक सीमित रखें

### 3.4 सामाजिक प्रभाव

- पर्यावरण जागरूकता : समुदायों को संरक्षण, स्थिरता और जलवायु परिवर्तन के बारे में शिक्षित करना।
- आंदोलन :
  - वैश्विक :
    - ग्रीनपीस : वनों की कटाई, व्हेलिंग और जीवाश्म ईंधन के विरुद्ध अभियान।
    - विलुप्तीकरण विद्रोह : तत्काल जलवायु कार्रवाई की वकालत।
  - भारत :
    - चिपको आंदोलन (1970 का दशक) : अहिंसक प्रतिरोध के माध्यम से उत्तराखंड में वनों का संरक्षण।
    - नर्मदा बचाओ आंदोलन : पर्यावरण और सामाजिक न्याय के लिए बांध परियोजनाओं का विरोध किया।
- उदाहरण :
  - "बीट प्लास्टिक पॉल्यूशन" अभियान (यूएनईपी, 2018) ने प्लास्टिक कचरे के बारे में जागरूकता बढ़ाई।
  - भारत का राष्ट्रीय हरित दल (इको-क्लब) छात्रों को पर्यावरण संबंधी गतिविधियों में शामिल करता है।

### 4. केस स्टडीज़ और उदाहरण

#### 4.1 वैश्विक केस स्टडी: साइलेंट स्प्रिंग और पर्यावरण आंदोलन

- संदर्भ : रेचल कार्सन की साइलेंट स्प्रिंग (1962) ने डीडीटी जैसे कीटनाशकों के पारिस्थितिकी तंत्र, खास तौर पर पक्षियों पर पड़ने वाले हानिकारक प्रभावों को उजागर किया। इसने जैव संचयन और जैव आवर्धन पर प्रकाश डाला, जिससे व्यापक जन जागरूकता पैदा हुई।

• **प्रभाव :**

- आधुनिक पर्यावरण आंदोलन को जन्म दिया।
- संयुक्त राज्य अमेरिका में डी.डी.टी. पर प्रतिबन्ध लगा दिया गया (1972) तथा वैश्विक कीटनाशक विनियमनों पर इसका प्रभाव पड़ा।
- अमेरिकी पर्यावरण संरक्षण एजेंसी (ईपीए) के निर्माण को प्रेरित किया।

• **पर्यावरण विज्ञान से प्रासंगिकता :**

- अंतःविषयक प्रकृति (पारिस्थितिकी, विष विज्ञान, नीति) को प्रदर्शित करता है।
- पर्यावरण परिवर्तन लाने में जागरूकता की भूमिका पर बल दिया गया।

**4.2 भारतीय केस स्टडी: चिपको आंदोलन**

• **सन्दर्भ :** 1970 के दशक में उत्तराखंड में महिलाओं के नेतृत्व में ग्रामीणों ने वनों की कटाई को रोकने के लिए पेड़ों को गले लगाया। गांधीवादी अहिंसा पर आधारित यह आंदोलन पूरे हिमालयी क्षेत्र में फैल गया।

• **प्रभाव :**

- उत्तराखंड में वाणिज्यिक कटाई पर 15 वर्ष का प्रतिबंध लगाया गया (1980)।
- वैश्विक वन संरक्षण आंदोलनों को प्रेरित किया।
- पर्यावरण संरक्षण में सामुदायिक कार्यवाही की भूमिका पर प्रकाश डाला गया।

• **पर्यावरण विज्ञान से प्रासंगिकता :**

- यह परस्पर निर्भरता को दर्शाता है (वन आजीविका, जल चक्र को सहारा देते हैं)।
- सामाजिक प्रभाव और पर्यावरण जागरूकता को प्रदर्शित करता है।

**4.3 भारतीय केस स्टडी: जलवायु परिवर्तन पर राष्ट्रीय कार्य योजना (एनएपीसीसी)**

• **संदर्भ :** 2008 में प्रारंभ किया गया एनएपीसीसी राष्ट्रीय सौर मिशन, राष्ट्रीय जल मिशन और हरित भारत मिशन सहित आठ मिशनों के माध्यम से जलवायु परिवर्तन की समस्या का समाधान करता है।

• **प्रभाव :**

- नवीकरणीय ऊर्जा को बढ़ावा देना (जैसे, 100 गीगावाट सौर ऊर्जा लक्ष्य)।
- जल संरक्षण और वनरोपण को बढ़ावा देता है।
- पेरिस समझौते जैसे वैश्विक समझौतों के अनुरूप।

• **पर्यावरण विज्ञान से प्रासंगिकता :**

- प्रणाली दृष्टिकोण (ऊर्जा, जल और वनों को एकीकृत करना) को दर्शाता है।
- नीति-निर्माण और स्थिरता पर प्रकाश डाला गया।

**5. संभावित नमूना प्रश्न**

**MCQ :**

**1. पर्यावरण विज्ञान का प्राथमिक उद्देश्य क्या है?**

- (A) औद्योगीकरण को बढ़ावा देना
- (B) मानव-पर्यावरण इंटरैक्शन का अध्ययन करना
- (C) आर्थिक विकास पर ध्यान केंद्रित करना
- (D) पारिस्थितिक संतुलन की अनदेखी करना

उत्तर: B

स्पष्टीकरण : पर्यावरण विज्ञान स्थिरता को बढ़ावा देने के लिए मनुष्यों, पारिस्थितिक तंत्र और भौतिक प्रणालियों के बीच बातचीत का अध्ययन करता है।

**2. अभिकथन-कारण**

अभिकथन (A): स्थिरता पर्यावरण विज्ञान का एक मुख्य सिद्धांत है।

कारण (R): यह भावी पीढ़ियों के लिए संसाधनों की उपलब्धता सुनिश्चित करता है।

- (A) A और R दोनों सत्य हैं, और R, A की व्याख्या करता है।
- (B) A और R दोनों सत्य हैं, लेकिन R, A की व्याख्या नहीं करता है।
- (C) A सत्य है, R असत्य है।
- (D) A असत्य है, R सत्य है।

उत्तर: A

स्पष्टीकरण : स्थिरता संसाधन संरक्षण पर केंद्रित है, और कारण इसके लक्ष्य को सही ढंग से परिभाषित करता है।

**3. निम्नलिखित का मिलान करें :**

**सिद्धांत**

- (A) पारिस्थितिक संतुलन
- (B) स्थिरता
- (C) अन्योन्याश्रितता
- (D) सिस्टम दृष्टिकोण

**उदाहरण**

- 1. नवीकरणीय ऊर्जा को अपनाना
- 2. खाद्य श्रृंखला स्थिरता
- 3. मधुमक्खियों द्वारा परागण
- 4. जलवायु मॉडलिंग

उत्तर: (A)-2, (B)-1, (C)-3, (D)-4

स्पष्टीकरण : प्रत्येक सिद्धांत को उसकी परिभाषा के आधार पर एक प्रासंगिक उदाहरण से मिलाया गया है।

## वायुमंडल की संरचना और संयोजन

### परिचय

वायुमंडल, पृथ्वी के चारों ओर गैसों का एक गतिशील आवरण है, जो ग्रह की पर्यावरणीय प्रणालियों का एक महत्वपूर्ण घटक है। जलवायु विनियमन, मौसम के पैटर्न और मानव-प्रेरित पर्यावरणीय परिवर्तनों में इसकी भूमिका को समझने के लिए **वायुमंडल की संरचना और संरचना को समझना** आवश्यक है। इस विषय का अक्सर परीक्षा में परीक्षण किया जाता है, जिसमें वायुमंडलीय परतों, गैस संरचना, ग्रीनहाउस प्रभाव, ओजोन क्षरण और वायु प्रदूषण को कवर करने वाले प्रश्न होते हैं, जिसके लिए अक्सर वैचारिक स्पष्टता और व्यावहारिक ज्ञान दोनों की आवश्यकता होती है।

### 1. वायुमंडल का अवलोकन

#### 1.1 परिभाषा और महत्व

वायुमंडल पृथ्वी को घेरे हुए गैसों की एक पतली परत है, जो गुरुत्वाकर्षण द्वारा अपनी जगह पर बनी हुई है, जो सतह से लगभग 10,000 किलोमीटर तक फैली हुई है। यह ऑक्सीजन प्रदान करके, तापमान को नियंत्रित करके, हानिकारक सौर विकिरण से सुरक्षा करके और मौसम और जलवायु प्रणालियों को सुविधाजनक बनाकर जीवन को बनाए रखने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

#### • वायुमंडल के कार्य :

- **जीवन समर्थन** : श्वसन के लिए ऑक्सीजन ( $O_2$ ) और प्रकाश संश्लेषण के लिए कार्बन डाइऑक्साइड ( $CO_2$ ) की आपूर्ति करता है।
- **जलवायु विनियमन** : सौर ऊर्जा को अवशोषित और पुनर्वितरित करता है, पृथ्वी का तापमान बनाए रखता है।
- **संरक्षण** : यह ओजोन परत के माध्यम से पराबैंगनी (यूवी) विकिरण से तथा घर्षण दहन के माध्यम से उल्कापिंडों से पृथ्वी की रक्षा करता है।
- **मौसम प्रणालियाँ** : ऊर्जा और जल चक्रों के माध्यम से वर्षा, हवा और तूफान को संचालित करती हैं।

#### • पर्यावरण विज्ञान में महत्व :

- पारिस्थितिकी तंत्र, कृषि और मानव स्वास्थ्य पर प्रभाव डालता है।
- जलवायु परिवर्तन, वायु प्रदूषण और ओजोन क्षरण जैसे वैश्विक मुद्दों पर मध्यस्थता करता है।
- मौसम पूर्वानुमान, विमानन और उपग्रह संचार जैसे अनुप्रयोगों के लिए महत्वपूर्ण।

#### • भारतीय संदर्भ :

- वायुमंडल मानसून के स्वरूप को प्रभावित करता है, जो भारत की कृषि के लिए महत्वपूर्ण है (उदाहरण के लिए, भारत की 50% कृषि भूमि मानसून पर निर्भर है)।
- दिल्ली और मुंबई जैसे शहरों में शहरी वायु प्रदूषण वायुमंडलीय अध्ययन की आवश्यकता को उजागर करता है।

#### 1.2 ऐतिहासिक समझ

• **प्राचीन परिप्रेक्ष्य** : भारत में, ऋग्वेद जैसे वैदिक ग्रंथों में वायुमंडल को वायु (हवा) और इंद्र (वर्षा) जैसे देवताओं से जोड़ा गया है, जो इसकी भूमिका के बारे में प्रारंभिक जागरूकता को दर्शाता है।

#### • वैज्ञानिक प्रगति :

- **17वीं शताब्दी** : इवेंजेलिस्टा टोरिसेली के बैरोमीटर ने वायुमंडलीय दबाव मापा।
- **19वीं शताब्दी** : गुब्बारा प्रयोगों के माध्यम से वायुमंडलीय परतों की खोज।
- **20वीं शताब्दी** : स्वेन्ते अरहेनियस और जीएमबी डॉब्सन जैसे वैज्ञानिकों द्वारा ग्रीनहाउस गैसों और ओजोन परत की पहचान।

• **आधुनिक युग** : उपग्रह प्रौद्योगिकी और सुदूर संवेदन (जैसे, इसरो का इनसैट) सटीक वायुमंडलीय निगरानी को सक्षम बनाता है।

### 2. वायुमंडल की संरचना

वायुमंडल को तापमान, दबाव और संरचना के आधार पर पाँच प्राथमिक परतों में विभाजित किया गया है: **क्षोभमंडल, समताप मंडल, मध्यमंडल, तापमंडल और बहिर्मंडल**। इन परतों को "विराम" (जैसे, ट्रोपोपॉज़) नामक सीमाओं द्वारा अलग किया जाता है।

#### 2.1 क्षोभमंडल

• **परिभाषा** : सबसे निचली परत, जो पृथ्वी की सतह से 8-15 किमी तक फैली हुई है (ध्रुवों पर कम, भूमध्य रेखा पर अधिक)।

#### • विशेषताएँ :

- **तापमान** : ऊंचाई के साथ  $\sim 6.5^\circ C$ /किमी (पर्यावरणीय क्षय दर) घटता है।
- **दबाव** : समुद्र तल पर सबसे अधिक ( $\sim 1013$  एमबी), ऊंचाई के साथ घटता है।
- **संरचना** : इसमें जल वाष्प, बादल और प्रदूषकों सहित वायुमंडलीय द्रव्यमान का 75-80% हिस्सा शामिल है।

#### • प्रमुख विशेषताएँ :

- **मौसम** : सभी मौसमी घटनाएँ (बारिश, तूफान, हवाएँ) यहां जल वाष्प और संवहन के कारण होती हैं।
- **ट्रोपोपॉज़** : समताप मण्डल के साथ सीमा, जहाँ तापमान स्थिर हो जाता है।

- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - वाष्पीकरण और वर्षण के माध्यम से जल विज्ञान चक्र को संचालित करता है।
  - वायु प्रदूषण (जैसे, धुँआ, कणीय पदार्थ) उत्पन्न करता है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - मानसून के बादल क्षोभमंडल में बनते हैं, जो भारत की वर्षा के लिए महत्वपूर्ण हैं।
  - तापमान व्युत्क्रमण के कारण दिल्ली का शीतकालीन धुँआ क्षोभमण्डल तक ही सीमित रहता है।
- **अनुप्रयोग :**
  - मौसम पूर्वानुमान क्षोभमंडलीय आंकड़ों (जैसे, भारत मौसम विज्ञान विभाग के मॉडल) पर निर्भर करता है।
  - विमानन ऊपरी क्षोभमंडल में संचालित होता है।

## 2.2 समताप मंडल

- **परिभाषा :** ट्रोपोपॉज़ से ~50 किमी तक विस्तृत।
- **विशेषताएँ :**
  - **तापमान :** यूवी विकिरण के ओजोन अवशोषण के कारण ऊंचाई के साथ बढ़ता है।
  - **दबाव :** कम, शीर्ष पर समुद्र तल का ~1/1000वाँ दबाव।
  - **संरचना :** शुष्क, उच्च ओजोन ( $O_3$ ) सांद्रता के साथ।
- **प्रमुख विशेषताएँ :**
  - **ओजोन परत :** 90-99% हानिकारक UV विकिरण को अवशोषित कर जीवन की रक्षा करती है।
  - **स्ट्रेटोपॉज़ :** मध्यमंडल के साथ सीमा।
- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - पृथ्वी के विकिरण संतुलन को नियंत्रित करता है।
  - ओजोन क्षरण (जैसे, अंटार्कटिका ओजोन छिद्र) एक प्रमुख चिंता का विषय है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल के प्रति भारत के अनुपालन से सी.एफ.सी. उत्सर्जन में कमी आई, जिससे ओजोन परत की बहाली में सहायता मिली।
  - भारत के एनएपीसीसी के लिए जलवायु मॉडल को समतापमंडलीय डेटा द्वारा सूचित किया जाता है।
- **अनुप्रयोग :**
  - उच्च ऊंचाई वाली उड़ानें (जैसे, जेट विमान) निचले समताप मंडल में संचालित होती हैं।
  - उपग्रहों के माध्यम से ओजोन की निगरानी (जैसे, इसरो का ओशनसैट)।

## 2.3 मीसोस्फीयर

- **परिभाषा :** समतापसीमा से ~85 किमी तक विस्तृत।
- **विशेषताएँ :**
  - **तापमान :** ऊंचाई के साथ घटता है,  $-90^\circ C$  (सबसे ठंडी परत) तक पहुंचता है।
  - **दबाव :** अत्यंत कम, समुद्र-स्तर के दबाव का ~1/100,000वां भाग।
  - **संरचना :** पतली हवा, सूक्ष्म गैसों और उल्कापिंडीय धूल।
- **प्रमुख विशेषताएँ :**
  - **उल्कापिंडों का जलना :** उल्कापिंड घर्षण के कारण जल जाते हैं, जिससे टूटते हुए तारे बनते हैं।
  - **मेसोपॉज़ :** थर्मोस्फीयर के साथ सीमा।
- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - सतही पर्यावरण पर न्यूनतम प्रत्यक्ष प्रभाव लेकिन ऊपरी वायुमंडलीय गतिशीलता को प्रभावित करता है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - इसरो के साउंडिंग रॉकेट मध्यमंडलीय हवाओं और तापमान का अध्ययन करते हैं।
- **अनुप्रयोग :**
  - मध्यमंडल में निर्मित रात्रिचर बादलों के अध्ययन से जलवायु अनुसंधान में सहायता मिलती है।

## 2.4 थर्मोस्फीयर

- **परिभाषा :** मध्यसीमा से लगभग 600 किमी तक विस्तृत।
- **विशेषताएँ :**
  - **तापमान :** सौर विकिरण अवशोषण के कारण तेजी से बढ़कर  $1,500^\circ C$  तक पहुंच जाता है।
  - **दबाव :** निर्वात के निकट, विरल गैस अणुओं के साथ।
  - **संरचना :** परमाण्विक ऑक्सीजन ( $O$ ), नाइट्रोजन ( $N_2$ ), और आयनित कणों की प्रधानता।

- **प्रमुख विशेषताएँ :**
  - **ऑरोरास :** गैसों के साथ आवेशित कणों की परस्पर क्रिया के कारण होता है।
  - **आयनमंडल :** थर्मोस्फीयर के साथ ओवरलैप, जिससे रेडियो संचार संभव होता है।
  - **थर्मोपॉज़ :** एक्सोस्फीयर के साथ सीमा।
- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - उच्च ऊर्जा सौर विकिरण (एक्स-रे, गामा किरणों) को अवशोषित करता है।
  - वायुमंडलीय खिंचाव के कारण उपग्रह की कक्षाओं पर प्रभाव पड़ता है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - इसरो के उपग्रह (उदाहरण के लिए, चंद्रयान) थर्मोस्फीयर में काम करते हैं।
  - आयनमंडलीय अध्ययन भारत की जीपीएस प्रणाली (नाविक) का समर्थन करते हैं।
- **अनुप्रयोग :**
  - उपग्रह संचार और अंतरिक्ष अन्वेषण तापमंडलीय स्थितियों पर निर्भर करते हैं।

## 2.5 एक्सोस्फीयर

- **परिभाषा :** सबसे बाहरी परत, ~600 किमी से 10,000 किमी तक फैली हुई, बाह्य अंतरिक्ष में विलीन।
- **विशेषताएँ :**
  - **तापमान :** अत्यंत उच्च लेकिन विरल कणों के कारण अर्थहीन।
  - **दबाव :** लगभग शून्य, निर्वात जैसा।
  - **संरचना :** हाइड्रोजन ( $H_2$ ), हीलियम (He), और कभी-कभी भारी अणु।
- **प्रमुख विशेषताएँ :**
  - **संक्रमण क्षेत्र :** कण अंतरिक्ष में चले जाते हैं या गुरुत्वाकर्षण द्वारा वापस खींच लिए जाते हैं।
  - **कोई निश्चित सीमा नहीं :** धीरे-धीरे अंतरग्रहीय अंतरिक्ष में लुप्त हो जाती है।
- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - न्यूनतम प्रत्यक्ष प्रभाव लेकिन वायुमंडलीय पलायन को समझने के लिए महत्वपूर्ण।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - बहिर्मंडलीय अध्ययन इसरो के गहन अंतरिक्ष मिशनों (जैसे, मंगलयान) को सूचित करते हैं।
- **अनुप्रयोग :**
  - अंतरिक्ष यान के डिजाइन में बहिर्मंडलीय खिंचाव और विकिरण को ध्यान में रखा जाता है।

### तालिका 1: वायुमंडलीय परतों की विशेषताएँ

परत	ऊँचाई (किमी)	तापमान	प्रमुख विशेषताएँ	पर्यावरणीय भूमिका
क्षोभ मंडल	0-15	कमी (~6.5°C/किमी)	मौसम, बादल	जल विज्ञान चक्र, प्रदूषण
स्ट्रेटोस्फियर	15-50	बढ़ता है (ओजोन)	ओजोन की परत	यूवी संरक्षण, जलवायु
मीसोस्फियर	50-85	घटता है (-90°C)	उल्कापिंड का जलना	ऊपरी वायुमंडलीय गतिशीलता
थर्मोस्फियर	85-600	वृद्धि (1,500°C)	ऑरोरास, आयनमंडल	उपग्रह कक्षाएँ, विकिरण
बहिर्मंडल	600-10,000	उच्च (विरल)	कण पलायन	वायुमंडलीय पलायन

## 3. वायुमंडल की संरचना

वायुमंडल में गैसों, एरोसोल और कण शामिल हैं, जिनकी पर्यावरणीय प्रक्रियाओं में अलग-अलग भूमिकाएँ हैं।

### 3.1 प्रमुख गैसों

- **नाइट्रोजन ( $N_2$ ) :** आयतन का 78.08%.
  - **भूमिका :** निष्क्रिय, ऑक्सीजन को पतला करता है, नाइट्रोजन चक्र को सहारा देता है (जैसे, बैक्टीरिया द्वारा स्थिरीकरण)।
  - **पर्यावरणीय प्रभाव :** उर्वरकों से अतिरिक्त नाइट्रोजन यूट्रोफिकेशन का कारण बनता है (उदाहरण के लिए, भारतीय झीलों में शैवाल का प्रस्फुटन)।
- **ऑक्सीजन ( $O_2$ ) :** 20.95%.
  - **भूमिका :** श्वसन और दहन के लिए आवश्यक।
  - **पर्यावरणीय प्रभाव :** प्रदूषित जल निकायों में कमी, जलीय जीवन को प्रभावित करना।
- **आर्गन (Ar) :** 0.93%.
  - **भूमिका :** निष्क्रिय, न्यूनतम पर्यावरणीय प्रभाव।
- **कार्बन डाइऑक्साइड ( $CO_2$ ) :** 0.0407% (410 पीपीएम, बढ़ती हुई).
  - **भूमिका :** प्रकाश संश्लेषण को संचालित करना, ग्रीनहाउस प्रभाव के माध्यम से जलवायु को नियंत्रित करना।
  - **पर्यावरणीय प्रभाव :** जीवाश्म ईंधन से बढ़ी हुई  $CO_2$  ग्लोबल वार्मिंग का कारण बनती है (उदाहरण के लिए, भारत के कोयला संयंत्र प्रतिवर्ष ~1.2 गीगाटन  $CO_2$  का योगदान करते हैं)।

### 3.2 ट्रेस गैसों

- **मीथेन (CH<sub>4</sub>)** : ~1.8 पीपीएम.
  - **स्रोत** : आर्द्रभूमि, पशुधन, चावल के खेत, लैंडफिल।
  - **प्रभाव** : ग्रीनहाउस गैस के रूप में CO<sub>2</sub> से 25 गुना अधिक शक्तिशाली।
  - **भारतीय संदर्भ** : चावल की खेती और मवेशी पालन भारत के CH<sub>4</sub> उत्सर्जन में लगभग 20% का योगदान देता है।
- **नाइट्रस ऑक्साइड (N<sub>2</sub>O)** : ~0.3 पीपीएम.
  - **स्रोत** : उर्वरक, औद्योगिक प्रक्रियाएँ।
  - **प्रभाव** : CO<sub>2</sub> से 300 गुना अधिक शक्तिशाली, ओजोन को नष्ट करता है।
- **ओजोन (O<sub>3</sub>)** : ~0.01–0.1 पीपीएम (क्षोभमंडलीय), समतापमंडल में अधिक।
  - **भूमिका** : स्ट्रैटोस्फेरिक ओजोन UV से सुरक्षा प्रदान करता है; ट्रोपोस्फेरिक ओजोन एक प्रदूषक है।
  - **प्रभाव** : जमीनी स्तर पर ओजोन के कारण श्वसन संबंधी समस्याएं उत्पन्न होती हैं (जैसे, दिल्ली का धुँआँ)।
- **क्लोरोफ्लोरोकार्बन (सीएफसी)** : <1 पीपीबी.
  - **स्रोत** : रेफ्रिजरेटर्स, एरोसोल (मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल के तहत चरणबद्ध तरीके से समाप्त)।
  - **प्रभाव** : समताप मंडलीय ओजोन का क्षय।

### 3.3 एरोसोल और कण

- **एरोसोल** : हवा में निलंबित सूक्ष्म तरल/ठोस कण (जैसे, सल्फेट, नाइट्रेट, ब्लैक कार्बन)।
  - **स्रोत** : ज्वालामुखी विस्फोट, धूल के तूफान, औद्योगिक उत्सर्जन, बायोमास जलाना।
  - **प्रभाव** :
    - सूर्य के प्रकाश को परावर्तित कर पृथ्वी को ठंडा करना (उदाहरणार्थ, सल्फेट एरोसोल)।
    - गर्मी को अवशोषित कर वातावरण को गर्म करना (उदाहरणार्थ, ब्लैक कार्बन)।
    - स्वास्थ्य संबंधी समस्याएं उत्पन्न हो सकती हैं (जैसे, दिल्ली की हवा में PM<sub>2.5</sub>)।
- **कणिकाएँ** :
  - **PM<sub>10</sub>** : कण <10 µm, श्वसन संबंधी जलन पैदा करते हैं।
  - **पी.एम.2.5** : 2.5 µm मीटर से छोटे कण, फेफड़ों में प्रवेश करते हैं, हृदय संबंधी रोगों से जुड़े होते हैं।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - पंजाब और हरियाणा में बायोमास जलाने से उत्तर भारत में शीत ऋतु में धुंध की स्थिति पैदा होती है।
  - सीपीसीबी पीएम 2.5 के स्तर की निगरानी करता है, दिल्ली का वार्षिक औसत (~100 µg/m<sup>3</sup>) विश्व स्वास्थ्य संगठन की सीमा (5 µg/m<sup>3</sup>) से अधिक है।

### तालिका 2: वायुमंडलीय संरचना

अवयव	प्रतिशत/एकाग्रता	भूमिका	पर्यावरणीय प्रभाव
नाइट्रोजन (N <sub>2</sub> )	78.08%	नाइट्रोजन चक्र	eutrophication
ऑक्सीजन (O <sub>2</sub> )	20.95%	श्वसन	जलीय हास
कार्बन डाइऑक्साइड (CO <sub>2</sub> )	0.0407% (410 पीपीएम)	प्रकाश संश्लेषण, ग्रीनहाउस	ग्लोबल वार्मिंग
मीथेन (CH <sub>4</sub> )	1.8 पीपीएम	ग्रीनहाउस गैस	जलवायु परिवर्तन
ओजोन (O <sub>3</sub> )	0.01–0.1 पीपीएम	यूवी संरक्षण, प्रदूषक	ओजोन क्षरण, स्वास्थ्य संबंधी समस्याएं
पीएम <sub>2.5</sub>	भिन्न-भिन्न (जैसे, दिल्ली में 100 µg/m <sup>3</sup> )	वायु गुणवत्ता	श्वसन संबंधी रोग

### 3.4 भौतिक एवं रासायनिक गुण

- **भौतिक गुण** :
  - **घनत्व** : ऊँचाई के साथ घटता है; क्षोभमंडल में सबसे अधिक घना।
  - **दबाव** : समुद्र तल पर 1013 एमबी, तेजी से गिरता है।
  - **तापमान** : परत के अनुसार भिन्न होता है (जैसे, क्षोभमंडलीय हास दर, समतापमंडलीय व्युत्क्रमण)।
- **रासायनिक गुण** :
  - **प्रतिक्रियाशीलता** : ओजोन सीएफसी के साथ प्रतिक्रिया करके क्लोरीन रेडिकल बनाती है जो O<sub>3</sub> को समाप्त कर देती है।
  - **प्रकाश रासायनिक अभिक्रियाएँ** : UV विकिरण O<sub>2</sub> को परमाण्विक ऑक्सीजन में विभाजित कर O<sub>3</sub> बनाता है।
  - **अम्लता** : SO<sub>2</sub> और NO<sub>x</sub> के जल के साथ अभिक्रिया करने पर अम्लीय वर्षा बनती है (उदाहरण, ताजमहल संक्षारण)।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - औद्योगिक क्षेत्रों (जैसे, कोरबा, छत्तीसगढ़) में अम्लीय वर्षा से फसलों और इमारतों को नुकसान पहुंचता है।
  - दिल्ली में प्रकाश-रासायनिक धुंध सूर्य के प्रकाश में NO<sub>x</sub> और VOCs के कारण उत्पन्न होती है।

## 4. वातावरण पर मानवीय प्रभाव

### 4.1 ग्रीनहाउस प्रभाव और जलवायु परिवर्तन

- **क्रियाविधि** : ग्रीनहाउस गैसों ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) अवरक्त विकिरण को रोक लेती हैं, जिससे पृथ्वी गर्म हो जाती है।
- **प्राकृतिक बनाम मानवजनित** :
  - प्राकृतिक: जल वाष्प और  $\text{CO}_2$  पृथ्वी के तापमान को बनाए रखते हैं ( $\sim 15^\circ\text{C}$  बनाम  $-18^\circ\text{C}$  बिना)।
  - मानवजनित: जीवाश्म ईंधन के दहन, वनों की कटाई से  $\text{CO}_2$  और  $\text{CH}_4$  में वृद्धि होती है।
- **प्रभाव** :
  - ग्लोबल वार्मिंग: पूर्व-औद्योगिक समय से  $1.1^\circ\text{C}$  की वृद्धि (आईपीसीसी, 2023)।
  - चरम मौसम: गर्म लहरें, बाढ़ और चक्रवात (उदाहरण, 2023 ओडिशा चक्रवात)।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - भारत तीसरा सबसे बड़ा  $\text{CO}_2$  उत्सर्जक ( $\sim 2.6$  गीगाटन/वर्ष) है, जो कोयला ऊर्जा द्वारा संचालित है।
  - एनएपीसीसी के राष्ट्रीय सौर मिशन का उद्देश्य नवीकरणीय ऊर्जा के माध्यम से उत्सर्जन को कम करना है।

### 4.2 ओजोन क्षरण

- **क्रियाविधि** : सी.एफ.सी. क्लोरीन मुक्त करते हैं, जो समताप मण्डल में  $\text{O}_3$  के विघटन को उत्प्रेरित करता है।
- **प्रभाव** : यूवी विकिरण में वृद्धि, जिससे त्वचा कैंसर और पारिस्थितिकी तंत्र को नुकसान होगा।
- **वैश्विक प्रतिक्रिया** : मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल (1987) ने सी.एफ.सी. को चरणबद्ध तरीके से समाप्त कर दिया, जिससे ओजोन छिद्र की बहाली हुई (अनुमानित पूर्ण बहाली 2066 तक)।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - भारत ने किगाली संशोधन (2016) के अंतर्गत एचएफसी में परिवर्तन किया।
  - पर्यावरण, वन एवं जलवायु परिवर्तन मंत्रालय ग्राउंड स्टेशनों और उपग्रहों के माध्यम से ओजोन स्तर की निगरानी करता है।

### 4.3 वायु प्रदूषण

- **स्रोत** :
  - **औद्योगिक** : कारखानों से  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , और PM।
  - **वाहन** : वाहनों से CO,  $\text{NO}_x$ , और VOCs।
  - **कृषि** : उर्वरकों से  $\text{NH}_3$ , पराली जलाने से PM।
- **प्रभाव** :
  - स्वास्थ्य: श्वसन संबंधी रोग, भारत में प्रतिवर्ष लगभग 1.7 मिलियन अकाल मृत्यु (लैंसेट, 2020)।
  - पर्यावरण: अम्लीय वर्षा, फसल की पैदावार में कमी।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - वाहनों, उद्योगों और पराली जलाने के कारण दिल्ली का AQI अक्सर 300 (गंभीर) से अधिक हो जाता है।
  - सीपीसीबी के राष्ट्रीय स्वच्छ वायु कार्यक्रम (एनसीएपी) का लक्ष्य 2024 तक पीएम में 20-30% की कमी लाना है।

## 5. वायुमंडलीय अध्ययन के अनुप्रयोग

### 5.1 जलवायु विनियमन

- **भूमिका** : वायुमंडल आने वाले सौर विकिरण (लघुतरंग) और बाहर जाने वाले अवरक्त विकिरण (दीर्घतरंग) को संतुलित करता है।
- **अनुप्रयोग** :
  - जलवायु मॉडल तापमान वृद्धि की भविष्यवाणी करते हैं (उदाहरण के लिए, आईपीसीसी का अनुमान है कि 2100 तक तापमान  $1.5-4.5$  डिग्री सेल्सियस तक बढ़ जाएगा)।
  - कार्बन पृथक्करण रणनीतियाँ (जैसे, वनरोपण) वायुमंडलीय  $\text{CO}_2$  को कम करती हैं।
- **भारतीय संदर्भ** : ग्रीन इंडिया मिशन 2030 तक  $\sim 2.5$  गीगाटन  $\text{CO}_2$  को संग्रहित करने के लिए वृक्षारोपण को बढ़ावा देता है।

### 5.2 मौसम पूर्वानुमान

- **भूमिका** : वायुमंडलीय डेटा (दबाव, तापमान, आर्द्रता) मौसम की भविष्यवाणी को सूचित करते हैं।
- **अनुप्रयोग** :
  - भारतीय मौसम विज्ञान विभाग (आईएमडी) मानसून पूर्वानुमान के लिए उपग्रहों (जैसे, इनसैट-3डी) का उपयोग करता है।
  - चक्रवातों (जैसे, अम्फान, 2020) के लिए पूर्व चेतावनी से जान बचती है।
- **भारतीय संदर्भ** : सटीक मानसून पूर्वानुमान किसानों को बुवाई और सिंचाई की योजना बनाने में सहायता करते हैं।

### 5.3 वायु गुणवत्ता प्रबंधन

- **भूमिका** : प्रदूषकों (पीएम,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) की निगरानी से शमन का मार्गदर्शन मिलता है।
- **अनुप्रयोग** :
  - सीपीसीबी का वायु गुणवत्ता सूचकांक (एक्यूआई) सार्वजनिक स्वास्थ्य संबंधी सलाह देता है।
  - एनसीएपी स्वच्छ प्रौद्योगिकियों (जैसे, विद्युत संयंत्रों में स्क्रबर्स) को वित्तपोषित करता है।
- **भारतीय संदर्भ** : दिल्ली की ग्रेडेड रिस्पांस एक्शन प्लान (जीआरएपी) उच्च एक्यूआई के दौरान वाहन प्रतिबंध जैसे उपायों को लागू करती है।

### तालिका 3: वायुमंडलीय अध्ययन के अनुप्रयोग

आवेदन	विवरण	भारतीय उदाहरण
जलवायु विनियमन	विकिरण को संतुलित करता है, CO <sub>2</sub> को कम करता है	हरित भारत मिशन
मौसम पूर्वानुमान	वायुमंडलीय डेटा का उपयोग करके मौसम की भविष्यवाणी करता है	आईएमडी का मानसून पूर्वानुमान
वायु गुणवत्ता प्रबंधन	प्रदूषकों की निगरानी और शमन	दिल्ली में NCAP, GRAP

## 6. केस स्टडीज़ और उदाहरण

### 6.1 वैश्विक केस स्टडी: ओजोन छिद्र पुनर्प्राप्ति

- **संदर्भ** : अंटार्कटिका में 1985 में खोजे गए ओजोन छिद्र का कारण CFC उत्सर्जन था। मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल (1987) ने CFC पर प्रतिबंध लगा दिया, जिससे धीरे-धीरे सुधार हुआ।
- **प्रभाव** :
  - ओजोन छिद्र क्षेत्र 29 मिलियन वर्ग किमी (2000) से घटकर 20 मिलियन वर्ग किमी (2023) हो गया।
  - पूर्ण पुनर्प्राप्ति का अनुमान 2066 तक है (WMO, 2022)।
  - यूवी-संबंधी स्वास्थ्य जोखिम में कमी (जैसे, त्वचा कैंसर)।
- **प्रासंगिकता** :
  - समतापमंडलीय ओजोन की भूमिका और मानवीय प्रभावों पर प्रकाश डाला गया।
  - पर्यावरण शासन में वैश्विक सहयोग को प्रदर्शित करता है।

### 6.2 भारतीय केस स्टडी: दिल्ली वायु प्रदूषण संकट

- **संदर्भ** : वाहनों से निकलने वाले उत्सर्जन, औद्योगिक प्रदूषण और पंजाब/हरियाणा में पराली जलाने के कारण दिल्ली का AQI अक्सर 300 (गंभीर) से अधिक हो जाता है।
- **प्रभाव** :
  - स्वास्थ्य: प्रतिवर्ष ~1 मिलियन श्वसन मामले (एम्स, 2022)।
  - पर्यावरण: दृश्यता में कमी, फसल क्षति।
  - आर्थिक: ~\$10 बिलियन/वर्ष का नुकसान (विश्व बैंक, 2020)।
- **शमन** :
  - एनसीएपी का लक्ष्य 122 शहरों में पीएम में कमी लाना है।
  - जीआरएपी सम-विषम वाहन नियम जैसे उपायों को लागू करता है।
  - सीपीसीबी का समीर ऐप वास्तविक समय का एक्वआई डेटा उपलब्ध कराता है।
- **प्रासंगिकता** :
  - क्षोभमंडलीय प्रदूषण और स्वास्थ्य प्रभावों को दर्शाता है।
  - वायु गुणवत्ता प्रबंधन अनुप्रयोगों के लिए लिंक।

### 6.3 भारतीय केस स्टडी: भारत की मानसून और क्षोभमंडलीय गतिशीलता

- **संदर्भ** : क्षोभमंडलीय तापन और नमी से प्रेरित भारतीय मानसून, भारत की वार्षिक वर्षा (जून-सितंबर) का 70-90% प्रदान करता है।
- **प्रभाव** :
  - कृषि को समर्थन देता है, सकल घरेलू उत्पाद में ~14% का योगदान देता है।
  - परिवर्तनशीलता बढ़ (जैसे, 2018 केरल) या सूखे (जैसे, 2019 महाराष्ट्र) का कारण बनती है।
- **शमन** :
  - आईएमडी के पूर्वानुमान इनसैट उपग्रहों से प्राप्त क्षोभमंडलीय डेटा का उपयोग करते हैं।
  - राष्ट्रीय जल मिशन (एनएपीसीसी) जल संरक्षण को बढ़ावा देता है।
- **प्रासंगिकता** :
  - क्षोभमंडलीय मौसम प्रक्रियाओं पर प्रकाश डाला गया।
  - मौसम पूर्वानुमान अनुप्रयोगों के लिए लिंक।

## 7. संभावित नमूना प्रश्न

### MCQ :

#### 4. ऑरोरा के लिए कौन सी वायुमंडलीय परत जिम्मेदार है?

- (A) समताप मंडल
- (B) मध्यमंडल
- (C) थर्मोस्फीयर
- (D) क्षोभमंडल

उत्तर: C

स्पष्टीकरण : ऑरोरा थर्मोस्फीयर में आवेशित कणों की परस्पर क्रिया के कारण होता है।

## 5. अभिकथन-कारण

अभिकथन (A): समताप मंडल में ओजोन परत होती है।

कारण (R): ओजोन UV विकिरण को अवशोषित करता है, जिससे समताप मंडल का तापमान बढ़ता है।

(A) A और R दोनों सत्य हैं, और R, A की व्याख्या करता है।

(B) A और R दोनों सत्य हैं, लेकिन R, A की व्याख्या नहीं करता है।

(C) A सत्य है, R असत्य है।

(D) A असत्य है, R सत्य है।

उत्तर: A

स्पष्टीकरण : समताप मंडल में ओजोन परत होती है, और ओजोन के UV अवशोषण के कारण तापमान व्युत्क्रमण होता है।

## 6. निम्नलिखित का मिलान करें :

गैस

(A) नाइट्रोजन

(B) ऑक्सीजन

(C) CO<sub>2</sub>

(D) ओजोन

भूमिका

1. ग्रीनहाउस गैस

2. यूवी संरक्षण

3. श्वसन

4. नाइट्रोजन चक्र

उत्तर: (A)-4, (B)-3, (C)-1, (D)-2

व्याख्या : प्रत्येक गैस का मिलान उसकी प्राथमिक पर्यावरणीय भूमिका से किया जाता है।

## जलमंडल की संरचना और संयोजन

### परिचय

जलमंडल, जिसमें पृथ्वी पर मौजूद सभी जल अपने तरल, ठोस और गैसीय रूपों में समाहित है, पर्यावरणीय प्रणालियों की आधारशिला है, जो जलवायु, पारिस्थितिकी तंत्र और मानव अस्तित्व को संचालित करता है। **जलमंडल की संरचना और संरचना में** जल वितरण, भौतिक और रासायनिक गुण, जल विज्ञान चक्र और प्रदूषण और अतिदोहन जैसे मानवीय प्रभाव शामिल हैं। इस विषय पर बहुत अधिक परीक्षण किया गया है, जिसमें जल संसाधन, प्रदूषण और भारत-विशिष्ट मुद्दों जैसे मानसून परिवर्तनशीलता और भूजल की कमी पर प्रश्न शामिल हैं।

### 1. जलमंडल का अवलोकन

#### 1.1 परिभाषा और महत्व

जलमंडल पृथ्वी पर मौजूद पानी का कुल द्रव्यमान है, जिसमें महासागर, नदियाँ, झीलें, भूजल, ग्लेशियर, आर्द्रभूमि और वायुमंडलीय जल वाष्प शामिल हैं। पृथ्वी की सतह के लगभग 71% हिस्से को कवर करने वाला यह जलमंडल जीवन, जलवायु विनियमन और सामाजिक-आर्थिक प्रणालियों के लिए आवश्यक है।

#### • जलमंडल के कार्य :

- **जीवन समर्थन** : पीने, कृषि और पारिस्थितिक तंत्र के लिए पानी उपलब्ध कराता है (उदाहरण के लिए, भारत की 97% कृषि जल उपलब्धता पर निर्भर करती है)।
- **जलवायु विनियमन** : महासागर ऊष्मा का भंडारण करते हैं, जिससे वैश्विक तापमान नियंत्रित रहता है; जल वाष्प मौसम के पैटर्न को प्रभावित करता है।
- **पोषक चक्रण** : पोषक तत्वों (जैसे, नाइट्रोजन, फास्फोरस) को नदियों और भूजल के माध्यम से परिवहन करता है।
- **आर्थिक भूमिका** : मत्स्य पालन, जल विद्युत और नौवहन को समर्थन देता है (उदाहरण के लिए, भारत का अंतर्देशीय जलमार्ग प्राधिकरण नदी परिवहन को बढ़ावा देता है)।

#### • पर्यावरण विज्ञान में महत्व :

- जल की कमी, प्रदूषण और जलवायु परिवर्तन के प्रभावों (जैसे, समुद्र-स्तर में वृद्धि) को संबोधित करता है।
- भारत के राष्ट्रीय जल मिशन (एनएपीसीसी) जैसी नीतियों और एसडीजी 6 (स्वच्छ जल और स्वच्छता) जैसे वैश्विक ढांचे को सूचित करता है।

#### • भारतीय संदर्भ :

- मानसून भारत की वार्षिक वर्षा का 70-90% प्रदान करता है, जो जल उपलब्धता को आकार देता है।
- पंजाब और हरियाणा में भूजल का अत्यधिक दोहन कृषि स्थिरता के लिए खतरा बन रहा है।
- गंगा नदी प्रदूषण जलमंडलीय अध्ययन की आवश्यकता को उजागर करता है।

### 1.2 ऐतिहासिक समझ

- **प्राचीन भारत** : वैदिक ग्रंथों ( ऋग्वेद , अथर्ववेद ) में जल को पवित्र माना गया है, तथा वरुण को समुद्र और नदियों का देवता माना गया है। प्राचीन प्रणालियाँ जैसे बावड़ियाँ (जैसे, रानी की वाव, गुजरात) जल संसाधनों का प्रबंधन करती थीं।
- **वैश्विक मील के पत्थर** :
  - **17वीं शताब्दी** : इवेंजेलिस्टा टोरिसेली के द्रव गतिविज्ञान पर अध्ययन ने जल विज्ञान की नींव रखी।
  - **19वीं शताब्दी** : वाष्पीकरण और संघनन पर जॉन डाल्टन के कार्य ने जल विज्ञान चक्र की समझ को उन्नत किया।
  - **20वीं शताब्दी** : जल संसाधन मूल्यांकन के लिए भूजल मॉडल और सुदूर संवेदन (जैसे, GRACE उपग्रह) का विकास।
- **आधुनिक युग** : भारत के इसरो उपग्रह (जैसे, रिसोर्ससैट) जल निकायों की निगरानी करते हैं, जबकि आईपीसीसी जैसी वैश्विक पहल जल-जलवायु संबंधों को संबोधित करती है।

### 1.3 जलमंडल के घटक

- **महासागर** : पृथ्वी के कुल जल का 97.5%, 361 मिलियन वर्ग किमी.
- **मीठा पानी** (2.5%):
  - ग्लेशियर/बर्फ की टोपियां: मीठे पानी का 68.7%, मुख्य रूप से अंटार्कटिका और ग्रीनलैंड में।
  - भूजल: 30.1%, जलभृतों में संग्रहित।
  - सतही जल: 1.2% (झीलें, नदियाँ, आर्द्रभूमि).
- **वायुमंडलीय जल वाष्प** : <0.001% लेकिन वर्षण के लिए महत्वपूर्ण।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - हिमालय के ग्लेशियर (जैसे, गंगोत्री) गंगा और ब्रह्मपुत्र जैसी नदियों को जल प्रदान करते हैं।
  - भारत की 7,517 किलोमीटर लंबी तटरेखा समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र और मत्स्य पालन को समर्थन प्रदान करती है।

### तालिका 1: वैश्विक जल वितरण

अवयव	कुल जल का प्रतिशत	आयतन (किमी <sup>3</sup> )	भूमिका
महासागर	97.5%	1,338,000,000	जलवायु विनियमन, जैव विविधता
ग्लेशियर/बर्फ की टोपियाँ	1.74%	24,064,000	मीठे पानी का भंडारण, नदी का प्रवाह
भूजल	0.76%	10,530,000	सिंचाई, पेयजल
ऊपरी तह का पानी	0.03%	374,000	पारिस्थितिकी तंत्र, कृषि
वायुमंडलीय वाष्प	<0.001%	12,900	वर्षा, मौसम

## 2. जलमंडल की संरचना

जलमंडल विभिन्न घटकों में संरचित है, जिनमें से प्रत्येक की भौतिक और पारिस्थितिक भूमिकाएं अद्वितीय हैं।

### 2.1 महासागर

- **परिभाषा** : खारे पानी के विशाल निकाय, जो पृथ्वी की सतह के 71% भाग (प्रशांत, अटलांटिक, हिंद, दक्षिणी, आर्कटिक) को कवर करते हैं।
- **विशेषताएँ** :
  - **आयतन** : ~1.34 बिलियन वर्ग किमी, कुल जल का 97.5%।
  - **गहराई** : औसत 3.7 किमी, अधिकतम 11 किमी (मारियाना ट्रेंच)।
  - **लवणता** : ~35 ग्राम/लीटर (3.5%), क्षेत्र के अनुसार भिन्न होती है (जैसे, नदी के प्रवाह के कारण तटीय क्षेत्रों में कम)।
- **भौतिक गुण** :
  - **तापमान** : सतह पर 0-30°C, गहरे समुद्र में ~2°C.
  - **घनत्व** : 1.025 ग्राम/सेमी<sup>3</sup>, लवणता और तापमान से प्रभावित।
- **पर्यावरणीय भूमिका** :
  - ग्लोबल वार्मिंग से उत्पन्न अतिरिक्त ऊष्मा का 90% अवशोषित करता है (आईपीसीसी, 2023)।
  - समुद्री जैव विविधता (जैसे, प्रवाल भित्तियाँ, मत्स्य पालन) का समर्थन करता है।
  - थर्मोहलिन परिसंचरण को बढ़ाता है, वैश्विक जलवायु को प्रभावित करता है।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - हिंद महासागर, हिंद महासागर द्विध्रुव (IOD) के माध्यम से मानसून पैटर्न को प्रभावित करता है।
  - अरब सागर में अत्यधिक मछली पकड़ने से समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र को खतरा है।
- **अनुप्रयोग** :
  - विलवणीकरण संयंत्र (जैसे, चेन्नई का मिंजुर संयंत्र) मीठा पानी उपलब्ध कराते हैं।
  - समुद्री संरक्षित क्षेत्र (जैसे, मन्नार की खाड़ी) जैव विविधता का संरक्षण करते हैं।

### 2.2 नदियाँ

- **परिभाषा** : मीठे पानी के बहते हुए निकाय, जो पानी और तलछट को महासागरों या झीलों तक पहुंचाते हैं।
- **विशेषताएँ** :
  - **आयतन** : विश्व भर में ~2,120 वर्ग किमी, कुल जल का <0.01%.
  - **लम्बाई** : प्रमुख नदियाँ जैसे गंगा (~2,525 किमी) और ब्रह्मपुत्र (~2,900 किमी)।
- **भौतिक गुण** :
  - **प्रवाह दर** : भिन्न होती है (उदाहरण के लिए, गंगा का निर्वहन: मानसून के दौरान 38,000 m<sup>3</sup>/s)।
  - **गन्दगी** : तलछट के कारण मानसून के मौसम में अधिक।
- **पर्यावरणीय भूमिका** :
  - नदी तटीय पारिस्थितिकी तंत्रों (जैसे, सुंदरबन मैंग्रोव) को समर्थन प्रदान करता है।
  - पोषक तत्वों का परिवहन, मिट्टी की उर्वरता को आकार देना।

### • भारतीय संदर्भ :

- गंगा 400 मिलियन लोगों का भरण-पोषण करती है, लेकिन प्रदूषण (जैसे, 3 बिलियन लीटर/दिन सीवेज) से भी जूझ रही है।
- नमामि गंगे (2014) का लक्ष्य 2030 तक नदी को साफ करना है।

### • अनुप्रयोग :

- जलविद्युत (जैसे, सतलुज पर भाखड़ा बांध)।
- सिंचाई (जैसे, राजस्थान में इंदिरा गांधी नहर)।

### 2.3 झीलें

#### • परिभाषा : मीठे पानी या खारे पानी के स्थायी निकाय (जैसे, मीठा पानी: डल झील; खारा पानी: चिल्का झील)।

#### • विशेषताएँ :

- आयतन : विश्व भर में ~87,000 वर्ग किमी, कुल जल का ~0.01%।
- सतही क्षेत्र : लोकतक (मणिपुर) जैसी बड़ी झीलें लगभग 287 वर्ग किमी में फैली हुई हैं।

#### • भौतिक गुण :

- स्तरीकरण : तापमान/घनत्व (एपिलिमिनियन, हाइपोलिमिनियन) पर आधारित परतें।
- स्पष्टता : शैवाल और तलछट के साथ बदलती रहती है।

#### • पर्यावरणीय भूमिका :

- स्थानीय जलवायु को नियंत्रित करता है (उदाहरण के लिए, भोपाल की बड़ी झील शहर को ठंडा रखती है)।
- जैव विविधता का समर्थन करता है (उदाहरण के लिए, चिल्का की इरावदी डॉल्फिन)।

#### • भारतीय संदर्भ :

- सीवेज और पर्यटन के कारण डल झील में यूट्रोफिकेशन।
- राष्ट्रीय झील संरक्षण योजना (एनएलसीपी) पवई (मुंबई) जैसी झीलों को पुनर्स्थापित करती है।

#### • अनुप्रयोग :

- मत्स्य पालन (उदाहरणार्थ, चिल्का में प्रति वर्ष 14,000 टन मछली का उत्पादन होता है)।
- पर्यटन (जैसे, पैगोंग झील, लद्दाख)।

### 2.4 भूजल

#### • परिभाषा : भूमिगत जलभृतों में संग्रहित जल, जिसे कुओं या झरनों के माध्यम से प्राप्त किया जाता है।

#### • विशेषताएँ :

- आयतन : ~10.5 मिलियन वर्ग किमी, मीठे पानी का 30.1%।
- पुनर्भरण दर : धीमी (वर्षों से लेकर शताब्दियों तक), वर्षा और भूविज्ञान पर निर्भर करती है।

#### • भौतिक गुण :

- संरंध्रता : चट्टान की जल धारण करने की क्षमता (उदाहरणार्थ, बलुआ पत्थर > मिट्टी)।
- पारगम्यता : जल प्रवाह की आसानी (उदाहरणार्थ, बजरी > शैल)।

#### • पर्यावरणीय भूमिका :

- भारत की 50% सिंचाई जल की आपूर्ति करता है।
- शुष्क मौसम के दौरान नदी के आधार प्रवाह को बनाए रखता है।

#### • भारतीय संदर्भ :

- पंजाब में अत्यधिक दोहन (टिकाऊ उपज का 150%) के कारण जलभृत में कमी आ रही है।
- अटल भूजल योजना (2020) भूजल पुनर्भरण को बढ़ावा देती है।

#### • अनुप्रयोग :

- पेयजल (उदाहरण के लिए, 80% ग्रामीण भारत भूजल पर निर्भर है)।
- औद्योगिक उपयोग (जैसे, गुजरात में कपड़ा उद्योग)।

### 2.5 ग्लेशियर और बर्फ की टोपियां

#### • परिभाषा : ग्लेशियरों, बर्फ की चोटियों और ध्रुवीय बर्फ की चादरों में जमा हुआ पानी।

#### • विशेषताएँ :

- आयतन : ~24 मिलियन वर्ग किमी, 68.7% ताजा पानी।
- स्थान : हिमालय, अंटार्कटिका, ग्रीनलैंड।

#### • भौतिक गुण :

- घनत्व : 0.917 ग्राम/सेमी<sup>3</sup> (बर्फ बनाम 1 ग्राम/सेमी<sup>3</sup> तरल जल)।
- गति : ग्लेशियर गुरुत्वाकर्षण के अधीन बहते हैं (उदाहरण के लिए, गंगोत्री लगभग 20 मीटर प्रति वर्ष पीछे हटती है)।

#### • पर्यावरणीय भूमिका :

- बारहमासी नदियों (जैसे, सिंधु, गंगा) को पोषण प्रदान करता है।
- सूर्य के प्रकाश को परावर्तित करता है, जिससे ग्लोबल वार्मिंग (अल्बेडो प्रभाव) कम होती है।

- **भारतीय संदर्भ :**
  - जलवायु परिवर्तन के कारण हिमालय के ग्लेशियर 0.5-1 मीटर/वर्ष की दर से पिघल रहे हैं।
  - हिमालयी पारिस्थितिकी तंत्र को बनाए रखने के लिए राष्ट्रीय मिशन (एनएपीसीसी) ग्लेशियरों की निगरानी करता है।
- **अनुप्रयोग :**
  - जलविद्युत (जैसे, ग्लेशियर टिहरी बांध को पानी देते हैं)।
  - जलवायु अनुसंधान (जैसे, बर्फ कोर अध्ययन)।

## 2.6 आर्द्रभूमि

- **परिभाषा :** संतृप्त मिट्टी वाले संक्रमणकालीन पारिस्थितिकी तंत्र (जैसे, दलदल, दलदल, दलदल)।
- **विशेषताएँ :**
  - **क्षेत्रफल :** विश्व स्तर पर ~1.2 मिलियन वर्ग किमी, भारत में ~0.15 मिलियन वर्ग किमी (जैसे, सुंदरवन)।
  - **जल विज्ञान :** मौसमी बाढ़ या स्थायी संतृप्ति।
- **पर्यावरणीय भूमिका :**
  - प्रदूषकों को फ़िल्टर करता है, जल की गुणवत्ता में सुधार करता है।
  - जैव विविधता का समर्थन करता है (उदाहरणार्थ, केवलादेव के प्रवासी पक्षी)।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - चिल्का और सुंदरवन जैसे रामसर स्थलों को शहरीकरण से खतरा है।
  - राष्ट्रीय आर्द्रभूमि संरक्षण कार्यक्रम 75 स्थलों की सुरक्षा करता है।
- **अनुप्रयोग :**
  - बाढ़ नियंत्रण (उदाहरणार्थ, कोलकाता की पूर्वी आर्द्रभूमि)।
  - कार्बन पृथक्करण (आर्द्रभूमि मृदा कार्बन का 30% संग्रहित करती है)।

## तालिका 2: जलमंडल के घटक और विशेषताएँ

अवयव	आयतन (किमी <sup>3</sup> )	भौतिक गुण	पर्यावरणीय भूमिका	भारतीय उदाहरण
महासागर	1,338,000,000	लवणता: 35 ग्राम/लीटर, घनत्व: 1.025 ग्राम/सेमी <sup>3</sup>	जलवायु विनियमन	हिंद महासागर मानसून
नदियों	2,120	प्रवाह दर, गन्दगी	पोषक तत्व परिवहन	गंगा नदी
झील	87,000	स्तरीकरण, स्पष्टता	जैव विविधता	डल झील
भूजल	10,530,000	सरंध्रता, पारगम्यता	सिंचाई	पंजाब जलभृत
ग्लेशियरों	24,064,000	घनत्व: 0.917 ग्राम/सेमी <sup>3</sup>	नदी का बहाव	गंगोत्री ग्लेशियर
वेटलैंड्स	भिन्न	संतृप्त मिट्टी	प्रदूषक निस्पंदन	सुंदरवन

## 3. जलमंडल की संरचना

जलमंडल की रासायनिक संरचना में जल (H<sub>2</sub>O) और घुलनशील पदार्थ शामिल हैं, जो घटक के अनुसार भिन्न होते हैं।

### 3.1 रासायनिक संरचना

- **जल अणु (H<sub>2</sub>O) :**
  - ध्रुवीय संरचना विलायक गुणों, लवण और पोषक तत्वों को घोलने में सक्षम बनाती है।
  - शुद्ध जल में pH: ~7 (तटस्थ), प्रदूषकों द्वारा परिवर्तित (जैसे, अम्लीय वर्षा: pH 4-5)।
- **घुले हुए पदार्थ :**
  - **लवण :** सोडियम (Na<sup>+</sup>), क्लोराइड (Cl<sup>-</sup>) महासागरों में प्रमुख हैं (लवणता: 35 ग्राम/ली)।
  - **पोषक तत्व :** नाइट्रोजन (N), फॉस्फोरस (P) जलीय पारिस्थितिक तंत्र को सहारा देते हैं।
  - **गैस :** घुलित ऑक्सीजन (DO, मीठे पानी में ~8 mg/L), CO<sub>2</sub> (~0.5 mg/L)।
  - **प्रदूषक :** भारी धातुएँ (जैसे, सीसा, पारा), कीटनाशक, नाइट्रेट।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - गंगा की उच्च जैव रासायनिक ऑक्सीजन मांग (बीओडी, ~ 30 मिलीग्राम/लीटर बनाम 5 मिलीग्राम/लीटर मानक) प्रदूषण का संकेत देती है।
  - मुंबई के निकट तटीय जल में औद्योगिक अपशिष्टों से भारी धातुएं बढ़ गई हैं।

### 3.2 लवणता

- **परिभाषा :** घुले हुए लवणों की सांद्रता, जिसे ग्राम/लीटर या प्रति हजार भागों (पीपीटी) में मापा जाता है।
- **उतार-चढ़ाव :**
  - महासागर: 33-37 पीपीटी (हिंद महासागर: ~35 पीपीटी)।
  - मुहाना: 0.5-30 पीपीटी (उदाहरणार्थ, हुगली मुहाना)।
  - मीठा पानी: <0.5 पीपीटी (उदाहरणार्थ, गंगा नदी के ऊपर की ओर)।

- **कारक :**
  - वाष्पीकरण से लवणता बढ़ जाती है (उदाहरणार्थ, अरब सागर)।
  - नदियों के प्रवाह से लवणता कम हो जाती है (उदाहरणार्थ, बंगाल की खाड़ी)।
- **पर्यावरणीय प्रभाव :**
  - जलीय प्रजातियों को प्रभावित करता है (जैसे, सुंदरबन में लवणता-सहिष्णु मैंग्रोव)।
  - महासागरीय परिसंचरण को प्रभावित करता है (उदाहरण के लिए, बंगाल की खाड़ी का कम लवणता वाला भाग मानसून को प्रभावित करता है)।
- **संख्यात्मक उदाहरण :**
  - लवणता की गणना करें: 1 लीटर समुद्री जल में 35 ग्राम लवण होते हैं। लवणता =  $(35 \text{ ग्राम} / 1000 \text{ ग्राम}) \times 1000 = 35 \text{ ppt}$ .

### 3.3 घुलित ऑक्सीजन (डीओ)

- **परिभाषा :** जल में घुली ऑक्सीजन जलीय जीवन के लिए महत्वपूर्ण है।
- **एकाग्रता :**
  - मीठे पानी: 6-10 मिलीग्राम/लीटर (मछली के लिए आदर्श)।
  - प्रदूषित जल:  $<4 \text{ mg/L}$  (उदाहरणार्थ, दिल्ली में यमुना:  $\sim 2 \text{ mg/L}$ )।
- **कारक :**
  - तापमान: तापमान बढ़ने पर DO घटता है (उदाहरण के लिए,  $10^\circ\text{C}$  पर  $10 \text{ mg/L}$ ,  $30^\circ\text{C}$  पर  $7 \text{ mg/L}$ )।
  - प्रदूषण: कार्बनिक पदार्थ BOD को बढ़ाते हैं, DO को कम करते हैं।
- **पर्यावरणीय प्रभाव :**
  - कम डी.ओ. के कारण मछलियाँ मर जाती हैं (उदाहरणार्थ, बेल्लांदूर झील, बेंगलुरु)।
  - उच्च डी.ओ. स्वस्थ पारिस्थितिकी तंत्र को सहारा देता है (उदाहरणार्थ, लोकतक झील)।
- **संख्यात्मक उदाहरण :**
  - बीओडी गणना: यदि प्रारंभिक डीओ = 8 मिलीग्राम/लीटर, अंतिम डीओ = 5 दिनों के बाद 3 मिलीग्राम/लीटर, बीओडी =  $8 - 3 = 5 \text{ मिलीग्राम/लीटर}$  (स्वच्छ जल के लिए स्वीकार्य)।

### 3.4 पोषक तत्व

- **प्रकार :** नाइट्रोजन (नाइट्रेट्स, अमोनिया), फास्फोरस (फॉस्फेट)।
- **स्रोत :** कृषि अपवाह, सीवेज, औद्योगिक अपशिष्ट।
- **पर्यावरणीय प्रभाव :**
  - सुपोषण: अतिरिक्त पोषक तत्वों के कारण शैवालों का विकास होता है, जिससे डी.ओ. कम हो जाता है (उदाहरणार्थ, उत्सूर झील, बेंगलुरु)।
  - जल की गुणवत्ता और जैव विविधता पर प्रभाव पड़ता है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - पंजाब का नाइट्रेट युक्त भूजल ( $50-100 \text{ मि.ग्रा./ली.}$  बनाम विश्व स्वास्थ्य संगठन की सीमा  $45 \text{ मि.ग्रा./ली.}$ ) स्वास्थ्य के लिए खतरा पैदा करता है।
  - सीपीसीबी कावेरी जैसी नदियों में पोषक तत्वों की मात्रा की निगरानी करता है।

### 3.5 प्रदूषक

- **प्रकार :**
  - **भारी धातुएँ :** उद्योगों से निकलने वाले सीसा, पारा, आर्सेनिक।
  - **कार्बनिक प्रदूषक :** कीटनाशक (जैसे, डीडीटी), तेल।
  - **रोगजनक :** मल-मूत्र से कोलीफॉर्म बैक्टीरिया।
- **पर्यावरणीय प्रभाव :**
  - खाद्य शृंखलाओं में जैवसंचय (जैसे, मछली में पारा)।
  - स्वास्थ्य जोखिम: पश्चिम बंगाल के भूजल में आर्सेनिक कैंसर का कारण बनता है।
- **भारतीय संदर्भ :**
  - यमुना के फेकल कोलीफॉर्म स्तर ( $\sim 10^8 \text{ एमपीएन/100 एमएल}$  बनाम  $500 \text{ एमपीएन/100 एमएल}$  मानक) गंभीर प्रदूषण का संकेत देते हैं।
  - नमामि गंगे प्रदूषण को कम करने के लिए सीवेज उपचार संयंत्र (एसटीपी) स्थापित करता है।

### तालिका 3: जल की रासायनिक संरचना

पदार्थ	एकाग्रता	भूमिका	प्रभाव
लवण (Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> )	महासागर: 35 ग्राम/लीटर	आसमाटिक संतुलन	प्रजातियों के वितरण को प्रभावित करता है
विघटित ऑक्सीजन	ताज़ा पानी: 6-10 मिलीग्राम/लीटर	जलीय श्वसन	कम होने पर मछली मर जाती है
पोषक तत्व (एन, पी)	भिन्न होता है (जैसे, 1-10 मिलीग्राम/लीटर)	पारिस्थितिकी तंत्र समर्थन	eutrophication
प्रदूषक (Pb, Hg)	भिन्न होता है (उदाहरण के लिए, 0.01-1 मिलीग्राम/लीटर)	कोई नहीं	जैवसंचय, स्वास्थ्य जोखिम

#### 4. जल विज्ञान चक्र

##### 4.1 परिभाषा और प्रक्रियाएँ

जल विज्ञान चक्र जलमंडल, वायुमंडल और स्थलमंडल के माध्यम से जल की निरंतर गति है, जो सौर ऊर्जा और गुरुत्वाकर्षण द्वारा संचालित होती है।

##### • प्रक्रियाएँ :

- **वाष्पीकरण** : तरल जल से वाष्प (उदाहरणार्थ, महासागरों से: ~505,000 किमी<sup>3</sup>/वर्ष)।
- **वाष्पोत्सर्जन** : पौधों द्वारा जल का उत्सर्जन (उदाहरण के लिए, वन वायुमंडलीय वाष्प में 10% का योगदान करते हैं)।
- **संघनन** : वाष्प से द्रव में परिवर्तित होकर बादल बनना।
- **वर्षा** : वर्षा, हिमपात, ओलावृष्टि (जैसे, वैश्विक: 119,000 वर्ग किमी/वर्ष)।
- **अंतःस्यंदन** : जल मृदा में प्रवेश करता है, तथा जलभृतों को पुनः भरता है।
- **अपवाह** : नदियों, झीलों, महासागरों में सतही प्रवाह।

##### • वैश्विक जल संतुलन :

- इनपुट: वर्षा = 119,000 किमी<sup>3</sup>/वर्ष।
- आउटपुट: वाष्पीकरण + वाष्पोत्सर्जन = 119,000 किमी<sup>3</sup>/वर्ष।

##### • संख्यात्मक उदाहरण :

- अपवाह की गणना करें: यदि वर्षा = 1000 मिमी/वर्ष, वाष्पीकरण = 600 मिमी/वर्ष, अंतःस्यंदन = 200 मिमी/वर्ष, अपवाह = 1000 - (600 + 200) = 200 मिमी/वर्ष।

##### 4.2 पर्यावरणीय भूमिका

- **जलवायु विनियमन** : वाष्पीकरण और संघनन के माध्यम से ऊष्मा का परिवहन।
- **पारिस्थितिकी तंत्र समर्थन** : स्थलीय और जलीय प्रणालियों को पानी पहुंचाता है।
- **पोषक परिवहन** : तलछट और पोषक तत्वों को ले जाता है (उदाहरण के लिए, गंगा की गाढ़ बाढ़ के मैदानों को समृद्ध करती है)।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - मानसून से होने वाली वर्षा (1,170 मिमी/वर्ष) भारत के जल विज्ञान चक्र को आकार देती है।
  - पश्चिमी घाट में वनों की कटाई से वाष्पोत्सर्जन कम हो जाता है, जिससे वर्षा प्रभावित होती है।

##### 4.3 मानवीय प्रभाव

- **वनों की कटाई** : वाष्पोत्सर्जन को कम करती है, वर्षा को बदलती है (उदाहरण के लिए, अमेज़न वनों की कटाई वैश्विक चक्र को प्रभावित करती है)।
- **शहरीकरण** : अपवाह को बढ़ाता है, जिससे बाढ़ आती है (उदाहरण के लिए, चेन्नई बाढ़, 2015)।
- **बाँध** : नदी के प्रवाह को बदलते हैं (जैसे, नर्मदा बाँध नीचे की ओर पानी को कम करते हैं)।
- **भारतीय संदर्भ** :
  - पंजाब में अत्यधिक सिंचाई से जल-प्रवाह बाधित होता है, जिससे जल-जमाव होता है।
  - नमामि गंगे कार्यक्रम जल रिसाव को बढ़ाने के लिए वर्षा जल संचयन को बढ़ावा देता है।

### तालिका 4: जल विज्ञान चक्र प्रक्रियाएँ

प्रक्रिया	विवरण	उदाहरण	प्रभाव
वाष्पीकरण	द्रव से वाष्प	महासागर वाष्पीकरण	बादल निर्माण
स्वेद	पौधों से पानी निकालना	वन वाष्पोत्सर्जन	वर्षा का योगदान
वर्षण	वर्षा, हिमपात	मानसून की बारिश	जलापूर्ति
घुसपैठ	मृदा अवशोषण	जलभृत पुनर्भरण	भूजल आपूर्ति
अपवाह	सतही प्रवाह	गंगा अपवाह	बाढ़, कटाव