

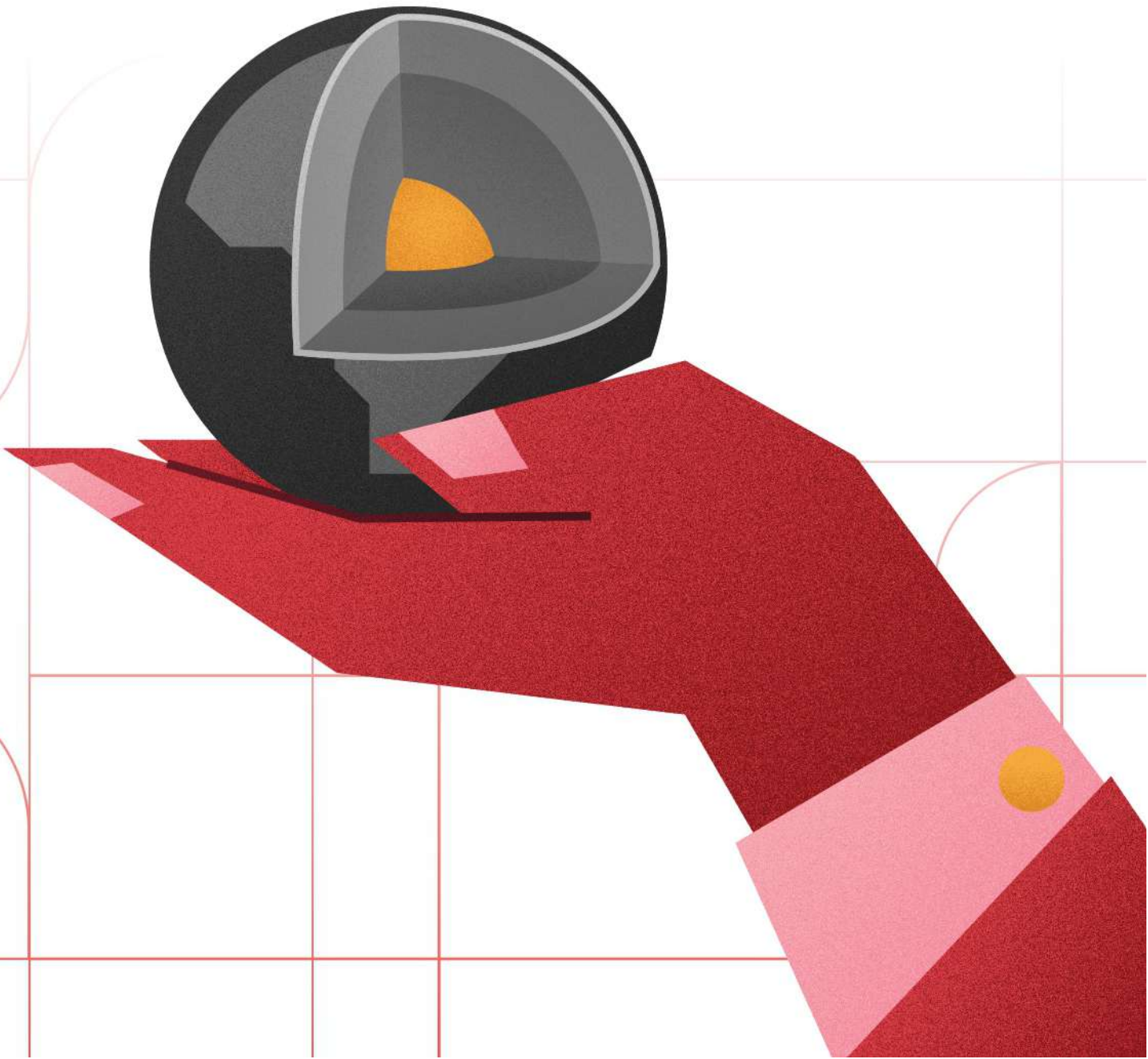


भौतिक भूगोल

MPSC Mains

सामान्य अध्ययन - I

Class Notes





© PRAYAAS EDUCATION
All rights reserved.

Published by

PRAYAAS Education

CTS No, 1262/B, Plot No.594B,
Office 301A, 301, Second Floor,
Starling Plaza, J.M. Road, Pune

+91 7378743031 / +91 7767073031

MPSC MAINS

Physical Geography

GENERAL STUDIES - I

(Class Notes)

Year 2025-26

Features of Physical Geography Notes (Part-I)

1. Syllabus-Centric & Concept-First Structure

- Entire content aligned with **GS Paper-I (Physical Geography)** syllabus
- Logical progression from **Earth's Interior** → **Geomorphology** → **Volcanism** → **Earthquakes** → **Weathering & Erosion**
- Ideal foundation notes for beginners as well as revision material for advanced aspirants

2. Strong Conceptual Clarity with Definitions & Terminology

- Clear, exam-ready definitions of core concepts such as **Moho discontinuity, Asthenosphere, Geosyncline, Plate Boundaries, Palaeomagnetism, Shoaling effect**, etc.
- Technical terms explained in simple language without diluting scientific accuracy
- Helps in writing precise introductions and value-added explanations in answers

3. Diagram-Oriented Explanations

- Frequent use of **label-friendly diagrams** for seismic waves, Earth's interior, plate boundaries, volcano structure, rock cycle, geomagnetic field, etc.
- Diagrams directly usable in **Mains answer writing**

4. Point-Wise Topic Breakdown for Fast Recall

- All topics presented in **crisp bullet points** instead of bulky paragraphs
- Suitable for **last-minute revision, quick scanning, and answer structuring**
- Makes complex theories like **Continental Drift, Plate Tectonics, Geosyncline theory** easy to grasp

5. Static Core + Dynamic Linkages

- Strong coverage of **static geography**, which frequently overlaps with current affairs (earthquakes, volcanoes, tsunamis, hotspots, disasters)
- Helps in answering **disaster-related questions** in GS-I and GS-III
- Acts as a base for linking geography with environment, disaster management, and current events

6. Revision-Friendly & Exam-Ready Notes

- Structured in a way that **entire Part-I Physical Geography can be revised in limited hours**
- Easy to annotate and update with current examples

अनुक्रमणिका

A. भूआकृततशास्त्र

| | |
|--|----|
| 1. पृथ्वीच्या अंतरंगाची रचना आणि संघटन | 1 |
| 2. खंड वहन, भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया आणि भूचुंबकत्व | 5 |
| 3. खडक: प्रकार, निर्मिती आणि खडक चक्र | 13 |
| 4. ज्वालामुखी आणि भूकंप | 18 |
| 5. भूअभिनती आणि पर्वत निर्मितीचे सिद्धांत | 26 |
| 6. विदारण आणि अपक्षरण | 28 |

B. समुद्रशास्त्र

| | |
|--|----|
| 1. महासागरीय तळरचना आणि पाण्याखालील भूरूपे | 36 |
| 2. तापमान, क्षारता आणि घनता | 40 |
| 3. भरती-ओहोटी आणि महासागर प्रवाह | 44 |
| 4. प्रवाळ खडक: प्रकार, निर्मिती आणि वितरण | 50 |

C. हवामानशास्त्र

| | |
|--|----|
| 1. वातावरण - रचना आणि संरचना | 53 |
| 2. सौर विकिरण, सूर्याचे तापमान आणि उष्णता अंदाजपत्रक | 55 |
| 3. जागतिक तापमान वितरण आणि बदल | 60 |
| 4. वातावरणीय दाब आणि दाब पट्टे | 64 |
| 5. जेट प्रवाह आणि मान्सून अभिसरण | 71 |
| 6. हवा राशी आणि वाताग्र निर्मिती | 76 |
| 7. चक्रीवादळे आणि प्रति-चक्रीवादळे | 80 |
| 8. ढग आणि पर्जन्यमानाचे स्वरूप | 86 |
| 9. प्रमुख हवामान प्रदेश | 92 |

प्रस्तावना (Introduction)

- पृथ्वीचे अंतरंग रचना, घनता आणि भौतिक गुणधर्मांमध्ये भिन्न असलेल्या **विशिष्ट स्तरांनी** (distinct layers) बनलेले आहे.
- या स्तरांविषयीचे आपले ज्ञान **कृत्रिम निरीक्षणे (artificial observations)**, पृथ्वीच्या उत्पत्तीचे सिद्धांत (theories of Earth's origin) आणि ज्वालामुखी क्रिया (volcanic activity) व **भूकंपशास्त्र (seismology)** यांसारख्या नैसर्गिक पुराव्यांवरून प्राप्त होते.
- पृथ्वी हा कोणताही **एकसंध (monolith)** भाग नाही; ती विविध स्तरांनी बनलेली आहे. अंतरंगाबद्दल ज्ञान देणाऱ्या स्रोतांचे तीन गटांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:
 - कृत्रिम स्रोत (Artificial sources)
 - पृथ्वीच्या उत्पत्तीच्या सिद्धांतांवरून मिळणारे पुरावे (Evidences from the theories of the origin of the earth)
 - ज्वालामुखी उद्रेक (volcanic eruption), भूकंप (earthquakes) आणि भूकंपशास्त्र (seismology) यांसारखे नैसर्गिक स्रोत (Natural sources)

१. कृत्रिम स्रोत (Artificial Sources)

- खडकांची घनता (density of rocks), वरच्या भाराचा दाब (pressure of superincumbent load)** आणि पृथ्वीच्या आत जसजशी खोली वाढत जाते तसतसे **तापमान वाढण्याचा कल (increasing trend of temperature)** यांवरून पृथ्वीच्या अंतरंगाच्या संरचनेबद्दल अनेक अनुमान काढता येतात.
- परंतु या स्रोतांना काही **मर्यादा (limitations)** आहेत, जसे की:
 - प्रत्येक खडकामध्ये एक अशी **अटूट मर्यादा (crucial limit)** असते, ज्यापलीकडे दाब वाढवूनही खडकाची घनता वाढू शकत नाही. यावरून हे सिद्ध होते की पृथ्वीच्या गाभ्याची (core) **अतिउच्च घनता** ही केवळ तेथे असलेल्या **अतिउच्च दाबामुळे** (very high-pressure) नाही. गाभा हा **लोह (iron) आणि निकेल (nickel)** यांच्या मिश्रणासारख्या **उच्च घनतेच्या जड धातूंच्या पदार्थांनी** (heavy metallic materials) बनलेला असला पाहिजे.
 - पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून खालील बाजूस प्रत्येक **१०० मीटरला २०C ते ३०C** या दराने तापमान वाढते. असे दिसते की खालील बाजूस तापमान वाढण्याचा दर खोली वाढल्यावर **कमी होतो**. याचे कारण असे आहे की बहुतेक

रेडिओधर्मी खनिजे (radioactive minerals) पृथ्वीच्या **सर्वात वरच्या थरात (uppermost layer)** केंद्रित आहेत.

२. पृथ्वीच्या उत्पत्तीच्या सिद्धांतांवरून मिळालेले पुरावे (Evidence from the theories of the origin of the Earth)

- ग्रहाणु परिकल्पना (planetesimal hypothesis), भरती-ओहोटी परिकल्पना (tidal hypothesis), तेजमेघ परिकल्पना (nebular hypothesis)** यांसारखे विविध सिद्धांत पृथ्वीच्या उत्पत्तीचे तसेच तिच्या अंतरंगाचे स्पष्टीकरण देण्याचा प्रयत्न करतात.
- परंतु ते केवळ दोनच शक्यता स्पष्ट करतात, म्हणजे गाभा **घनरूप (solid)** किंवा **द्रवरूप (liquid)** असू शकतो. यामुळे पृथ्वीच्या अंतरंगाचे **सविस्तर चित्र (detail picture)** स्पष्ट होत नाही.

३. नैसर्गिक स्रोत (Natural Sources)

- वर नमूद केलेल्या दोन्ही स्रोतांना आलेल्या अडचणींचा योग्य प्रकारे नैसर्गिक स्रोतांद्वारे विचार केला जातो. त्यांचे पुढे **प्रत्यक्ष स्रोत (direct sources)** आणि **अप्रत्यक्ष स्रोत (indirect sources)** असे विभाजन केले जाते.

(अ) प्रत्यक्ष स्रोत (Direct Sources)

- खोल सागरी वेधन प्रकल्प (Deep ocean drilling project) - आर्क्टिक महासागरा जवळील कोला द्वीपकल्प (Cola Peninsula near Arctic Ocean):**
 - हा प्रकल्प थेट पृथ्वीच्या आत **छिद्र (hole)** खोदून पृथ्वीच्या अंतरंगात पाहण्याचा प्रयत्न करतो. परंतु सध्या आपण पृथ्वीच्या आत केवळ **२७ किलोमीटर** पर्यंतच पोहोचू शकलो आहोत.
- ज्वालामुखी क्रिया (Volcanicity):**
 - ज्वालामुखीचा उद्रेक पृथ्वीच्या अंतरंगात असलेल्या **रासायनिक पदार्थांविषयी (chemicals)** कल्पना देतो. तसेच तो दर्शवितो की पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखालील थर **द्रव अवस्थेत (liquid state)** आहे.

(ब) अप्रत्यक्ष स्रोत (Indirect Sources)

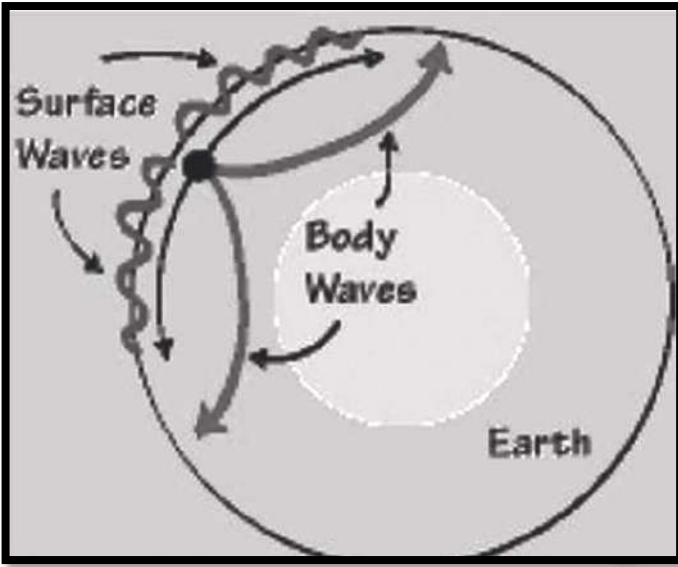
- उल्का (Meteorites)**
- चुंबकीय सर्वेक्षण (Magnetic survey)**
- गुरुत्वाकर्षण शक्तीचा अभ्यास (Gravitational force study)**
- भूकंपशास्त्राचे पुरावे (Evidences of seismology):**

- सर्व स्रोतांपैकी, पृथ्वीच्या अंतरंगाचे **सर्वात अचूक चित्र (most correct picture)** भूकंपशास्त्राच्या पुराव्यांद्वारे (seismology) प्राप्त होते.

- त्यांचा वेग काय लहरींपेक्षा **खूप कमी** असतो.
- त्या **सर्वात हिंसक (most violent) आणि विनाशकारी (destructive)** लहरी असतात.

भूकंपशास्त्राचे पुरावे (Evidences of Seismology)

- **भूकंपशास्त्र** हे भूकंपाच्या वेळी निर्माण होणाऱ्या **भूकंपीय लहरींच्या (seismic waves)** विविध पैलूंचा अभ्यास करणारे विज्ञान आहे. या लहरी **भूकंपमापकावर (seismograph)** नोंदवल्या जातात.



भूकंपीय लहरी (Seismic Waves)

- भूकंपाच्या वेळी निर्माण होणाऱ्या वेगवेगळ्या प्रकारच्या कंपनांना आणि लहरींना **भूकंपीय लहरी** म्हणतात. त्यांचे मुख्यतः दोन विस्तृत श्रेणींमध्ये वर्गीकरण केले जाते:

1. काय लहरी (Body waves):

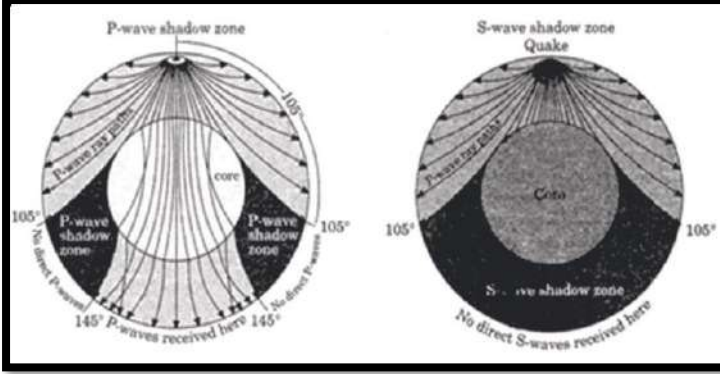
- या नेहमी पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखालील भागातून प्रवास करतात आणि त्यांचे पुढे **पी-लहरी (P waves - प्राथमिक लहरी)** आणि **एस-लहरी (S waves - द्वितीयक लहरी)** असे विभाजन केले जाते.

2. भूपृष्ठ लहरी (Surface waves):

- या पृथ्वीच्या **पृष्ठभागावरून (along the surface)** प्रवास करतात आणि त्या भूकंपमापकावर प्रामुख्याने नोंदवल्या जातात.
- त्यांना **दीर्घ कालावधीच्या लहरी (Long Period waves)** किंवा **एल-लहरी (L-waves)** असेही म्हणतात.
- या भूकंपीय लहरींपैकी सर्वात **लांब अंतर** पार करतात.

| P लहरी | S लहरी |
|--|--|
| पृथ्वीच्या अंतर्भागात प्रवास करतात. | पृथ्वीच्या अंतर्भागात प्रवास करतात. |
| त्या अनुतरंग (Longitudinal) किंवा संपीडन प्रकारच्या (Compressional type) असतात. | त्या अवतरंग (Transverse) किंवा विकृत स्वरूपाच्या (Distortional type) असतात. |
| ध्वनी लहरींसारख्या (Sound waves) असतात. | पाण्याच्या लहरी (Water ripples) किंवा प्रकाश लहरींसारख्या (Light waves) असतात. |
| दुय्यम (Secondary) लहरींपेक्षा अधिक वेगवान (Faster) असतात. | प्राथमिक (Primary) लहरींपेक्षा मंद (Slower) पण भूपृष्ठ (Surface) लहरींपेक्षा वेगवान असतात. |
| स्थायु (Solid) तसेच द्रव (Liquid) या दोन्ही माध्यमांतून प्रवास करू शकतात, परंतु द्रवातून प्रवास करताना त्यांचा वेग कमी होतो. | द्रव (Liquid) माध्यमातून प्रवास करू शकत नाहीत. |

- पृथ्वीच्या अंतरंगाचा अभ्यास **भूकंप लहरींच्या (Seismic Waves) वेगाच्या** आणि त्यांच्या **प्रवासाच्या मार्गाच्या** आधाराने केला जातो. कोणत्याही माध्यमातून प्रवास करताना, या लहरींचे **परावर्तन (Reflection)** आणि **अपवर्तन (Refraction)** होते. सर्वसाधारणपणे, **भूकंप नाभीकेंद्रापासून (Epicentre)** (म्हणजेच, ज्या ठिकाणी भूकंपीय घटना सर्वप्रथम जाणवते) **१२० अंशाच्या कोनीय अंतरावर (Angular distance)** गेल्यावर **S-लहरी (Shear/Secondary Waves) लुप्त (disappear)** होतात आणि त्याच ठिकाणी **P-लहरी (Primary Waves) दुर्बळ (weakened)** होतात. तसेच, असे निरीक्षण आहे की पृथ्वीच्या **गाभ्यात (Core) S-लहरी पूर्णपणे अनुपस्थित** असतात आणि **P-लहरी** गाभ्यातून प्रवास करताना आपला **मार्ग बदलतात**. **भूकंप नाभीकेंद्रापासून १२० अंशाच्या कोनीय अंतरापलीकडे S-लहरी संपूर्णपणे गैरहजर** असतात, तर **P-लहरी** दोन्ही बाजूंना **१०३° ते १४२°** या कोनीय अंतरामध्ये **अनुपस्थित** असतात. भूकंप लहरींची ही अनुपस्थिती '**भूकंप लहरींचा छाया प्रदेश (Shadow Zone of Seismic Waves)**' म्हणून ओळखली जाते.
- या भूकंप लहरींच्या अभ्यासावर आधारित, पृथ्वीचे सखोल अंतरंग खालीलप्रमाणे दर्शविले जाते:

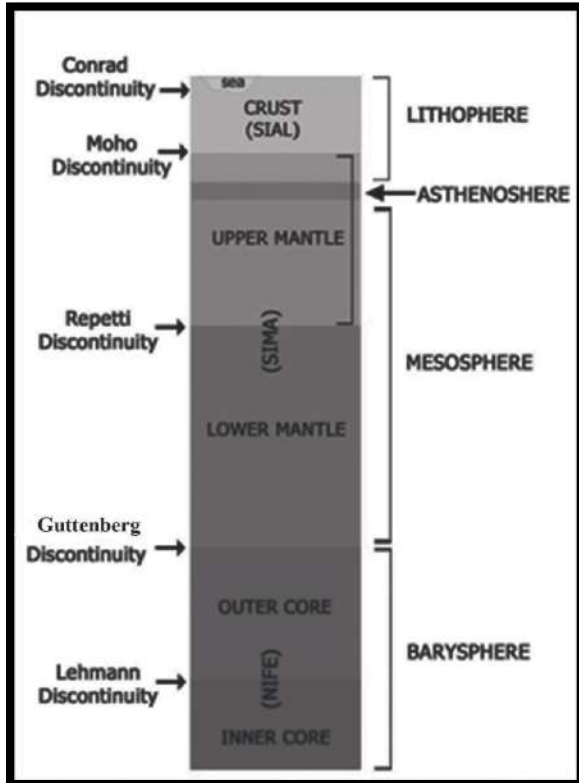


१. कवच (Crust / शिलावरण - Lithosphere) -

या थराची जाडी सुमारे **३० किलोमीटर** असून तो मुख्यत्वे **ग्रॅनाईट** खडकापासून बनलेला आहे. यात **सिलिका (Silica)** आणि **अॅल्युमिनियम (Aluminium)** हे घटक प्रमुख आहेत. या थराची सरासरी घनता (Average Density) 3 gm/cm^3 आहे. कवचाची विभागणी **बाह्य कवच (Outer Crust)** आणि **अंतर्गत कवच (Lower Crust)** अशी करण्यात आली असून, या दोन स्तरांना **कोनराड विलगता (Conrad Discontinuity)** वेगळी करते.

२. प्रावरण (Mantle / मध्यमंडल - Mesosphere/Pyrosphere) -

याची जाडी सुमारे **२८०० किमी** आहे. **बेसाल्ट** हा खडक येथे प्रामुख्याने आढळतो. याची सरासरी घनता 5.5 gm/cm^3 आहे. प्रावरणाची विभागणी **वरचे प्रावरण (Upper Mantle)**



आणि **खालचे प्रावरण (Lower Mantle)** अशी करण्यात आली आहे, जे **रेपेटी विलगतेने (Repetti Discontinuity)** वेगळे झालेले आहेत. कवच आणि प्रावरण यांना वेगळी करणारी सीमा **मोहोरोव्हिसिक / मोहो विलगता (Mohorovicic/Moho's Discontinuity)** म्हणून ओळखली जाते. प्रावरण **स्थायू (Solid) अवस्थेत** आहे.

३. गाभा (Core / भारीमंडल - Barysphere)

हा थर **लोह (Iron)** आणि **निकेल (Nickel)** या घटकांनी बनलेला आहे. याची सरासरी घनता $8 \text{ ते } 11 \text{ gm/cm}^3$ च्या दरम्यान आहे. गाभ्याचा विस्तार **२८०० किमीपासून** ते गाभ्याच्या केंद्रापर्यंत, म्हणजेच **६३७१ किमीपर्यंत** आहे. **बाह्य गाभा (Outer Core)** हा **द्रव (Liquid) अवस्थेत** आहे, तर **अंतर्गत गाभा (Inner Core)** हा **स्थायू (Solid) अवस्थेत** आहे. या दोन भागांना **लेहमन / संक्रमण विलगता (Lehmann/Transitional Discontinuity)** वेगळी करते. **बाह्य गाभा आणि खालचे प्रावरण यांना वीचर्ट-गुटेनबर्ग विलगता (Weichert-Guttenberg Discontinuity)** वेगळे करते.

४. दुर्बलावरण (Asthenosphere)

हे प्रावरणाचा **तन्य (Ductile) वरचा भाग** आहे. हा थर **शिलावरणाच्या (Lithosphere) अगदी खाली** असून **अर्ध-स्थायू (Semi Solid) अवस्थेत** आहे. याची खोली **४०० किमीपर्यंत** असू शकते. **भूपट्टांची हालचाल (Plate movements)** साधारणपणे याच थरावर होते असे मानले जाते, ज्यामुळे **भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (Plate Tectonics)** अस्तित्वात येते.

पृथ्वीचे रासायनिक अंतरंग (Chemical Interior of the Earth)

एडवर्ड सुएस (Edward Suess) यांनी पृथ्वीच्या रासायनिक अंतरंगावर प्रकाश टाकला आणि त्यांनी अंतरंगाची रासायनिक विभागणी खालीलप्रमाणे केली:

१. कवच (Crust)

हा थर बहुतांशी कमी घनतेच्या **गाळाच्या खडकांच्या (Sedimentary rocks)** पातळ थराने आच्छादलेला आहे. येथे **फेल्सपार (Felspar)** आणि **अभ्रक (Mica)** ही खनिजे प्रमुख आहेत.

२. सियाल (SIAL)

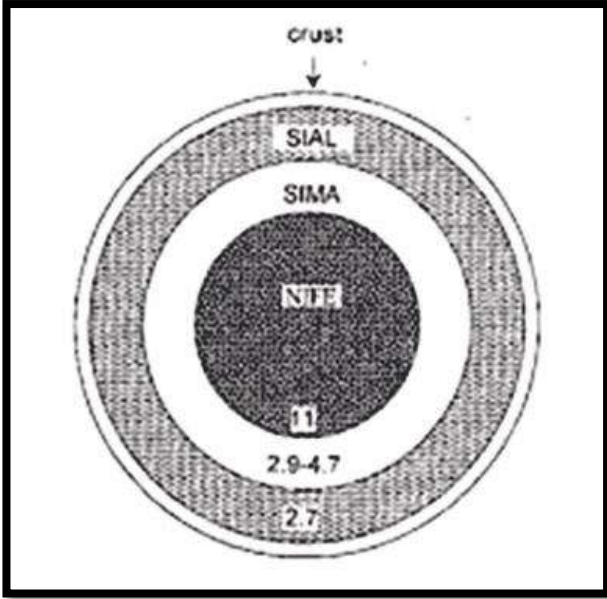
या थरामध्ये **सिलिका (Silica - SI)** आणि **अॅल्युमिनियम (Aluminium - AL)** या घटकांचे **आधिक्य (dominance)** आहे. $(SI + AL = SIAL)$. याचा मुख्य घटक **ग्रॅनाईट** आहे आणि याची सरासरी घनता 2.9 gm/cm^3 आहे. याची जाडी **५० ते ३०० किमी** दरम्यान असते. हा थर साधारणपणे **आम्लधर्मी (Acidic) स्वरूपाचा** असतो. **खंडे (Continents)** याच थराने बनलेली आहेत असे मानले जाते.

३. सिमा (SIMA)

थरामध्ये **सिलिका (Silica - SI)** आणि **मॅग्नेशियम (Magnesium - MA)** या घटकांचे आधिक्य आहे. (SI + MA = SIMA). याचा मुख्य घटक **बेसाल्ट** आहे आणि याची सरासरी घनता 3.3 ते 5.4 gm/cm³ च्या दरम्यान असते. याची जाडी **१००० किमी ते २००० किमी** दरम्यान असते. हा थर साधारणपणे **क्षारधर्मी (Basic) स्वरूपाचा** असतो. **महासागरांचे तळ (Ocean floors)** याच थराने बनलेले आहेत असे मानले जाते.

४. निफे (NIFE)

या थरामध्ये **निकेल (Nickel - NI)** आणि **लोह (Iron - FE)** या घटकांचे आधिक्य आहे. (NI + FE = NIFE). हा थर **जड धातूंनी (Heavy metals)** बनलेला असल्याने याची **घनता (Density)** खूप जास्त आहे. या विभागाचा व्यास **६८८० किमी** आहे. या थरामुळेच पृथ्वीला **चुंबकीय गुणधर्म (Magnetic properties)** प्राप्त झाले आहेत, ज्यातून **भूचुंबकत्व (Geomagnetism)** अस्तित्वात आले आहे.



प्रस्तावना (Introduction)

पृथ्वीच्या कवचाचे (Crust) गतिशील स्वरूप (Dynamic Nature) खंड वहन (Continental Drift), भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (Plate Tectonics) आणि भूचुंबकत्व (Geomagnetism) यांसारख्या सिद्धांतांद्वारे स्पष्ट केले जाते. एकत्रितपणे, हे सिद्धांत खंडांची हालचाल (Movement of Continents), शिलावरण भूपट्टांमधील (Lithospheric Plates) आंतरक्रिया आणि भूवैज्ञानिक प्रक्रियांना (Geological Processes) आकार देण्यामध्ये पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्राची (Earth's Magnetic Field) असलेली भूमिका स्पष्ट करतात. पर्वतांची निर्मिती, ज्वालामुखी, भूकंप आणि महासागरांचा विकास (Oceanic evolution) समजून घेण्यासाठी ही संकल्पना मूलभूत आधार ठरतात.

खंड वहन सिद्धांताची पार्श्वभूमी (Continental Drift Theory Background)

भूवैज्ञानिक काळात पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून खंडांची होणारी क्रमिक हालचाल म्हणजेच खंड वहन होय. एफ. बी. टेलर (FB Taylor) यांनी १९०८ मध्ये खंडांच्या क्षैतिज विस्थापनाची (Horizontal displacement) संकल्पना प्रथम मांडली. तथापि, त्यात काही त्रुटी होत्या. याच सिद्धांतामध्ये सुधारणा (Improvisation) करून अल्फ्रेड वेगेनर (Alfred Wegener - जर्मनी) यांनी १९१२ मध्ये हा सिद्धांत अधिक प्रभावीपणे सादर केला.

उद्दिष्ट (Aim)

या सिद्धांताचा उद्देश भूतकाळात पृथ्वीच्या इतिहासात झालेले जागतिक हवामान बदल (Global Climatic Changes) स्पष्ट करणे हा होता. जर भूवैज्ञानिक इतिहासात खंडे त्यांच्या जागी स्थिर राहिली असती, तर हवामान विभाग (Climatic zones) एका प्रदेशातून दुसऱ्या प्रदेशात सरकले असते आणि त्यामुळे एका विशिष्ट प्रदेशात वेळोवेळी बदलत्या हवामान परिस्थितीचा अनुभव आला असता. परंतु, हवामान विभाग स्थिर राहिले आहेत, याचा अर्थ भूखंडे विस्थापित झाली आणि त्यांचे वहन झाले असावे.

गृहितके (Assumptions)

1. टेलरने असे नमूद केले की खंडांची हालचाल क्रेटेशियस (Cretaceous) काळात सुरू झाली, तर वेगेनरने ही हालचाल कार्बोनिफेरस (Carboniferous) काळात खूप पूर्वी सुरू झाली असे नमूद केले.
2. सिमा (SIMA) द्वारा कोणताही विरोध (resistance) न दर्शविता सियाल (SIAL) त्याच्यावर सहजपणे तरंगते (floating).

3. खंडे सियालच्या वरच्या भागापासून बनलेली आहेत, तर महासागरांचे तळ सिमाच्या वरच्या भागापासून बनलेले आहेत.
4. कार्बोनिफेरस कालखंडात सर्व भूभाग एकाच भूखंडाच्या रूपात दक्षिण ध्रुवाजवळील एका ठिकाणी एकवटलेले (concentrated) होते. या प्रचंड भूभागाला त्यांनी पॅजिया (Pangaea) असे नाव दिले.
5. तो भूभाग एका विशाल जलभागाने वेढलेला होता, ज्याला पॅथालासा (Panthalassa) असे नाव देण्यात आले.
6. दक्षिण ध्रुव सध्याच्या डर्बन (Durban) शहराजवळ स्थित होता.

खंड वहनामागची बळे (Forces Behind Continental Drift)

1. विषुववृत्ताकडे (Equator-ward) हालचालीमागील बळ:
 - गुरुत्वीय विभेदक बळ (Gravitational Differential Force)
 - प्लवनशीलता बळ (Force of Buoyancy)
2. पश्चिमेकडे (Westward) हालचालीमागील बळ:
 - सूर्य आणि चंद्राचे भरती-ओहोटीचे बळ (Tidal Force of the Sun and the Moon)

सिद्धांताच्या प्रक्रिया (Processes of the Theory)

१. ध्रुवांपासून दूर वहन (Flight from the Poles):

विभेदक गुरुत्वीय बळ आणि प्लवनशीलता बळ यामुळे पॅजिया दोन भागांमध्ये विभाजित झाला. उत्तरेकडील भाग लॉरेन्शिया / अंगारा भूमी (Laurasia/Angaraland) बनला (यात सध्याचे उत्तर अमेरिका, युरोप आणि आशिया यांचा समावेश होता), तर दक्षिणेकडील भागाला गॉडवन भूमी (Gondwanaland) म्हटले गेले (यात सध्याचे दक्षिण अमेरिका, आफ्रिका, मादगास्कर, द्वीपकल्पीय भारत, ऑस्ट्रेलिया आणि अंटार्क्टिका यांचा समावेश होता). या दोन खंडांच्या ब्लॉकमधील रिकामी जागा पाण्याने भरली गेली आणि परिणामी जलभागाला टेथिस समुद्र (Tethys Sea) असे नाव देण्यात आले. त्यामुळे, या टप्प्याला 'टेथीसचे उघडणे' (Opening of Tethys) म्हणूनही ओळखले जाते.

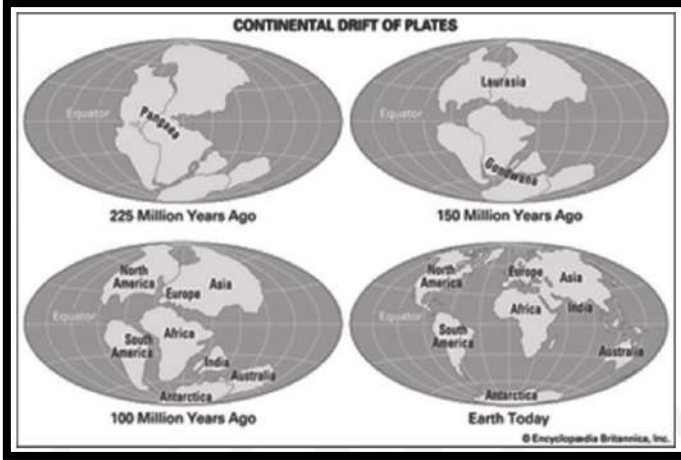
२. अटलांटिक महासागराची निर्मिती (Opening of Atlantic):

सूर्य आणि चंद्राच्या भरती-ओहोटीच्या बळामुळे, गॉडवन भूमी आणि अंगारा भूमी हे खंड विखंडित झाले आणि त्यांच्यातील पोकळी पाण्याने भरली गेली, ज्यातून अटलांटिक महासागर (Atlantic Ocean) तयार झाला.

३. हिंदी महासागराची निर्मिती (Opening of Indian Ocean):

भारतीय द्वीपकल्प गोंडवाना भूमीपासून तुटून उत्तरेकडे सरकू लागला. या प्रक्रियेमुळे टेथीस समुद्राला वळ्या (Buckled up) पडून तो पूर्णपणे बंद झाला आणि यातून हिमालयाचा जन्म झाला. त्याच वेळी भारतीय द्वीपकल्पाच्या दक्षिणेला तयार झालेल्या जलभागाला हिंदी महासागर (Indian Ocean) म्हणून ओळखले जाते. म्हणून, या प्रक्रियेला 'टेथीसचे बंद होणे' (Closing of Tethys) असेही म्हणतात.

४. पॅथालासाचा उर्वरित भाग पॅसिफिक महासागर (Pacific Ocean) बनला.



अनुक्रमे आल्प्स (Alps) आणि हिमालय (Himalayas) पर्वतांची निर्मिती झाली.

२. द्वीप कमांनीची उत्पत्ती (Origin of Island Arches)

खंडांच्या पश्चिमेकडील हालचालीदरम्यान, या खंडांच्या पूर्वेकडील कडा मुख्य भूभागाच्या वेगाशी ताल जुळवू शकल्या नाहीत. त्यामुळे त्या कडा मागे राहिल्या आणि मुख्य खंडापासून तुटून द्वीप कमांनीचा (Island Arcs) जन्म झाला. उदाहरणे: जपान, फिलिपिन्स, इंडोनेशिया, वेस्ट इंडिज इत्यादी.

३. जीवाश्म पुरावे (Paleontological Fossils)

अटलांटिक महासागराच्या दोन्ही किनाऱ्यांवर (Atlantic Ocean) आढळणाऱ्या भूवैज्ञानिक आणि जीवाश्मीय (Fossils) पुराव्यांमध्ये समानता आढळते.

४. 'जिग-सॉ फिट' (Jig-Saw Fit)

अटलांटिक महासागराचे विरुद्ध किनारे एकमेकांमध्ये अशा प्रकारे जुळवले (fitted) जाऊ शकतात, जसे लाकडाचे कापलेले दोन तुकडे पुन्हा जोडून एकसंध वस्तू बनवता येते.

५. पर्वतांची भूवैज्ञानिक जुळणी (Geological Matching of Mountains)

- अटलांटिकच्या पश्चिम आणि पूर्व किनारपट्टीच्या क्षेत्रातील पर्वत प्रणालींमध्ये (Mountain systems) समानता आणि एकसारखेपणा (identical) आढळतो.

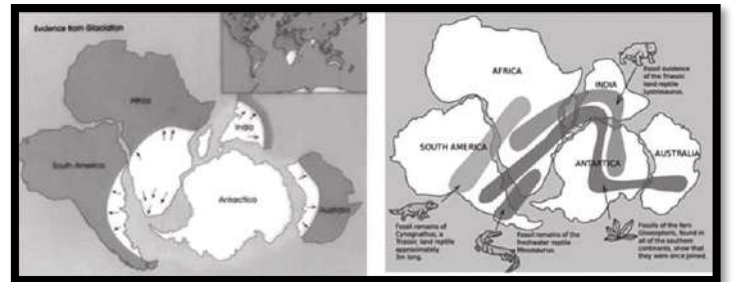


खंड वहन सिद्धांताचे पुरावे (Evidences of Continental Drift Theory)

खंड वहन सिद्धांताला (Continental Drift Theory) खालील प्रमुख पुराव्यांनी पुष्टी मिळते:

१. पर्वतांची निर्मिती (Mountain Building)

खंडांचे विषुववृत्ताकडे आणि पश्चिमेकडे वहन होत असताना, त्यांच्या खालील सिमा थराने, त्यावर मुक्तपणे तरंगणाऱ्या सियाल ला अडथळे निर्माण करण्यास सुरुवात केली. पर्वत पट्टे हे खंडांच्या वहनामुळे कवचावर पडलेल्या सुरकुत्यांचे (Wrinkling) प्रतिनिधित्व करतात. या गृहितकानुसार, हलणाऱ्या खंडांच्या पुढील कडांनी (Leading edges) सर्वात आधी त्यांच्यासमोरील महासागरीय कवचाला (Oceanic Crust) खाली दाबले, ज्यामुळे द्रोणी (trough) तयार झाली. त्यानंतर या द्रोणीत गाळ (sediment) जमा झाला. खंडांच्या पुढील हालचालीमुळे या थरांचे उत्थान (upheaval) झाले आणि पर्वत रांगांची (Mountain Ranges) निर्मिती झाली. उत्तर अमेरिका आणि दक्षिण अमेरिका यांच्या पश्चिमेकडील हालचालीमुळे अनुक्रमे रॉकीज (Rockies) आणि अँडीज (Andes) पर्वतांची निर्मिती झाली, तर आफ्रिका आणि भारतीय द्वीपकल्प यांच्या विषुववृत्ताकडील (equatorward) हालचालीमुळे



६. जीवाश्म आणि वनस्पती अवशेषांमधील समानता (Similarity in Fossils and Vegetation)

- दक्षिण अमेरिकेच्या पूर्व किनाऱ्यावर आणि आफ्रिकेच्या पश्चिम किनाऱ्यावर आढळणाऱ्या जीवाश्म (fossils) आणि वनस्पती अवशेषांमध्ये (vegetation remains) समानता आहे.

७. ग्रीनलँडचे वहन (Drifting of Greenland)

- ग्रीनलँड (Greenland) आजही दरवर्षी २० सेमी च्या दराने पश्चिमेकडे सरकत आहे.

८. लेमिंग्सची प्रवृत्ती (Tendency of Lemmings)

- स्कॅंडिनेव्हियाच्या (Scandinavia) उत्तरेकडील भागातील लेमिंग्स (Lemmings) नावाच्या उंदरासारख्या सस्तन प्राण्यांची लोकसंख्या थोक्यात आल्यास पश्चिमेकडे धाव घेण्याची प्रवृत्ती आहे.

९. मार्सुपियल प्राण्यांचे वितरण (Distribution of Marsupial Fauna)

- दक्षिण आफ्रिका, भारत, ऑस्ट्रेलिया आणि फॉकलंड बेटे येथे मार्सुपियल (Marsupial) प्रकारच्या प्राण्यांचे वितरण झालेले आहे.

१०. ग्लॉसॉप्टेरिस वनस्पतींचे वितरण (Distribution of Glossopteris Flora)

- भारत, दक्षिण आफ्रिका, ऑस्ट्रेलिया, अंटार्क्टिका आणि फॉकलंड बेटे येथे ग्लॉसॉप्टेरिस (Glossopteris) नावाच्या वनस्पतीचे वितरण आढळते.

११. कार्बोनिफेरस हिमयुगाचे पुरावे (Evidences of Carboniferous Glaciation)

- ब्राझील, फॉकलंड, दक्षिण आफ्रिका, द्वीपकल्पीय भारत, ऑस्ट्रेलिया आणि अंटार्क्टिका या प्रदेशांमध्ये कार्बोनिफेरस काळातील हिमयुगाचे (Glaciation) पुरावे आढळतात, जे दर्शवतात की ही भूभागे एकेकाळी एकत्रित होती.

खंड वहन सिद्धांतावरील टीका (Criticism of Continental Drift Theory)

१. कालखंडाची मर्यादा (Limitation of Time Period)

- या सिद्धांतानुसार, खंडांची हालचाल कार्बोनिफेरस कालावधीपासून सुरू झाली. हा सिद्धांत त्या पूर्वीच्या परिस्थितीचे स्पष्टीकरण देत नाही.

२. SIAL आणि SIMA बद्दल विसंगत विचार (Contradictory Views on SIAL & SIMA)

- सियाल (SIAL) आणि सिमा (SIMA) यांच्या संबंधांबद्दल मांडलेली मते काही ठिकाणी विसंगत (contradictory) आहेत.

३. पर्वतांच्या निर्मितीसाठी कमी वहन पुरेसे (Insufficient Drift for Mountain Formation)

- रॉकीज, अँडीज, हिमालय आणि आल्प्स यांच्या निर्मितीसाठी ३२ ते ६४ किमी इतके खंड वहन पुरेसे आहे. वेगेनरने सुचवलेल्या व्यापक हालचालीची गरज नाही.

४. वहनासाठी आवश्यक बळ अपुरे (Insufficient Force for Drifting)

- खंडांच्या हालचालीसाठी वेगेनरने गृहीत धरलेले सूर्य आणि चंद्राचे भरती-ओहोटीचे बळ अतिशय कमी आहे; प्रत्यक्षात ते वेगेनरने गृहीत धरलेल्या बलापेक्षा हजार पटीने अधिक आवश्यक असते.

- जर इतके प्रचंड बळ अस्तित्वात असते, तर पृथ्वीचे परिभ्रमण (rotation) २४ तासांच्या आत थांबले असते.

५. जिग-सॉ फिटची अपूर्णता (Incompleteness of Jig-Saw fit)

- समुद्रतळावरील भू-उठावामुळे (seafloor reliefs), जिग-सॉ फिट पूर्णपणे सत्यापित (validated) होऊ शकत नाही.

उपलब्धी (Achievements)

- हा सिद्धांत खंड वहनाच्या अनेक प्रश्नांना उत्तर देणारा पहिला सिद्धांत होता.
- वेगेनरच्या सिद्धांतातील बहुतेक युक्तिवाद (arguments) अमान्य झाले असले तरी, त्याचा क्षैतिज विस्थापनाचा (horizontal displacement) मध्यवर्ती विचार (central theme) कायम राहिला.
- खंड वहनाची घटना भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांताने (Plate Tectonics Theory) स्वीकारली आहे.

भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांत (Plate Tectonics Theory)

पार्श्वभूमी (Background)

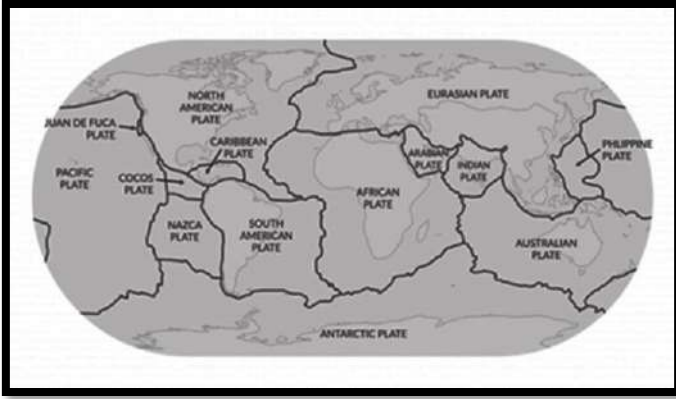
- 'भूपट्ट' (Plate) हा शब्द सर्वप्रथम कॅनेडियन भूगोलशास्त्रज्ञ जे. टी. विल्सन (JT Wilson) यांनी १९६३ मध्ये वापरला.
- मॅकेंझी (McKenzie) आणि पार्कर (Parker) यांनी भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रियेच्या कार्यप्रणालीवर (mechanism of plate tectonics) सविस्तर चर्चा केली.

उद्दिष्ट (Aim)

- भूपट्टांची हालचाल आणि विविध भूपट्ट सीमांवर (plate boundaries) विविध भू-रूपांची (landforms) निर्मिती स्पष्ट करणे, हे या सिद्धांताचे उद्दिष्ट आहे.

गृहितके (Assumptions)

१. जे. टी. विल्सन यांच्या मते, भूपट्ट हे स्थायू (solid) आणि कठोर (rigid) शिलावरण स्तरांचे (lithospheric slabs) बनलेले आहेत.
२. भूपट्ट दुर्बलावरणावर (Asthenosphere) मुक्तपणे फिरत आहेत.
३. भूपट्टांची हालचाल प्रीकॅम्ब्रियन (Precambrian) युगापासून सुरू झाली आहे.
४. हा सिद्धांत दोन प्रमुख वैज्ञानिक संकल्पनांवर आधारित आहे: खंड वहनाची संकल्पना आणि समुद्रतळ प्रसरणाची (Seafloor Spreading) संकल्पना.
५. एकूण सात प्रमुख भूपट्ट (युरेशियन, इंडो-ऑस्ट्रेलियन, उत्तर अमेरिकन, पॅसिफिक, आफ्रिकन, अंटार्क्टिक आणि दक्षिण अमेरिकन) आणि २० गौण भूपट्ट (उदा. फिलिपिन्स, कोकोस, नाझका, इत्यादी) आहेत.

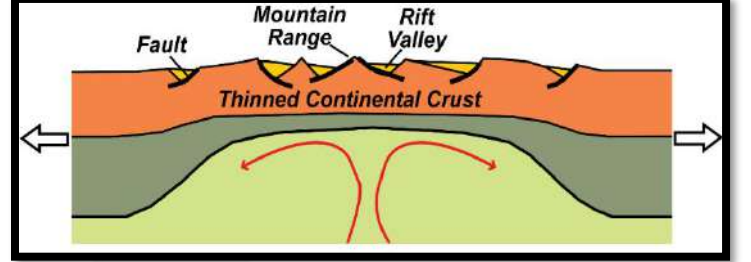


भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया: प्रक्रिया (Processes)

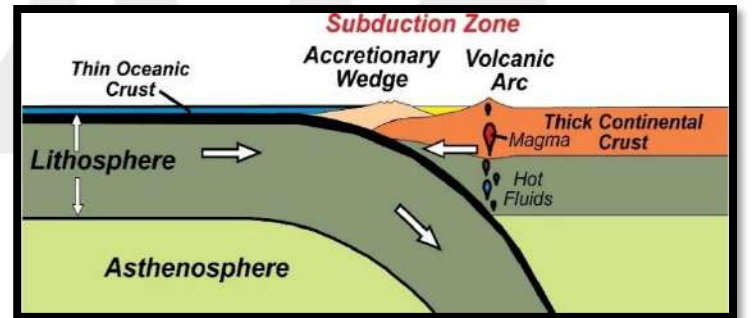
(A) विविध भूपट्ट सीमा (Various Plate Boundaries) भूपट्ट सीमा (Plate Boundaries) किंवा भूपट्ट कडा (Plate Margins) अत्यंत महत्त्वाच्या असतात, कारण सर्व विवर्तनिकीय क्रिया (Tectonic activities) याच सीमांवर घडतात.

१. अपसारी भूपट्ट सीमा (Divergent Plate Margins) या सीमेवर, कडेचे भूपट्ट एकमेकांपासून दूर सरकतात (move away from each other). भूभागातून वितळलेल्या द्रव्याचे (molten material) सातत्याने ऊर्ध्वगमन (continuous upwelling) होते. हे वितळलेले द्रव्य थंड होऊन घन झाल्यावर नवीन भूपट्टाच्या द्रव्याला (plate material) जन्म देते. म्हणूनच, या भूपट्ट सीमेला

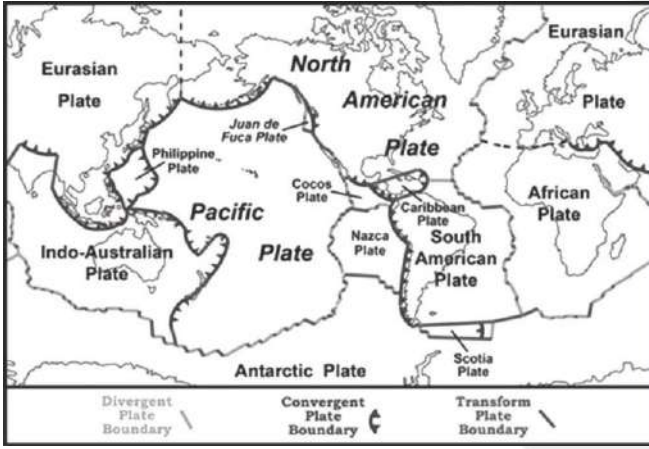
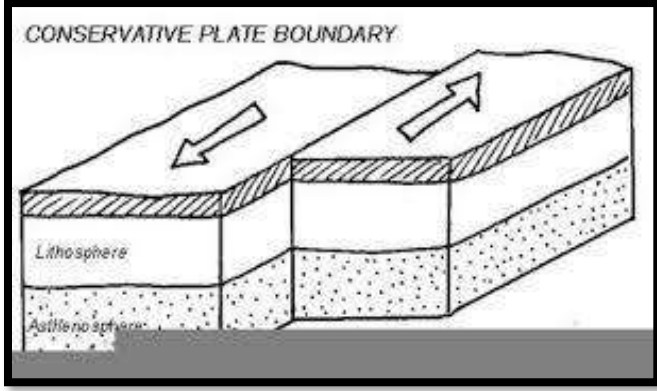
रचनात्मक सीमा (Constructive Plate Margin) किंवा वाढणारी सीमा (Accreting Plate Margin) असेही म्हणतात. साधारणपणे, बहुतेक महासागरीय भूपट्ट सीमा या अपसारी (divergent) स्वरूपाच्या असतात. उदाहरण: मध्य अटलांटिक रांग (Mid Atlantic Ridge).



२. अभिसारी भूपट्ट सीमा (Convergent Plate Margins) या सीमेवर, कडेचे भूपट्ट एकमेकांमध्ये मिसळतात (converge into one another) आणि जास्त घनतेचे भूपट्ट (denser plates) कमी घनतेच्या भूपट्टांखाली (lighter plates) क्षेपित होतात. महासागरीय भूपट्ट हे जड असल्यामुळे ते साधारणपणे कमी घनतेच्या खंडी भूपट्टांखाली क्षेपित होतात. क्षेपित होणारे भूपट्ट अधिक खोलीवर (उदा. बेनिऑफ झोन - Benioff Zone - १०० किमी खोलीवर) वितळतात आणि परिणामी नष्ट होतात. म्हणूनच, या भूपट्ट सीमांना विनाशकारी सीमा (Destructive Plate Margins) किंवा ग्राहक सीमा (Consuming Plate Margins) असेही म्हणतात. उदाहरण: दक्षिण अमेरिकन भूपट्टाखाली नाझका भूपट्टाचे क्षेपण (subducting) होणे.



३. रूपांतरित भूपट्ट सीमा (Conservative Plate Margins) या सीमेवर, दोन भूपट्ट रूपांतरित विभंगारेषेच्या (Transform Faults) बाजूने एकमेकांना घासून बाजूला सरकतात (slide past one another). त्यामुळे, या ठिकाणी कवचाची निर्मितीही होत नाही आणि नाशही होत नाही. याला कर्तन भूपट्ट सीमा (Shear Plate Margin) किंवा रूपांतरित भूपट्ट सीमा (Transform Plate Boundary) असेही म्हणतात.



(i) महासागर - महासागर अभिसरण (Ocean-Ocean Convergence)

- या परिस्थितीत, सापेक्षतः जास्त घनतेचा भूपट्ट कमी घनतेच्या भूपट्टाखाली क्षेपित (subducts) होतो.
- उदा. फिलिपिन्स भूपट्टाखाली पॅसिफिक भूपट्टाचे क्षेपण.

तयार होणारी भूरूपे:

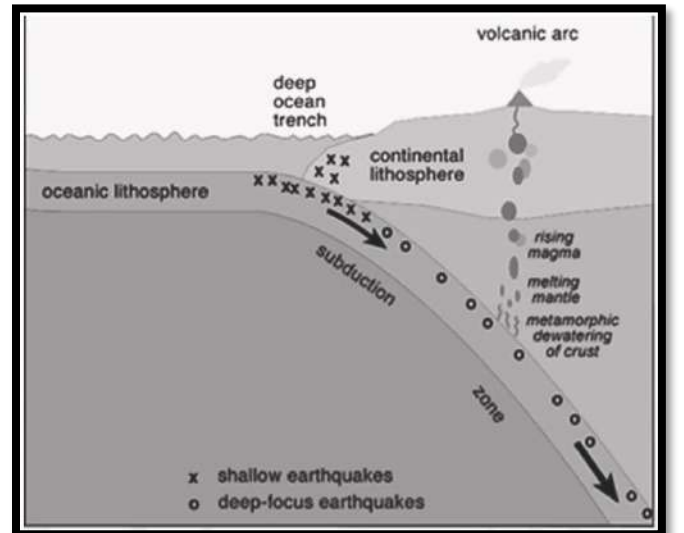
- **खंडक (Trenches):** पॅसिफिक भूपट्ट फिलिपिन्स भूपट्टाखाली क्षेपित झाल्यामुळे मरियाना खंडक (Mariana Trench) तयार झाला आहे.
- **द्वीप कमान (Island Arc) आणि सागरी अंतर्गत ज्वालामुखी (Submarine Volcanoes).**
 - उदा. इंडोनेशियाई द्वीपसमूह (Indonesian Archipelago)

(ii) महासागर - खंड अभिसरण (Ocean-Continent Convergence)

- या परिस्थितीत, जास्त घनतेचा महासागरीय कवच कमी घनतेच्या खंडी कवचाखाली (lighter continental crust) सरकतो.
- उदा. दक्षिण अमेरिकन भूपट्टाखाली नाझका भूपट्टाचे क्षेपण (subducting).

तयार होणारी भूरूपे:

- **ज्वालामुखीचा उद्रेक (Volcanic Eruption).**
 - उदा. माउंट फुजियामा (Mount Fujiyama)
- **ज्वालामुखी कमान (Volcanic Arc).**
 - उदा. पॅसिफिक रिंग ऑफ फायर (Pacific Ring of Fire)



(B) विविध भूपट्ट सीमांवर तयार होणारी भूरूपे (Landforms Created at Plate Boundaries)

१. अपसारी भूपट्ट सीमांवर तयार होणारी भूरूपे (Divergent Plate Boundaries)

अपसारी सीमा, जिथे भूपट्ट एकमेकांपासून दूर सरकतात (रचनात्मक सीमा), तेथे खालील भूरूपे तयार होतात:

- लाव्हा मैदान (Lava Plains)
- लाव्हा पठार (Lava Plateaus)
- मध्य-महासागरीय रांगा (Mid oceanic Ridges)
- भेगीय दरी (Rift Valley). उदा. आफ्रिकन भेगीय दरी (African Rift Valley)
- भेगीय ज्वालामुखी (Fissure Volcano)

२. अभिसारी भूपट्ट सीमांवर तयार होणारी भूरूपे (Convergent Plate Boundaries)

अभिसारी सीमा, जिथे भूपट्ट एकमेकांमध्ये मिसळतात (विनाशकारी सीमा), तेथे भूपट्टांच्या प्रकारानुसार खालील भूरूपे तयार होतात:

- खंडक (Trench)
- वली पर्वत. उदा. अँन्डीज पर्वत (Andes Mountain).

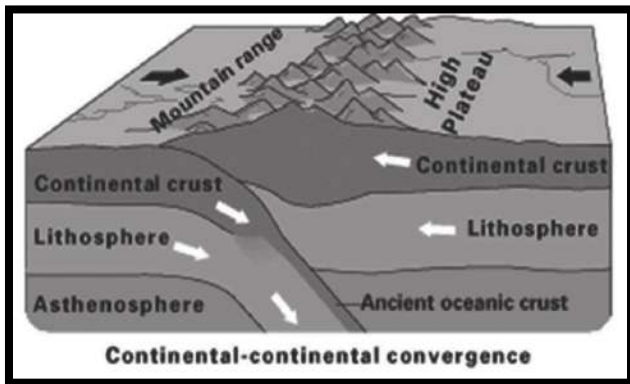
३. खंड - खंड अभिसरण (Continent-Continent Convergence)

या परिस्थितीत, टक्कर क्षेत्र (Collision Zone) तयार होते. या टक्कर क्षेत्राजवळ पृथ्वीच्या कवचाला वळ्या पडल्यामुळे (buckling) अत्यंत तीव्रतेचे (high-intensity) वली पर्वत (Fold Mountains) तयार होतात. उदा. इंडो-ऑस्ट्रेलियन भूपट्ट आणि यूरेशियन भूपट्ट यांच्या टक्कर झाल्यामुळे हिमालयाची निर्मिती झाली, जिथे इंडो-ऑस्ट्रेलियन भूपट्ट यूरेशियन भूपट्टाखाली क्षेपित झाला.

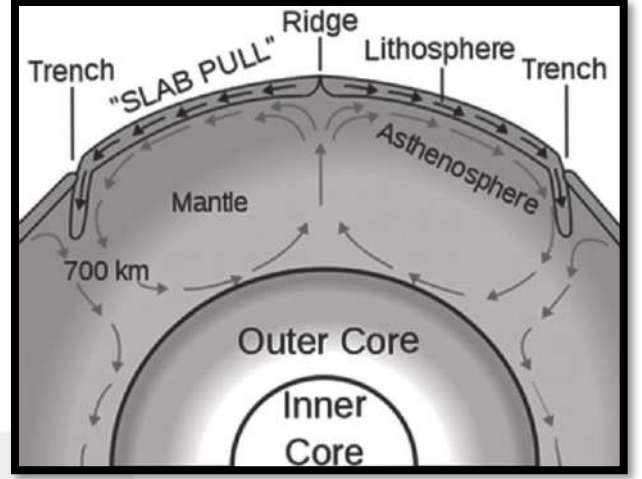
रूपांतरित भूपट्ट सीमांजवळ (Transform Plate Boundaries) कोणतीही भूरूपे तयार होत नाहीत.

(C) सिद्धांताची कार्यप्रणाली (Mechanism of the Theory)

अपसारी भूपट्ट सीमांजवळ (Divergent Plate Boundaries), पृथ्वीच्या आतून तप्त शिलारस (Hot Magma) पृष्ठभागाकडे येतो आणि थंड होतो. त्याच वेळी, अभिसारी भूपट्ट सीमांजवळ (Convergent Plate Boundaries) असलेले भूपट्ट खाली क्षेपित होतात आणि पृष्ठभागापासून सुमारे शंभर किलोमीटर खाली असलेल्या बेनिऑफ झोनमध्ये (Benioff Zone) पोहोचल्यावर ते वितळतात आणि नष्ट होतात. अशा प्रकारे, अभिसारी भूपट्ट सीमांजवळ जास्त शिलारस (excess magma) असतो, तर अपसारी भूपट्ट सीमांजवळ शिलारसाची पोकळी (magma vacuum) तयार होते. हे संतुलन साधण्यासाठी, अभिसारी भूपट्ट सीमेकडील अतिरिक्त शिलारस पृष्ठभागाखालील अपसारी भूपट्ट सीमेकडे प्रवास करण्यास सुरुवात करतो, ज्यामुळे ऊष्माभिसरण प्रवाहांचा (Thermal Convective Currents) जन्म होतो. हे प्रवाह भूपट्टांच्या खाली असतात आणि ते पुढील भूपट्ट हालचालीस पूरक (complement) ठरतात. ही संकल्पना आर्थर होम्स (Arthur Holmes) यांनी मांडली होती.



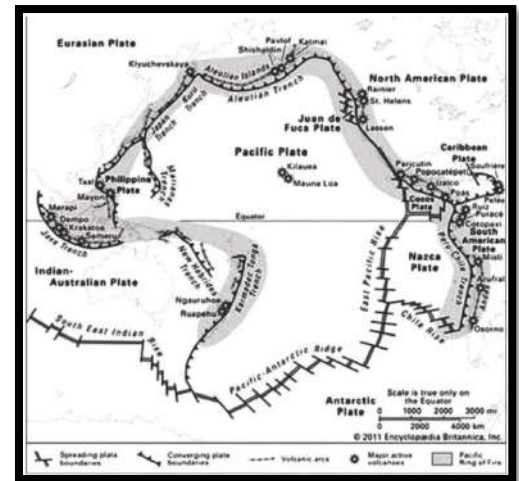
भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांताचे पुरावे (Evidences of Plate Tectonics Theory)



१. विविध भूपट्ट सीमांजवळ विविध भूरूपांची निर्मिती (Occurrence of various landforms)
२. पॅसिफिक रिंग ऑफ फायर (Pacific Ring of Fire)
३. भूपट्ट सीमांजवळ आढळणाऱ्या पर्वत रांगा (Mountain ranges)
४. भूपट्ट सीमांजवळ घडणाऱ्या ज्वालामुखी क्रिया (Volcanic activities)
५. समुद्रतळ प्रसरण (Seafloor Spreading)
६. पुराजुंबकत्व (Palaeomagnetism) (याचे स्पष्टीकरण पुढे समुद्रतळ प्रसरणाखाली दिले आहे)

भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांतावरील टीका (Criticisms of Plate Tectonics Theory)

१. ऊष्माभिसरण प्रवाहांची (Thermal Convective Currents) संकल्पना संशयास्पद (doubtful) आहे.



- हा सिद्धांत **प्रीकॅम्ब्रियन (Precambrian)** कालखंडापासून सुरुवात करतो आणि त्या **पूर्वीच्या** स्थितीचे स्पष्टीकरण देत नाही.
- हा सिद्धांत **अंतर्गत-भूपट्ट ज्वालामुखीला** (म्हणजेच, जे **हॉटस्पॉट्स** शी संबंधित आहे) स्पष्ट करण्यात **अयशस्वी** ठरतो.
- भूपट्टांच्या हालचालीचा बदलता दर** (Varying rate) स्पष्ट करण्यात हा सिद्धांत **अयशस्वी** ठरतो.

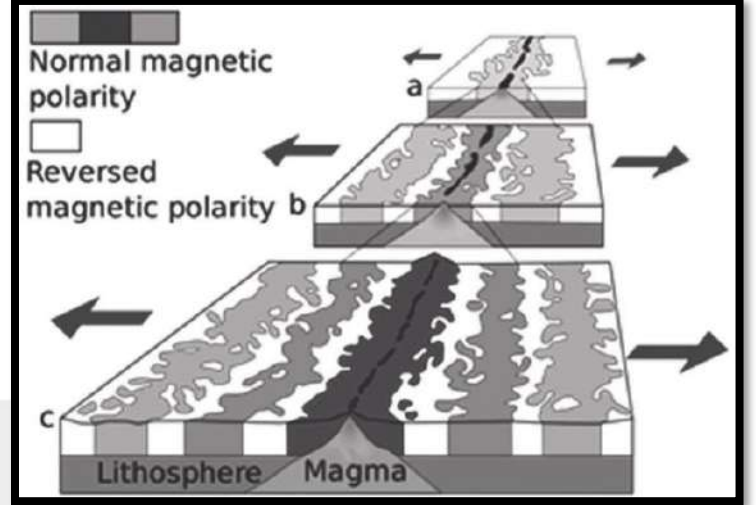
भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांताच्या उपलब्धी (Achievements of Plate Tectonics Theory)

- वेगेनरच्या प्रश्नांची उत्तरे (Answers to Wegener's questions)** - अल्फ्रेड वेगेनरच्या खंड वहन सिद्धांताने उपस्थित केलेल्या जवळजवळ **सर्व प्रश्नांची उत्तरे** हा सिद्धांत देतो.
- अंतर्गत बळांचे महत्त्व (Importance of Internal Forces)** - मागील सिद्धांतानुसार, **खंडांच्या हालचालीसाठी** आवश्यक असलेली बळे **पृथ्वीच्या बाहेरून** येतात असे मानले जात होते. परंतु, **भूपट्ट विवर्तनिकीय सिद्धांत** यशस्वीरित्या सिद्ध करतो की **पृथ्वीच्या आतील बळेच (forces within the earth)** खंडांच्या हालचालीसाठी **पुरेशी** आहेत.

पॅसिफिक रिंग ऑफ फायर (Pacific Ring of Fire)

पॅसिफिक रिंग ऑफ फायर (याला **रिम ऑफ फायर** किंवा **परि-पॅसिफिक पट्टा - Circum-Pacific belt** असेही म्हणतात) हा **पॅसिफिक महासागराच्या खोऱ्यातील (basin)** एक प्रमुख भूभाग आहे, जिथे मोठ्या संख्येने **भूकंप** आणि **ज्वालामुखीचा उद्रेक** होतो. सुमारे **४०,००० किमी** विस्ताराच्या एका मोठ्या **घोड्याच्या नालाच्या (horseshoe)** आकारातील या पट्ट्यामध्ये **महासागरीय खंडकांची (oceanic trenches)**, **ज्वालामुखी कमानांची (volcanic arcs)**, **ज्वालामुखी पट्ट्यांची (volcanic belts)** आणि **भूपट्टांच्या हालचालींची** जवळजवळ **अखंडित मालिका** आहे. या प्रदेशात **४५२ ज्वालामुखी** आहेत (जे जगातील **सक्रिय** आणि **सुप्त** ज्वालामुखींपैकी **७५% पेक्षा जास्त** आहेत). जगातील सुमारे **९०% भूकंप** याच रिंग ऑफ फायर पट्ट्यामध्ये होतात. **रिंग ऑफ फायर** हा

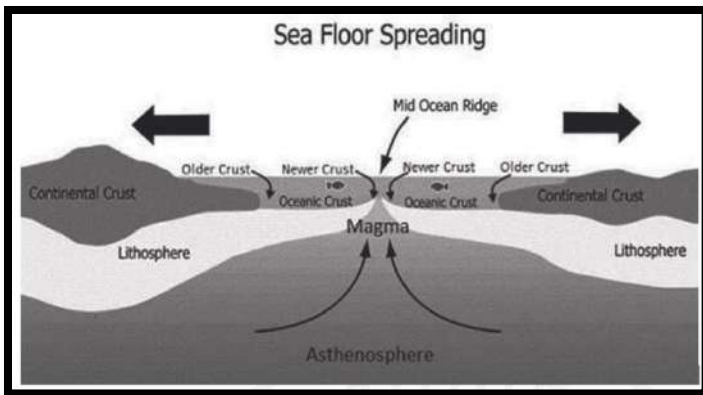
भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रियेचा (Plate Tectonics) थेट परिणाम आहे. येथे **शिलावरण भूपट्टांची** हालचाल आणि टक्कर होते, विशेषतः **महासागरीय भूपट्ट सभोवतालच्या खंडीय भूपट्टांखाली क्षेपित (subduction)** होतात, ज्यामुळे ही क्रिया घडते.



समुद्रतळ प्रसरणाची संकल्पना (Concept of Sea Floor Spreading)

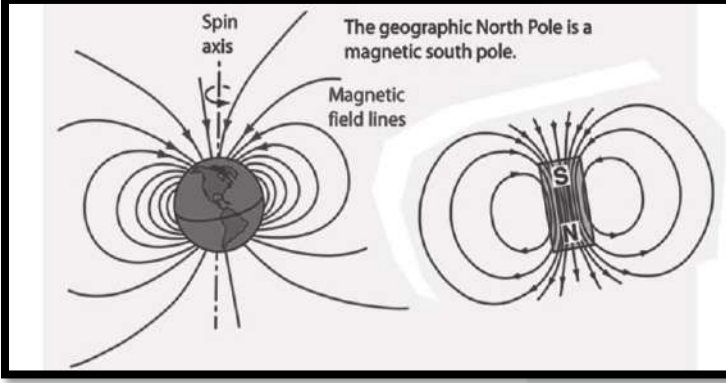
समुद्रतळ प्रसरणाची कल्पना सर्वप्रथम **हॅरी हेस (Harry Hess)** यांनी **१९६० च्या दशकात** मांडली. ही एक अशी प्रक्रिया आहे, जी **मध्य-महासागरीय रांगांवर (Mid Oceanic Ridges)** घडते. या ठिकाणी **ज्वालामुखीच्या क्रियेतून नवीन महासागरीय कवच (new oceanic crust)** तयार होते आणि नंतर ते **हळूहळू रांगेपासून दूर सरकते (moves away from the ridge)**. **अपसरणामुळे (Divergence)**, ताणाचे बळ (**Tensional Forces**) निर्माण होतात आणि **शिलावरण (Lithosphere)** विभंगित (**fractured**) होते. परिणामी, **शिलारस (Magma)** या विभंगामधून **वर येतो (rises up)**. या शिलारसाच्या **घनीकरणतून (Solidification)** नवीन **समुद्रतळ (new sea floor)** तयार होतो. **अपसरणामुळे (divergence)**, जुने **खडक (older rocks)** प्रसरण क्षेत्रापासून **जास्त दूर** जातात, तर **नवीन खडक (younger rocks)** प्रसरण क्षेत्राच्या **जवळ** आढळतात. अशा प्रकारे, मध्य-महासागरीय रांगांच्या बाजूने **नवीन कवचाची सातत्याने निर्मिती** होते. यालाच **समुद्रतळ प्रसरण** म्हणतात.

समुद्रतळ प्रसरणादरम्यान, वर येणारा शिलारस **घनीभवन (solidification)** होण्यापूर्वी **पृथ्वीच्या भूचुंबकीय क्षेत्राची (Earth's Geomagnetic Field) ध्रुवीयता (polarity)** धारण करतो. त्यानंतर, **अपसारी कडेच्या (Diverging Margin) दोन्ही बाजूंना समान चुंबकीय ध्रुवीयतेचे (Similar Magnetic Polarity) समांतर पट्टे (parallel bands)** खडकांमध्ये दिसून येतात. दीर्घकाळपर्यंत ही प्रक्रिया सुरू राहिल्याने **मध्य-महासागरीय रांगांच्या दोन्ही बाजूंना धन आणि ऋण चुंबकीय विसंगतीचे (Positive and Negative Magnetic Anomalies) एकांतर**



पट्टे तयार होतात. या संपूर्ण प्रक्रियेला **पुराजुंबकत्व (Palaeomagnetism)** असे म्हणतात. **पुराजुंबकत्व** हे **भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया** आणि **समुद्रतळ प्रसरणाचा** एक महत्त्वाचा **पुरावा** आहे.

भूचुंबकत्व (Geomagnetism)



पृथ्वीच्या **गाभ्यामध्ये (Core)**, विशेषतः **निकेल (Nickel)** आणि **लोह (Iron)** यांसारख्या **लोह गटातील घटकांच्या (Iron group elements)** **विपुलतेमुळे**, पृथ्वी एका **विशाल चुंबकाप्रमाणे (giant magnet)** वर्तन करते आणि यामुळे पृथ्वीभोवती **चुंबकीय क्षेत्र (magnetic field)** निर्माण होते. या क्रियेला **भूचुंबकत्व (Geomagnetism)** असे म्हणतात.

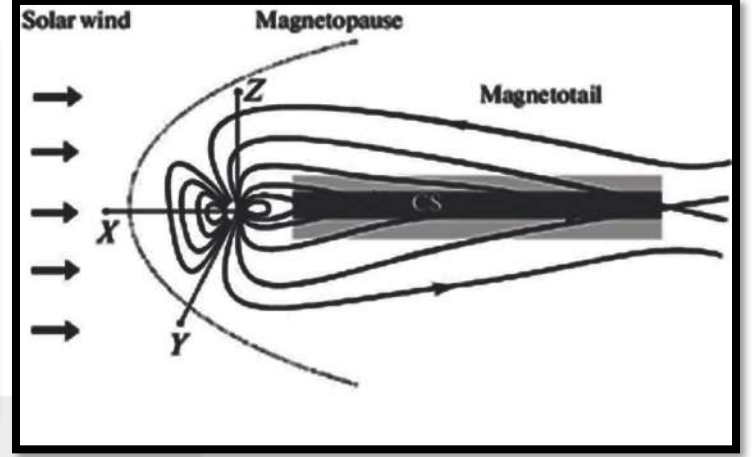
चुंबकीय दक्षिण ध्रुव (Magnetic South Pole) पृथ्वीच्या भौगोलिक उत्तर ध्रुवाजवळ (Geographic North Pole) असतो, तर चुंबकीय उत्तर ध्रुव (Magnetic North Pole) पृथ्वीच्या भौगोलिक दक्षिण ध्रुवाजवळ असतो. चुंबकीय आणि भौगोलिक अक्षांमधील **कोनीय फरक (Angular difference) 11.30**, इतका असतो. यालाच **पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्राची दिक्पाताची (Declination) विसंगती** म्हणून ओळखले जाते.

या चुंबकीय क्षेत्राच्या निर्मितीचे स्पष्टीकरण **डायनॅमो सिद्धांताद्वारे (Dynamo Theory)** उत्तम प्रकारे दिले जाते. या सिद्धांतानुसार, गाभ्यातील **फिरणारा (rotating)**, **अभिसारी (convecting)** आणि **विद्युत प्रवाहक (electrically conducting)** असणारा **द्रव (fluid)** पृथ्वीभोवती **चुंबकीय क्षेत्र** कायम ठेवतो.

- आदर्शपणे, पृथ्वीचे चुंबकीय क्षेत्र खालीलप्रमाणे असावे:
- आदर्शपणे, पृथ्वीचे चुंबकीय क्षेत्र **भूचुंबकत्वाच्या (Geomagnetism)** तत्त्वानुसार, **विशाल चुंबकाच्या (Giant Magnet)** क्षेत्राप्रमाणे, पृथ्वीभोवती **गोल (spherical)** आणि **सममिती (symmetric)** असायला हवे.

चुंबकीय आवरण (Magnetic sphere) म्हणजे **पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्राचा बाह्य भाग**, ज्याचा आकार आणि वर्तन **सूर्याद्वारे** नियंत्रित होते. **सौर वाऱ्यांच्या (Solar Winds)** रूपात सूर्यापासून येणारे **विद्युत कण (Electrical particles)**: पृथ्वीच्या

चुंबकावरणाला **सूर्याच्या बाजूने (Sunward side / Day Side)** **चपटे (flattens)** करतात. तर, ते **सूर्याच्या विरुद्ध बाजूला (Downward side / Night Side)** त्याला **ताणतात (stretches)**.



पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्राचे महत्त्व (Importance of Earth's Magnetic Field)

१. **सौर वाऱ्यांपासून संरक्षण (Protection from Solar Wind):** हे क्षेत्र **सौर वाऱ्यांमधून (Solar Wind)** येणाऱ्या **आवेशित कणांपासून (charge particles)** पृथ्वीच्या वातावरणाचे रक्षण करते. हे **सौर वादळांसारख्या (Solar Storms)** अत्यंत तीव्र सौर घटनांपासून पृथ्वीचे संरक्षण करते.
२. **मार्गदर्शनासाठी उपयोग (Use for Navigation):** **होकायंत्रासारख्या (Compass)** मार्गदर्शनाच्या साधनांसाठी (navigation tools) हे महत्त्वाचे आहे.
३. **रेडिओ संवाद (Radio Communication):** हे **रेडिओ संवादासाठी (Radio Communication)** उपयुक्त आहे.
४. **ऑरोरा प्रकाशाची निर्मिती (Creation of Aurora Lights):** चुंबकावरणामुळे (Magnetosphere) दोन्ही ध्रुवांवर (Poles) **ऑरोरा दिवे (Aurora lights)** (उत्तर ध्रुवावर ऑरोरा बोरेलिस आणि दक्षिण ध्रुवावर ऑरोरा ऑस्ट्रालिस) तयार होतात.

प्रस्तावना (Introduction)

खडक (Rocks) हे पृथ्वीच्या कवचाचे (Earth's Crust) मूलभूत घटक (Fundamental building blocks) आहेत. ते भूवैज्ञानिक प्रक्रियेतून तयार होतात आणि त्यांचे वर्गीकरण **अग्निजन्य (Igneous)**, **गाळाचे (Sedimentary)** आणि **रूपांतरित (Metamorphic)** अशा प्रकारांमध्ये केले जाते. खडक चक्राद्वारे (Rock Cycle) त्यांचे सतत होणारे रूपांतरण पृथ्वीचे **गतिशील स्वरूप** आणि तिच्या **भूआकृतिक प्रक्रिया** दर्शवते.

भूवैज्ञानिक वर्गीकरण (Geological Classification of Rocks)

निर्मितीच्या पद्धतीनुसार खडकांचे तीन प्रकारांमध्ये विभाजन केले जाते:

१. अग्निजन्य खडक (Igneous Rocks)
२. गाळाचे खडक (Sedimentary Rocks)
३. रूपांतरित खडक (Metamorphic Rocks)

१. प्राथमिक खडक (अग्निजन्य खडक - Primary Rocks / Igneous Rocks)

- **व्याख्या:** हे पृथ्वीच्या कवचातील सर्वात प्रथम तयार झालेले खडक असून, ते थेट **शिलारसाच्या (Magma)** थंड होण्याने तयार होतात.
- **निर्मिती प्रक्रिया:**
 - **वितळलेला शिलारस** पृथ्वीच्या आत (अंतर्भेदी/**Intrusive**) किंवा **पृष्ठभागावर (बहिर्भेदी/**Extrusive**)** थंड होऊन **स्फटिकीकृत (crystallized)** होतो.
- **वैशिष्ट्ये:**
 - **कठीण (Hard)** आणि **स्फटिकी (crystalline)** संरचना असते.
 - ते **अस्तरित (Non-stratified / थरांची अनुपस्थिती)** असतात.
 - ते **जीवाश्मविरहित (Unfossiliferous)** असतात (कारण ते तयार झाले तेव्हा जीवसृष्टीचा विकास झाला नव्हता).
 - **विदारण (weathering)** आणि **अपक्षरण (erosion)** यांना अत्यंत **प्रतिरोधक (resistant)** असतात.
 - इतर प्रकारच्या खडकांसाठी **आधार (base/foundation)** तयार करतात.

- **खनिजे (minerals)** आणि **धातुके (ores)** पुरवतात (उदा. ग्रॅनाईटमध्ये फेल्सपार, बेसाल्टमध्ये लोह आणि मॅग्नेशियम).

- **उदाहरणे:** ग्रॅनाईट, बेसाल्ट, डायोराईट, गॅब्रो, ऑब्सिडियन, प्युमिस.

२. स्तरित खडक/द्वितीयक खडक (गाळाचे खडक - Secondary Rocks / Sedimentary Rocks)

- **व्याख्या:** हे खडक **पूर्वीपासून अस्तित्वात असलेल्या खडकांपासून** प्राप्त झालेल्या **गाळाच्या (sediments)** **संचयनातून** आणि **संपीडनातून (compaction)** तयार होतात.
- **निर्मिती प्रक्रिया:**
 - **विदारण (Weathering)** → **अपक्षरण (Erosion)** → **वहनाद्वारे स्थलांतर (Transportation)** → **संचयन (Deposition)** → **संपीडन आणि सिमेंटेशन (Compaction & Cementation)**.
- **वैशिष्ट्ये:**
 - साधारणपणे **स्तरित / थरांच्या रूपात (stratified/layered)** दिसतात.
 - अग्निजन्य खडकांपेक्षा **मऊ** आणि **कमी प्रतिरोधक** असतात.
 - त्यांच्यात **जीवाश्म (fossils)** (वनस्पती/प्राण्यांचे अवशेष) असू शकतात.
 - गाळाच्या प्रकारानुसार **रंग** आणि **पोत (texture)** बदलतो.
 - ते बहुतेकदा **सच्छिद्र (porous)** आणि **पारगम्य (permeable)** असतात (भूजल साठवणुकीसाठी महत्त्वाचे).
 - **पेट्रोलियम (तेल)**, **नैसर्गिक वायू** आणि **कोळसा** यासाठी हे महत्त्वाचे **साठे (reservoirs)** आहेत.
- **उपप्रकार:**
 - **खंडित (Clastic):** इतर खडकांच्या **तुकड्यांपासून** बनलेले (वालुकाश्म/Sandstone, शेल/Shale, कंग्लोमेरेट/Conglomerate).
 - **रासायनिक (Chemical):** **खनिजांच्या अवक्षेपणातून (precipitation of minerals)** तयार झालेले (सैंधव मीठ/Rock Salt, जिप्सम/Gypsum, चुनखडी/Limestone).
 - **सैंद्रिय (Organic):** **सजीवांच्या अवशेषांपासून** तयार झालेले (कोळसा/Coal, खडू/Chalk, जीवाश्म असलेली

चुनखडी/Fossiliferous Limestone).

- **उदाहरणे:** वालुकाश्म (Sandstone), शेल (Shale), चुनखडी (Limestone), कंग्लोमरेट (Conglomerate), कोळसा (Coal).

३. तृतीयक खडक (रूपांतरित खडक - Tertiary Rocks / Metamorphic Rocks)

- **व्याख्या:** जेव्हा **प्राथमिक (अग्निजन्य)** किंवा **द्वितीयक (गाळाचे) खडक उष्णता (Heat), दाब (Pressure)** किंवा **रासायनिक प्रक्रियांद्वारे बदलले** जातात, तेव्हा हे खडक तयार होतात.
- **निर्मिती प्रक्रिया:**
 - **शिलारसाच्या संपर्कामुळे झालेले रूपांतरण (Contact Metamorphism).**
 - **खोलवर पुरले जाणे आणि विवर्तनिकीय बळांमुळे होणारे प्रादेशिक रूपांतरण (Regional Metamorphism).**
- **वैशिष्ट्ये:**
 - त्यांच्या **मूळ खडकांपेक्षा (parent rocks)** ते **कठीण आणि अधिक संकुचित (compact)** असतात.
 - ते **स्तरीभूत (foliated / थरांमध्ये)** किंवा **अस्तरीभूत (non-foliated / विशाल)** असू शकतात.
 - खनिजांच्या पुनर्रचनेमुळे त्यांच्यात कधीकधी **पट्टेरीपणा / रेखण (banding/lineation)** दिसून येतो.
 - नवीन खनिजे विकसित होऊ शकतात (उदा. अभ्रक/Mica, गार्नेट/Garnet).
 - ते **टिकाऊ (Durable)** आणि क्षरणाला **प्रतिरोधक** असतात.
- **उदाहरणे:**
 - **अग्निजन्य खडकांपासून:** ग्रॅनाईट → नाईस (Gneiss); बेसाल्ट → शिस्ट (Schist).
 - **गाळाच्या खडकांपासून:** चुनखडी → संगमरवर (Marble); शेल → स्लेट (Slate); वालुकाश्म → क्वार्ट्झाईट (Quartzite).

अग्निजन्य खडक (Igneous Rocks)

अग्निजन्य खडक हे वितळलेल्या भूभागाच्या द्रव्याचे (सामान्यतः शिलारस/Magma आणि लाव्हा/Lava) थंड होणे, घनीभवन आणि स्फटिकीकरण झाल्यामुळे तयार होतात. उदा. ग्रॅनाईट आणि बेसाल्ट.

अग्निजन्य खडकांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Igneous Rocks)

१. **प्राथमिक खडक (Primary Rocks):** हे पृथ्वीवर **सर्वात प्रथम तयार झालेले** खडक असल्याने त्यांना **प्राथमिक खडक** किंवा **जनक खडक (Parent Rocks)** असेही म्हणतात.
२. साधारणपणे, ते कठीण असतात आणि पाणी त्यांच्यात सांधे (joints) आणि भेगांमधून (cracks) खूप कष्टाने झिरपते (परकोलेट होते).
३. काहीवेळा, दीर्घकाळापर्यंत पर्यावरणाच्या परिस्थितीमुळे ते इतके मऊ होतात की त्यांना कुदळीने (spade) सहजपणे खणून काढता येते. उदा. बेसाल्ट.
४. हे खडक कणमय किंवा स्फटिकी असतात, जे शिलारस किंवा लाव्हाच्या थंड होण्याच्या दरावर (rate of cooling) अवलंबून असते. जर वितळलेले द्रव्य पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर त्वरीत घनीभूत झाले, तर लहान आणि कमी स्फटिक तयार होतात. उदा. बेसाल्ट. याउलट, जर वितळलेल्या द्रव्याला पृथ्वीच्या आत घनीभवनासाठी पुरेसा वेळ मिळाला, तर मोठे आणि अधिक स्फटिक तयार होतात. उदा. ग्रॅनाईट.
५. गाळाच्या खडकांप्रमाणे या खडकांमध्ये थर (strata) नसतात.
६. त्यांच्यावर रासायनिक क्षरणाचा (chemical weathering) कमी परिणाम होतो.
७. त्यांच्यात जीवाश्म नसतात.
८. कोणत्याही अग्निजन्य खडकामध्ये वरच्या दिशेने सांध्यांची संख्या वाढते. हे मुख्यत्वे थंड होणे, प्रसरण (expansion) आणि आकुंचन (contraction), वरील भारातील (super incumbent load) घट आणि पृथ्वीच्या हालचालींमुळे होते.
९. ते नेहमी ज्वालामुखी क्रियांशी संबंधित असतात.
१०. लोह (iron), निकेल (nickel), कोबाल्ट (cobalt) यांसारखी मूल्यवान खनिजे अग्निजन्य खडकांमध्ये आढळतात.
११. ते वलीकरणापेक्षा (folding) विवंगनास (faulting) अधिक प्रवण (prone) असतात.

अग्निजन्य खडकांचे वर्गीकरण (उपस्थितीनुसार)

अग्निजन्य खडकांचे (Igneous Rocks) वर्गीकरण ते कोणत्या ठिकाणी तयार झाले यावर आधारित दोन प्रमुख गटांमध्ये केले जाते:

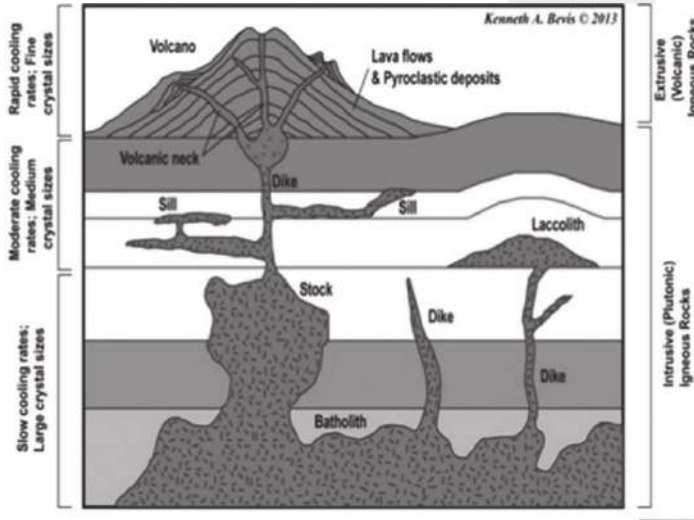
१. अंतर्भेदी अग्निजन्य खडक (Intrusive Igneous Rocks)

हे खडक **पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखाली** शिलारसाच्या (Magma) थंड होण्याने आणि घनीभवनाने तयार होतात. त्यांना घनीभवनासाठी **पुरेसा वेळ** मिळतो, त्यामुळे **सर्व प्रकारच्या अग्निजन्य खडकांमध्ये** या खडकांचे **स्फटिक सर्वात मोठे** असतात.

- यांचे पुढील उपविभाजन केले जाते:

(अ) पातालीय अग्निजन्य खडक (Plutonic Igneous Rocks): हे सर्वात खोलवर असलेले अग्निजन्य खडक आहेत. त्यांच्यात सर्वात मोठे स्फटिक (largest crystals) आढळतात. ते मृदा निर्मितीसाठी (soil formation) उपयुक्त नसतात. उदा. ग्रॅनाईट (Granite)

(ब) मध्यवर्ती अग्निजन्य खडक (Hypabyssal Igneous Rocks): हे खडक पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या अगदी खाली तयार होतात. त्यामुळे, त्यांच्या स्फटिकांचा आकार पातालीय खडकांपेक्षा लहान असतो. यांचे पुढील वर्गीकरण बॅथोलिथ (Batholith), लॅकोलिथ (Laccolith), लोपोलिथ (Lopolith), फॅकोलिथ (Phacolith), सील (Sill) आणि डायक (Dyke) यांसारख्या विविध अंतर्भेदी भू-रूपांमध्ये केले जाते.



२. बहिर्भेदी अग्निजन्य खडक (Extrusive Igneous Rocks)

हे खडक पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर तप्त आणि वितळलेल्या लाव्हाच्या थंड होण्याने आणि घनीभवनाने तयार होतात. ते सामान्यतः भेगीय ज्वालामुखीच्या उद्रेकादरम्यान (fissure eruption) तयार होतात. सर्व प्रकारच्या अग्निजन्य खडकांमध्ये त्यांचे स्फटिक सर्वात लहान (smallest crystals) असतात. यांचे पुढील वर्गीकरण केले जाते:

(अ) स्फोटक प्रकार (Explosive Type):

- यातून स्फोटक ज्वालामुखी भूरूपे तयार होतात.
- उदा. ज्वालामुखी शंकू (Volcanic Cone)

(ब) शांत प्रकार (Quiet Type):

- यातून शांतपणे लाव्हा बाहेर पडून भूरूपे तयार होतात.
- उदा. लाव्हा मैदान (Lava Plains) आणि लाव्हा पठार (Lava Plateaus)

अग्निजन्य खडक आणि संबंधित भूरूपे (Igneous Rocks and Associated Landforms)

अग्निजन्य खडकांच्या प्रदेशात अग्निजन्य खडकांच्या विदारणामुळे (weathering) खालील भूरूपे (Landforms) तयार होतात:

१. हॉगबॅक (Hogback) आणि क्वेस्टा (Cuestas)
२. बॅथोलिथिक घुमट / पॅटलँड्स / अपपर्णन घुमट (Batholithic Domes/Patlands/Exfoliation Domes)
३. मेसा (Mesa) आणि ब्युटी (Butte)
४. ज्वालामुखी मेसा (Volcanic Mesa) आणि ब्युटी (Butte)
५. आयताकृती (Rectangular) आणि षटकोनी (Hexagonal) जलप्रणाली (Drainage Pattern)
६. टॉर्स (Tors) (ग्रॅनाईट खडकांचे उंच-सखल सुळके)

गाळाचे खडक (Sedimentary Rocks)

- गाळाच्या (sediments) एकत्रीकरणामुळे (aggregation) आणि संपीडनामुळे (compaction) तयार झालेल्या खडकांना गाळाचे खडक म्हणतात. उदा. वालुकाश्म (Sandstone), चुनखडी (Limestone) इत्यादी.

गाळाच्या खडकांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Sedimentary Rocks)

१. ते स्तरित (Stratified) किंवा थर असलेले असतात.
२. त्यांच्यात वनस्पती आणि प्राण्यांचे जीवाश्म (fossils) असतात.
३. ते पृथ्वीचा सुमारे ७५% एवढा सर्वात मोठा पृष्ठभाग (surface area) व्यापतात.
४. घटकांच्या (Component wise) दृष्टीने ते कवचाचा (Crust) फक्त ५% भाग बनवतात. उर्वरित ९५% भाग अग्निजन्य आणि रूपांतरित खडकांनी बनलेला आहे.
५. गाळाच्या कणांचा आकार (Size of Sediments) समुद्रकिनार्यांच्या कडांपासून (littoral margins) गाळाच्या खोऱ्यांच्या (sedimentary basins) केंद्राकडे कमी होत जातो.
६. या खडकांमध्ये स्फटिक (Crystals) आढळत नाहीत.
७. बॅथोलिथ, लॅकोलिथ, लोपोलिथ इत्यादी अंतर्भेदी भूरूपे या खडकांमध्ये आढळत नाहीत.
८. त्यांच्या सच्छिद्रतेमुळे (Porosity), भूजल (groundwater) गाळाच्या खडकांमध्ये साठवले जाते.
९. गाळाची खोरी (Sedimentary Basins) ही पेट्रोलियम आणि नैसर्गिक वायूच्या (natural gas) साठ्यांसाठी संभाव्य क्षेत्रे (potential ground) आहेत.
१०. त्यांच्यात भ्रंश (faulting) होत नाही; उलट, त्यांच्यात वलीकरण (folding) होते आणि ते वली पर्वतांना (fold mountains) जन्म देतात.

गाळाच्या खडकांचे प्रकार (वाहक घटकानुसार - Based on Transporting Agent)

१. जलीय गाळाचे खडक / जलोढ खडक (Argillaceous Sedimentary Rocks/ Aqueous Sedimentary Rocks)

- पाण्याचे वहन करणारे माध्यम (Transporting agent) वापरून तयार झालेले खडक.
 - (अ) सागरी गाळाचे खडक (Marine Sedimentary Rocks): समुद्रात तयार झालेले.
 - (ब) नदीय गाळाचे खडक (Riverine Sedimentary Rocks): नदीच्या माध्यमातून तयार झालेले.
 - (क) सरोवरीय गाळाचे खडक (Lacustrine Sedimentary Rocks): सरोवराच्या वातावरणात (Lake environment) तयार झालेले.

२. वातीर्थ खडक (Aeolian Sedimentary Rocks)

- वाऱ्यांनी (winds) वाहून आणलेल्या वाळूच्या (sands) संचयनातून हे खडक तयार होतात.
- ते सामान्यतः उष्ण आणि कोरड्या (arid) प्रदेशात आढळतात.
- एकत्रीकरण करणाऱ्या घटकांच्या (consolidating agents) कमतरतेमुळे, हे सर्व गाळाच्या खडकांमध्ये सर्वात कमकुवत असतात. उदा. लोएस (Loess).
- (येथे हिमनदीजन्य (Glacial) गाळाचे खडक आणि त्यांच्या प्रकारांची माहिती (a) ते (e) मध्ये आहे, जी सामान्यतः वातीर्थ खडकांपेक्षा वेगळी असते.)
 - (अ) हिमनदीजन्य गाळाचे खडक (Glacial Sedimentary Rocks)
 - (ब) पार्श्व हिमोढ (Lateral Moraines)
 - (क) मध्य हिमोढ (Medial Moraines)
 - (ड) भूस्तरीय हिमोढ (Ground Moraines)
 - (इ) अंत्य हिमोढ (Terminal Moraines)

रूपांतरित खडक (Metamorphic Rocks)

हे असे खडक आहेत, जे विघटन (disintegration) न होता, त्यांच्या स्वरूपामध्ये (form) किंवा रासायनिक रचनेमध्ये बदललेले आहेत. हे खडक अग्निजन्य, गाळाचे किंवा अगदी रूपांतरित खडकांपासून देखील तयार होऊ शकतात.

- रूपांतरित खडकांची काही उदाहरणे: ग्रॅनाईट - नाईस (Gneiss), बेसाल्ट - स्लेट (Slate), चुनखडी - संगमरवर (Marble), कोळसा - ग्रॅफाइट - हिरा (Diamond) इत्यादी.

रूपांतरणाचे कारण आणि कारक (Causes and Agents of Metamorphism)

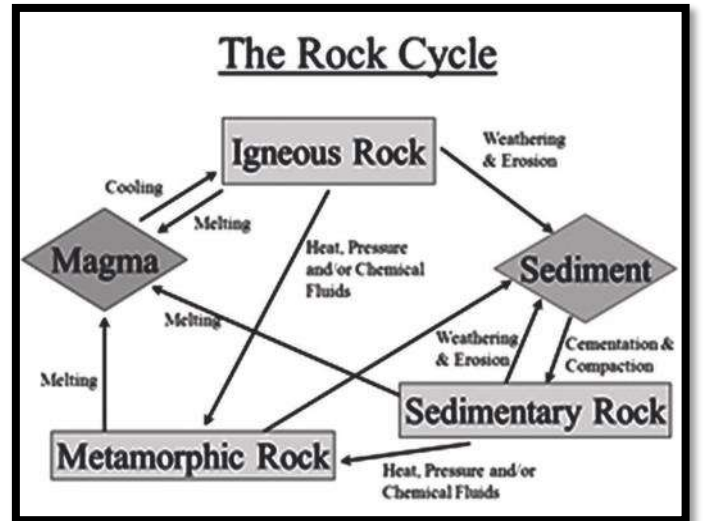
- रूपांतरणाची प्रमुख कारणे (Major Causes): लाव्हाचा प्रवाह (Lava inflow), सेंद्रिय हालचाल (organic movement), भूगतिक बळे (geodynamic forces), भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (plate tectonic activities), जलीय दाब (hydraulic pressure) इत्यादी.
- रूपांतरणाचे प्रमुख कारक (Major Agents): उष्णता (Heat), दाब (Pressure) आणि रासायनिक प्रक्रिया (Chemical Reactions) (विशेषतः द्रावण/solution).

रूपांतरणाचे प्रकार (Types of Metamorphism)

- या कारकांवर आधारित, रूपांतरणाच्या प्रक्रियांचे औष्णिक रूपांतरण (Thermal Metamorphism), गतिक रूपांतरण (Dynamic Metamorphism), जल रूपांतरण (Hydro Metamorphism), जलऔष्णिक रूपांतरण (Hydrothermal Metamorphism), संपर्क रूपांतरण (Contact Metamorphism), प्रादेशिक रूपांतरण (Regional Metamorphism) इत्यादींमध्ये वर्गीकरण केले जाते.

खडक चक्र (Rock Cycle)

खडक चक्र ही एक संकल्पना आहे, जी तीन मूलभूत खडक प्रकार (अग्निजन्य, गाळाचे, रूपांतरित) एकमेकांशी कसे संबंधित आहेत आणि भूवैज्ञानिक वेळेनुसार पृथ्वीच्या प्रक्रियांमुळे एक खडक प्रकार दुसऱ्या प्रकारात कसा बदलतो हे स्पष्ट करते. भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (Plate Tectonic activity), तसेच विदारण (weathering) आणि अपक्षरण (erosional) प्रक्रिया खडकांच्या या सततच्या पुनर्चक्रणासाठी (continued recycling) जबाबदार आहेत.



भूआकृतिक प्रक्रिया (Geomorphic Processes)

भूआकृतिक प्रक्रिया (Geomorphic Processes) म्हणजे पृथ्वीच्या पृष्ठभागाची निर्मिती आणि त्यात बदल घडवून आणण्यासाठी जबाबदार असणाऱ्या प्रक्रिया होत. भूआकृतिक प्रक्रिया अंतर्गतजन्य (Endogenic) आणि बाह्यजन्य (Exogenic) बळांच्या माध्यमातून भूस्वरूपे (Landforms) आणि इतर नैसर्गिक वैशिष्ट्ये तयार करतात.

अंतर्गतजन्य प्रक्रिया (Endogenic Processes)

या प्रक्रिया अंतर्गतजन्य बळांमुळे पृथ्वीच्या आत घडतात.

- त्या रचनात्मक (constructive) स्वरूपाच्या असतात आणि पर्वत, पठारे आणि मैदाने यांसारख्या नवीन भू-रूपांना जन्म देतात.
- त्यांचे पुढील वर्गीकरण केले जाते:

१. भू-उचल प्रक्रिया (Diastrophic Processes)

या प्रक्रिया मंद गतीमान बळांसह (gradual force) पृथ्वीच्या कवचाच्या स्पर्शीय (tangential) किंवा क्षैतिज (horizontal) हालचालींमुळे होतात.

(अ) खंडनिर्माणक प्रक्रिया (Epeirogenic Processes):

- या खंडांना (Continents) निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया आहेत. (उभ्या हालचालीस प्रोत्साहन देतात).

(ब) पर्वतनिक प्रक्रिया (Orogenic Processes):

- या पर्वतांना (Mountains) निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया आहेत. पर्वतनिर्मितीसाठी (orogeny) खालील दोन प्रकारची बळे आवश्यक आहेत:

(i) ताण बळे (Tensile Forces): ही बळे परस्परविरोधी (opposite direction) दिशेने कार्य करतात, ज्यामुळे कवचाचे विखंडन (crustal fracture) आणि विवंगन (faulting) होते. विवंगनाशी संबंधित भूरूपे म्हणजे भेगीय दरी (Rift Valley), ग्रॅबेन (Graben) आणि गट पर्वत (Block Mountain). उदा. आफ्रिकेतील ग्रेट रिफ्ट व्हॅली (Great Rift Valley of Africa), युरोपमधील ब्लॅक फॉरेस्ट पर्वत (Black Forest mountain of Europe).

(ii) संकोचन बळे (Compressive Forces): ही बळे एकमेकांच्या दिशेने कार्य करतात, ज्यामुळे कवचाचे वळण (crustal bending) आणि वलीकरण (folding) होते. वलीकरणाशी संबंधित प्रमुख भूरूप म्हणजे वली पर्वत (Fold Mountain). उदा. हिमालय (Himalayas), आल्प्स (Alps), रॉकी (Rocky), अँडीज (Andes) इत्यादी.

२. आकस्मिक प्रक्रिया (Catastrophic Processes)

या प्रक्रिया अचानक (sudden) आणि तीव्र बळामुळे घडतात आणि थोड्या कालावधीत लक्षणीय विकृती (deformation) निर्माण करतात:

(अ) ज्वालामुखीचा उद्रेक (Volcanic Eruption) (ब) भूकंप (Earthquakes)

बाह्यजन्य प्रक्रिया (Exogenic Processes)

या प्रक्रिया बाह्यजन्य बळांमुळे घडतात, जी वातावरणातून (atmosphere) तापमान आणि आर्द्रता (temperature and moisture) यांच्या विविध संयोजनांमुळे निर्माण होतात. त्यांना अनाच्छादन प्रक्रिया (Denudation Processes) असेही म्हणतात. त्या विनाशकारी (destructive) स्वरूपाच्या असतात (कारण त्या उंच भू-भागाचे सपाटीकरण करतात). त्यांचे तीन प्रकार आहेत:

१. विदारण प्रक्रिया (Weathering Processes)
२. अपक्षरण प्रक्रिया (Erosional Processes)
३. सामुदायिक हालचाल (Mass Movement)

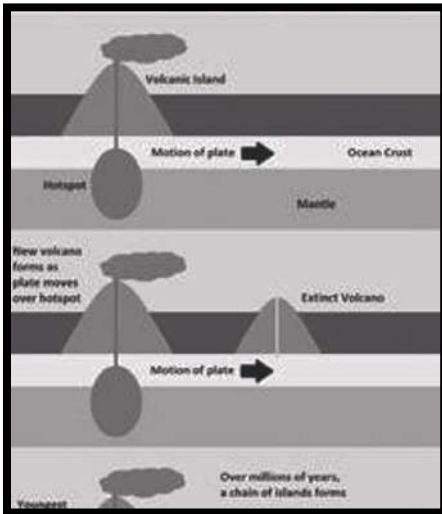
प्रस्तावना (Introduction)

ज्वालामुखीयता (Vulcanicity or Volcanism) या संकल्पनेत त्या सर्व प्रक्रिया आणि घटनांचा समावेश होतो, ज्यांमध्ये वितळलेले खडक द्रव्य (molten rock materials) किंवा शिलारस (magma) पृथ्वीच्या कवचात वर येतो किंवा पृष्ठभागावर ओतला जातो (poured out). याचा अर्थ ज्वालामुखी उद्भव अंतर्भेदी (intrusive) किंवा बहिर्भेदी (extrusive) प्रकारचा असू शकतो. ज्वालामुखी क्रिया (Vulcanicity) खालील भूभौतिकीय घटनांशी (geophysical phenomena) संबंधित आहे:

१. ज्वालामुखी (Volcano)
२. भूकंप (Earthquake)
३. उष्ण पाण्याचे झरे (Hot Springs)
४. गीझर्स (Geysers)
५. फ्युमरॉल्स (Fumaroles) (धूर-उत्सर्जक झरे)
६. चिखलाचा ज्वालामुखी (Mud volcano)

ज्वालामुखी क्रियेची कारणे (Causes of Volcanism)

१. भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (Plate Tectonics): भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया ज्वालामुखी क्रियेचे सर्वात योग्य स्पष्टीकरण देते. विविध भूपट्ट सीमा सक्रिय ज्वालामुखी क्रियेची ठिकाणे (sites) आहेत.
२. हॉटस्पॉट्स (Hotspots): याला अंतर्गत-भूपट्ट ज्वालामुखी (intraplate volcanism) असेही म्हणतात. यात दुर्बलावणातील (Asthenosphere) शिलारसाचा (magma) निश्चित स्रोत असलेले प्रावरणाचे पंख (mantle plume) समाविष्ट असतात. जेव्हा शिलारस शिलावरणापर्यंत (Lithosphere) पोहोचतो, तेव्हा तो भूपट्टामध्ये शिलारसाचे अंतर्वेशन (intrusions) वरच्या दिशेने पाठवतो आणि त्यातील काही शिलारस बाहेर पडून सक्रिय



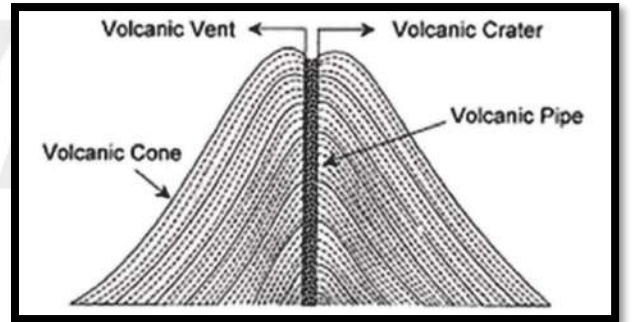
ज्वालामुखी तयार करतो. उदा. हवाई बेट (Hawaii island), रीयूनियन हॉटस्पॉट (Reunion hotspot).

ज्वालामुखी (Volcano)

ज्वालामुखी म्हणजे एक वाहिनी (vent) किंवा उघडलेले तोंड (सामान्यतः गोलाकार किंवा जवळजवळ गोलाकार), ज्यातून तप्त वायू, पाण्याची वाफ, द्रवरूप लाव्हा आणि खडकांचे तुकडे पृथ्वीच्या अत्यंत तप्त अंतरंगातून पृष्ठभागावर बाहेर फेकले जातात.

ज्वालामुखीचे घटक (Components of Volcano):

१. ज्वालामुखी शंकू (Volcanic Cone): हा मध्यवर्ती ज्वालामुखी वाहिनीभोवती (central volcanic vent) संचयित (accumulated) झालेला ज्वालामुखी पदार्थ असतो.
२. ज्वालामुखी वाहिनी/तोंड/मुख (Volcanic vent/Volcanic Opening/Volcanic mouth): ही एका अरुंद नळीद्वारे (narrow pipe) पृथ्वीच्या अंतर्गत भागाशी जोडलेली असते आणि यातून ज्वालामुखी पदार्थ बाहेर फेकले जातात.
३. ज्वालामुखी नळी (Volcanic Pipe): ही तप्त वितळलेले पदार्थ पृथ्वीच्या अंतरंगातून ज्वालामुखी वाहिनीपर्यंत वाहून नेते.
४. ज्वालामुखी कुंड (Volcanic crater/Caldera): हे ज्वालामुखी वाहिनीचे विस्तारित स्वरूप (enlarged form) असते.



ज्वालामुखीचे वर्गीकरण (उद्रेकाच्या प्रकारानुसार - On the basis of mode of eruption)

(A) मध्यवर्ती उद्रेक प्रकार (Central Eruption Type) किंवा स्फोटक उद्रेक प्रकार (Explosive Eruption Type Volcanoes)

- या प्रकारात स्फोट होऊन लाव्हा बाहेर येतो.
 १. हवाईयन प्रकार (Hawaiian type)
 २. स्ट्रॉम्बोलीयन प्रकार (Strombolian type)
 ३. वल्केनियन प्रकार (Vulcanian type)

४. पेलीयन प्रकार (Pelean type)
५. वेसुव्हियस प्रकार (Vesuvius type)

(B) भेगीय उद्रेक प्रकार (Fissure Eruption Type) किंवा शांत ज्वालामुखी (Quiet Volcanoes) किंवा निःसारक ज्वालामुखी (Effusive Volcanoes)

- या प्रकारात भेगांमधून लाव्हा शांतपणे बाहेर येतो.
 १. लाव्हा पूर किंवा लाव्हा प्रवाह (Lava flood or lava flow)
 २. चिखलाचा प्रवाह (Mudflow)
 ३. फ्युमरॉल्स (Fumaroles)

(C) जलीय अंतर्गत ज्वालामुखी (Subaqueous Volcanoes)

- हे पाण्याखालील सागरी ज्वालामुखी असतात.

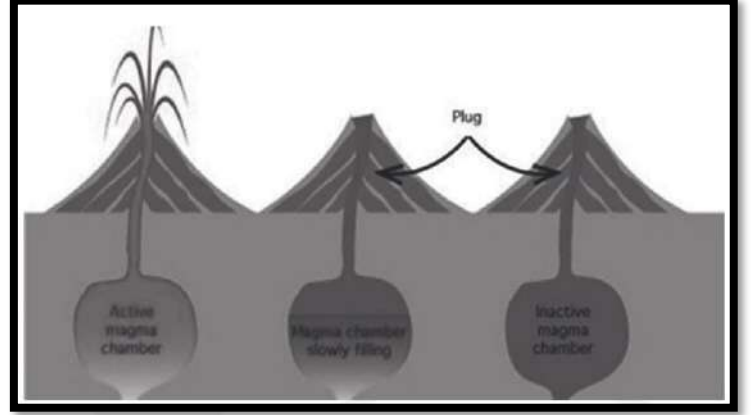
(D) वायुरूप ज्वालामुखी (Exhalative Volcanoes)

- या ज्वालामुखींमध्ये वायू (gases) हा ज्वालामुखी पदार्थाचा बहुतांश भाग असतो.

ज्वालामुखीचे वर्गीकरण (उद्रेकाच्या कालावधीनुसार - On the basis of periodicity of eruptions)

१. सक्रिय ज्वालामुखी (Active Volcano): यातून सतत ज्वालामुखी लाव्हा, वायू, राख आणि तुकड्यांच्या स्वरूपातील पदार्थ बाहेर फेकले जातात. ते साधारणपणे अपसारी आणि अभिसारी भूपट्ट सीमांजवळ आणि हॉटस्पॉट्स व प्रावरण पंखांजवळ आढळतात. उदा. माउंट स्ट्रॉम्बोली (Mount Stromboli - इटली), माउंट एटना (Mount Etna - सिसिली)
२. सुप्त ज्वालामुखी (Dormant Volcano): उद्रेकानंतर हे ज्वालामुखी काही काळ शांत होतात आणि भविष्यातील उद्रेकाची कोणतीही चिन्हे (indications) दिसत नाहीत, परंतु ते अचानक खूप हिंसकपणे (violently) उद्रेक करतात आणि मानवी आरोग्य आणि संपत्तीचे प्रचंड नुकसान करतात. उदा. माउंट फुजियामा (Mount Fujiyama - जपान), बॅरन बेट ज्वालामुखी (Barren Island Volcano - अंदमान आणि निकोबार)
३. मृत ज्वालामुखी (Extinct Volcano): भविष्यात उद्रेकाची कोणतीही चिन्हे नसतात. ज्वालामुखी कुंड (Volcanic crater) पाण्याने भरले जाते आणि त्यामुळे क्रेटर सरोवरे (crater lakes) तयार होतात. उदा. माउंट किलीमांजारो

(Mount Kilimanjaro - टांझानिया), नारकोंडम बेट ज्वालामुखी (Narcondam Island Volcano - भारत)



ज्वालामुखी पदार्थ (Volcanic Material)

ज्वालामुखीच्या उद्रेकातून बाहेर पडणाऱ्या पदार्थाचे तीन मुख्य प्रकार आहेत:

१. वायुरूप पदार्थ (Gaseous Material)

यात पाण्याची वाफ (Water Vapour) आणि कार्बन डायऑक्साइड, नायट्रोजन ऑक्साइड, सल्फर डायऑक्साइड, हायड्रोजन, कार्बन मोनोऑक्साइड यांसारखे विविध वायू समाविष्ट असतात. बाहेर पडणाऱ्या एकूण वायूंपैकी सुमारे ६०% ते ९०% भाग पाण्याच्या वाफेचा असतो. पाण्याची वाफ पुढे जलवाष्प (Phreatic Vapours) (पृष्ठभागावरील पाण्यामुळे तयार होणारी) आणि शिलारसीय वाफ (Magmatic Vapours) (शिलारसातील पाण्यामुळे तयार होणारी) अशा भागांमध्ये विभागली जाते.

२. द्रवरूप पदार्थ (Liquid Material)

यात शिलारस (Magma) आणि लाव्हा (Lava) यांचा समावेश होतो. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखालील वितळलेल्या खडकाच्या द्रव्याला शिलारस (Magma) म्हणतात, तर तेच द्रव्य पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर आल्यावर त्याला लाव्हा (Lava) म्हणतात. वितळलेल्या पदार्थांमध्ये असलेल्या सिलिकेच्या (Silica) प्रमाणावर आधारित, लाव्हाचे पुढील वर्गीकरण केले जाते:

- आम्लधर्मी लाव्हा (Acidic): यात सिलिकेचे प्रमाण ६५% पेक्षा जास्त असते.
 - हा लाव्हा जास्त श्यान (more viscous) असल्याने तो कमी प्रवाही असतो आणि त्यामुळे कमी अंतर व्यापतो.
- क्षारधर्मी लाव्हा (Basic): यात सिलिकेचे प्रमाण ६५% पेक्षा कमी असते.

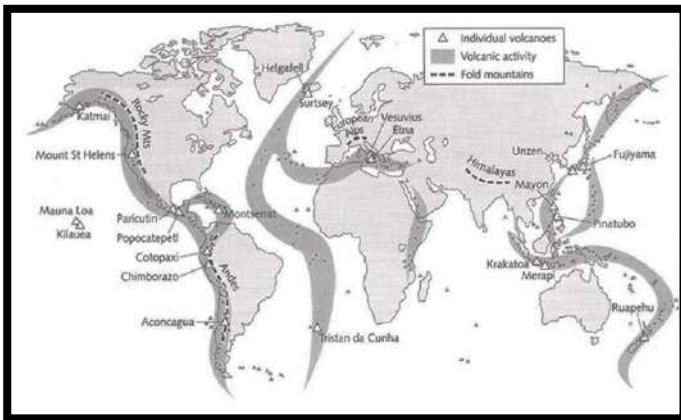
- हा लाव्हा कमी श्यान (less viscous) आणि अधिक प्रवाही (more fluid) असतो, त्यामुळे तो मोठे अंतर व्यापतो.

३. स्थायू पदार्थ (Solid Material)

यांना टुकड्यांच्या स्वरूपातील पदार्थ (Fragmental) किंवा पायरोक्लास्टिक पदार्थ (Pyroclastic Materials) असेही म्हणतात. त्यांच्या आकाराच्या चढत्या क्रमानुसार (ascending order) त्यांचे वर्गीकरण ज्वालामुखी धूलिकण (Volcanic Dust), ज्वालामुखी राख (Volcanic Ash), लॅपिल्ली (Lapilli) (लहान खडे) आणि ज्वालामुखी बाँब (Volcanic Bombs) (मोठे तुकडे) असे केले जाते.

ज्वालामुखीचे जागतिक वितरण (Global Distribution of Volcanoes)

ज्वालामुखी पृथ्वीच्या कवचाच्या कमकुवत क्षेत्रांशी (weaker zones) संबंधित आहेत आणि त्यामुळे त्यांचे वितरण प्रादेशिक (zonal) स्वरूपाचे आहे. ते भूकंपीय घटनांशी (seismic events) जवळून जोडलेले आहेत. ज्वालामुखी खंडे आणि महासागर यांच्या संमेलन क्षेत्राजवळ (meeting zones), म्हणजेच किनारपट्टीच्या कडांवर (coastal margins) देखील आढळतात. भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया ज्वालामुखीच्या निर्मितीचे तसेच त्यांच्या जागतिक वितरणाचे समाधानकारक स्पष्टीकरण देते. जगातील सुमारे १५% सक्रिय ज्वालामुखी रचनात्मक भूपट्ट सीमांवर (constructive plate boundaries), तर ८०% सक्रिय ज्वालामुखी विनाशकारी भूपट्ट सीमांशी (destructive plate boundaries) संबंधित आहेत. उर्वरित ज्वालामुखी अंतर्गत-भूपट्ट क्षेत्रांमध्ये (intraplate regions), म्हणजेच हॉटस्पॉट्स आणि प्रावरण पंखांच्या प्रदेशात आढळतात.



१. परि-पॅसिफिक पट्टा (Circum-Pacific Belt)

याला पॅसिफिक रिंग ऑफ फायर (Pacific Ring of Fire) असेही म्हणतात. यात माउंट फुजियामा, माउंट कोटोपॅक्सी,

माउंट शास्ता, माउंट पिनटुबो, माउंट सेंट हेलेन्स यांसारख्या महत्त्वाच्या ज्वालामुखीय प्रदेशांचा समावेश आहे.

२. मध्य-खंडीय पट्टा (Mid Continental Belt)

यात आल्प्स पर्वताचे आणि भूमध्य समुद्राचे (Mediterranean sea) ज्वालामुखी, तसेच पूर्व आफ्रिकेतील भ्रंशचे (fault zone) ज्वालामुखी समाविष्ट आहेत. या प्रदेशातील प्रसिद्ध ज्वालामुखी म्हणजे माउंट स्ट्रॉम्बोली (त्याच्या सततच्या उद्रेकामुळे याला 'भूमध्य समुद्राचा दीपस्तंभ' (lighthouse of the Mediterranean) असेही म्हणतात) आणि माउंट एटना. सामान्यतः हा मध्य-खंडीय पट्टा हिमालयाच्या दिशेने विस्तारतो, परंतु हिमालयात ज्वालामुखीचे उद्रेक आढळत नाहीत. याचे मुख्य कारण म्हणजे तेथे तीव्र वलीकरणाने (intense folding activity) तयार झालेले घट्ट आणि जाड कवच आहे.

३. मध्य-अटलांटिक पट्टा (Mid Atlantic Belt)

या पट्ट्यात ज्वालामुखी प्रामुख्याने अपसारी भूपट्ट सीमांवर (divergent plate boundaries) होणाऱ्या भेगीय उद्रेकामुळे (fissure eruption) आहेत. या प्रदेशातील ज्वालामुखी साधारणपणे शांत (quiet) स्वरूपाचे असतात. आइसलँड (Iceland) हा या पट्ट्यातील सर्वात सक्रिय ज्वालामुखी क्षेत्र आहे.

४. अंतर्गत-भूपट्ट ज्वालामुखी (Intraplate Volcanoes)

या ज्वालामुखींमागील प्रमुख कारण प्रावरण पंख (mantle plumes) आणि हॉटस्पॉट्स आहेत. उदा. हवाई (Hawaii) आणि रीयूनियन (Reunion) हॉटस्पॉट्स.

ज्वालामुखीमुळे तयार होणारी भूरूपे (Landforms Created by Volcano)

१. अंतर्भेदी ज्वालामुखी भूरूपे (Intrusive Volcanic Landforms)

- यांचा समावेश पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखाली तयार होणाऱ्या बॅथोलिथ (Batholith), लॅकोलिथ (Laccolith), लोपोलिथ (Lopolith), फॅकोलिथ (Phacolith), सील (Sill), डायक (Dyke), ज्वालामुखी प्लग (Volcanic Plug) आणि स्टॅक (Stack) यामध्ये होतो.

२. बहिर्भेदी ज्वालामुखी भूरूपे (Extrusive Volcanic Landforms)

(A) स्फोटक प्रकारच्या उद्रेकातून (From Explosive type of eruptions)

(i) उंच भू-रूपे (Elevated Land Forms):

- सिंडर किंवा राख शंकू (Cinder or Ash cone)
- संमिश्र शंकू (Composite cone)

- परजीवी शंकू / पार्श्व शंकू / साहसी शंकू (Parasite cone/ lateral cone/adventive cone)
- क्षारीय लाव्हा शंकू (Basic lava cone)
- आम्लीय लाव्हा शंकू (Acid lava cone)
- लाव्हा घुमट (Lava dome)
- ज्वालामुखी मान (Volcanic neck)

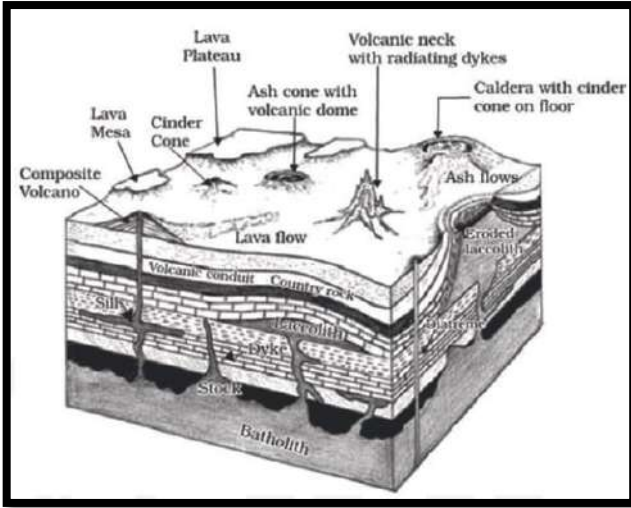
(ii) खोलगट भू-रूपे (Depressed Landforms):

- क्रेटर आणि क्रेटर सरोवरे (Craters and crater lakes)
- कॅल्डेरा आणि कॅल्डेरा सरोवर (Caldera and caldera lake)

(B) भेगीय उद्रेकातून (From Fissure Eruptions)

(i) लाव्हा पठार (Lava Plateau)

(ii) लाव्हा मैदान (Lava Plain)



ज्वालामुखी उद्रेकाचे धोकादायक परिणाम (Hazardous Effects)

ज्वालामुखी उद्रेकाचे मानवी जीवनावर आणि पर्यावरणावर खालील गंभीर परिणाम होतात:

१. गरम लाव्हाच्या प्रवाहामुळे आणि ज्वालामुखी पदार्थाच्या वर्षावामुळे मानवी जीवित आणि वित्तहानी होते.
२. ज्वालामुखी उद्रेक शेतीचे फार्म (agricultural farms) आणि कुरणे (pastures) नष्ट करतात, नद्या आणि सरोवरे बुजवून टाकतात तसेच जंगले जाळू आणि नष्ट करू शकतात.
३. प्रचंड प्रमाणात ज्वालामुखी पदार्थ, विशेषतः पायरोक्लास्टिक (pyroclastic) पदार्थ खाली पडल्यामुळे मानवी संरचना (human structures) नष्ट होतात. यामुळे वनस्पतींचा नाश होतो आणि नैसर्गिक जलप्रणाली (natural drainage

systems) विस्कळीत (disrupt) किंवा मार्ग बदलू (divert) शकतात.

४. विषारी वायूंच्या (poisonous gases) उद्रेकामुळे आरोग्याचा धोका (health hazard) निर्माण होऊ शकतो.
५. सल्फर आणि नायट्रोजन वायूंचे मोठ्या प्रमाणात उत्सर्जन झाल्यास आम्ल वर्षा (Acid Rain) होऊ शकते.
६. ज्वालामुखी उद्रेकातून मोठ्या प्रमाणात धूळ (dust) बाहेर पडते. यामुळे वातावरणात आर्द्रताशोषक केंद्रके (hygroscopic nuclei) वाढतात, ज्यामुळे खाली पडणाऱ्या ज्वालामुखी धूळ आणि राखेसह (ash) जोरदार पाऊस पडतो. यामुळे चिखलाचा प्रचंड प्रवाह (mudflow) निर्माण होतो.
७. ज्वालामुखी क्रिया भूकंप आणि त्सुनामीला जन्म देऊ शकतात.
८. यामुळे पृथ्वीचे आणि वातावरणाचे विकिरण संतुलन (radiation balance) बदलते. आकाशातील ज्वालामुखी धूळ आणि राखेची जास्त एकाग्रता (concentration) येणाऱ्या सूर्यप्रकाशाचे (incoming insolation) प्रमाण कमी करते आणि बाहेर पडणारे दीर्घ-तरंगीय पार्थिव विकिरण (outgoing long wave terrestrial radiation) अडवते.
९. ज्वालामुखी राख आणि धूळ दृश्यमानतेवर (visibility) परिणाम करतात आणि मार्गदर्शनात (navigation) अडथळा आणतात.

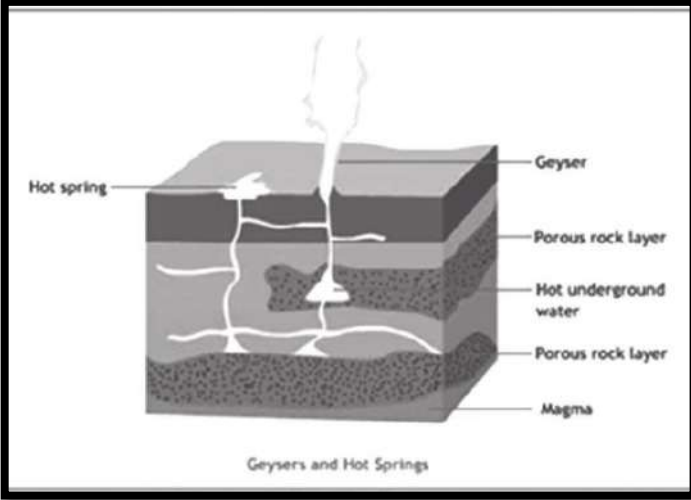
उष्ण पाण्याचे झरे आणि गीझर्स (Hot Springs and Geysers)

उष्ण पाण्याचे झरे म्हणजे भूऔष्णिक शक्तीने (geothermal heated) गरम झालेले भूजल (ground water) पृथ्वीच्या कवचातून बाहेर येणे होय. भूजल खाली जाते आणि शिलारस किंवा तप्त खडकांमुळे गरम होते. त्यानंतर हे गरम पाणी वर येते आणि उष्ण पाण्याचे झरे तयार होतात. आईसलँड (Iceland), जपान (Japan), हवाई (Hawaii) या प्रदेशात उष्ण पाण्याच्या झऱ्यांचे चांगले साठे आहेत.

गीझर्स (Geysers)

गीझर हा एक प्रकारचा उष्ण पाण्याचा झरा आहे, जो पाण्याची आणि वाफेची मधूनमधून (intermittent), गोंधळात टाकणारी (turbulently) उंच उडी (discharge) मारतो. जेव्हा शिलारस किंवा तप्त खडकांमुळे भूजल त्याच्या उत्कलनांकापेक्षा (boiling point) जास्त गरम होते, तेव्हा असे घडते. पाणी एका लहान आणि अरुंद वाहिनीतून (small and narrow vent) बाहेर येते, जी भूगर्भातील जलसाठ्याशी (underground aquifer) जोडलेली असते. न्यूझीलँड (New Zealand), युएसए (USA) मधील यलोस्टोन राष्ट्रीय उद्यान (Yellowstone National Park), आईसलँड येथे अनेक गीझर्स आहेत.

उष्ण पाण्याचे झरे आणि गीझर एकाच कारणामुळे तयार होतात. त्यांच्यातील एकमेव फरक हा आहे की, उष्ण पाण्याच्या झऱ्यांतून पाण्याची सतत (continuous) वाफ बाहेर पडते, तर गीझर्समधून पाण्याची मधूनमधून (intermittent) वाफ बाहेर पडते. साधारणपणे, उष्ण झरे आणि गीझर्समधून बाहेर येणाऱ्या पाण्याची तापमान मर्यादा 750 C ते 900 C च्या दरम्यान असते.



फ्युमरॉल्स (Fumaroles)

फ्युमरॉल म्हणजे एक वाहिनी (vent) आहे, ज्यातून वायू (gases) आणि पाण्याची वाफ (water vapour) बाहेर पडते. सक्रिय ज्वालामुखीमध्ये ज्वालामुखी पदार्थ बाहेर पडणे थांबल्यावर, वायू आणि वाफेचे उत्सर्जन सुरू होते. फ्युमरॉल कोणत्याही ज्वालामुखीच्या सक्रियतेची चिन्हे दर्शवतात. ज्वालामुखीचा उद्रेक थांबल्यानंतर शिलारस (magma) थंड आणि आकुंचन (contraction) पावल्यामुळे वायू आणि वाफ तयार होते. उदा. अलास्कातील कटमाई ज्वालामुखी (Katmai volcano of Alaska), अलास्कातील व्हॅली ऑफ टेन थाउजंड स्मोक्स (Valley of Ten Thousand Smokes in Alaska).

फ्युमरॉलमधून उत्सर्जित होणाऱ्या वाफेचे तापमान सुमारे 6450C असते. या वाफेमध्ये मुख्यतः कार्बन डायऑक्साइड, हायड्रोक्लोरिक आम्ल, हायड्रोजन सल्फाईड, नायट्रोजन, काही ऑक्सिजन आणि अमोनिया यांचा समावेश होतो. परंतु, उत्सर्जित होणाऱ्या एकूण वायूंपैकी सुमारे ९८ ते ९९% भाग पाण्याच्या वाफेचा असतो. सल्फर हा वायूसह उत्सर्जित होणारा सर्वात महत्त्वाचा खनिज आहे.

उष्ण पाण्याचे झरे, गीझर्स आणि फ्युमरॉल्सचे महत्त्व (Importance for Humans)

- त्यांच्याजवळ आढळणाऱ्या खनिजांना मोठे औषधी मूल्य आहे.
- जवळून बाहेर पडणारी खनिजे सहजपणे काढता येतात (उत्खनन करता येते). उदाहरणार्थ: यलोस्टोन राष्ट्रीय उद्यानात सल्फरचे निष्कर्षण (extraction) करणे.

- त्यांच्यातून बाहेर पडणाऱ्या उष्णता ऊर्जेचा उपयोग घरे आणि जलतरण तलाव (swimming pools) गरम करण्यासाठी, बॉयलरला वाफ (steam) पुरवण्यासाठी केला जाऊ शकतो. आईसलँड आपल्या एकूण उष्णतेपैकी सुमारे ८०% उष्णता उष्ण झरे आणि गीझर्समधून मिळवते.
- भू-औष्णिक ऊर्जा (geothermal energy) काढण्यासाठी ही आदर्श ठिकाणे आहेत. उदा. मणिकरण (Manikaran - हिमाचल प्रदेश) आणि पुगा व्हॅली (Puga valley - लडाख).
- आल्हाददायक भूस्वरूपे (Pleasing geographical features) थंड समशीतोष्ण प्रदेशात (cold temperate regions) पर्यटनाला प्रोत्साहन देतात.
- उष्ण झरे, गीझर्स आणि फ्युमरॉलमधून येणाऱ्या उष्णतेमुळे बर्फ वितळतो, ज्यामुळे आर्क्टिक देशांमध्ये (Arctic countries) शेती करणे शक्य झाले आहे.

चिखलाचा ज्वालामुखी (Mud Volcano)

सामान्य वैशिष्ट्ये (General Features)

- चिखलाचा ज्वालामुखी ही एक भूवैज्ञानिक निर्मिती (geological formation) आहे, जिथे चिखल (mud), पाणी आणि वायू पृष्ठभागावर बाहेर पडतात.
- खऱ्या ज्वालामुखींप्रमाणे (True volcanoes), ते लाव्हा किंवा शिलारस तयार करत नाहीत.
- भूभागाखालील दाबयुक्त वायू (pressurized gases) (मिथेन, CO₂, नायट्रोजन, हायड्रोजन सल्फाईड) आणि द्रव (fluids) यांच्यामुळे ही क्रिया घडते.
- त्यांच्या आकारात १ मीटरपेक्षा कमी ते १० किलोमीटरपेक्षा जास्त व्यास असलेली मोठी विविधता आढळते.

निर्मिती (Formation)

- जाड गाळाचे साठे (thick sedimentary deposits) (विशेषतः चिखलमय (clay)) असलेल्या प्रदेशात ते तयार होतात.
- ते अनेकदा क्षेपण विभाग (subduction zones), भूपट्ट विवर्तनिकीय सीमा आणि प्रस्तर भंगाच्या रेषांशी (fault lines) जोडलेले असतात.
- हायड्रोकॉर्बन क्रियाकलाप किंवा विवर्तनिकीय संपीडनामुळे (tectonic compression) भूगर्भात दाब तयार होतो.
- बाहेर पडणारे वायू आणि द्रव गाळाला वरच्या दिशेने ढकलतात, ज्यामुळे शंकूच्या (cone) किंवा घुमटाच्या (dome) आकाराचा ढिग (mound) तयार होतो.

वितरण (Distribution)

- ते जगभर आढळतात; १,००० हून अधिक ओळखले गेले आहेत.
- त्यांची प्रमुख केंद्रे येथे आहेत:
 - अझरबैजान (Azerbaijan - कॅस्पियन समुद्राचा प्रदेश) - याला "चिखलाच्या ज्वालामुखीची भूमी" म्हणून ओळखले जाते.
 - इंडोनेशिया (उदा. सिदोअर्जो "लुसी" चिखलाचा उद्रेक).
 - पाकिस्तान, इराण, त्रिनिदाद आणि इटली.
- खंडीय सीमांवर (continental margins) ते पाण्याखालीही आढळतात.

वैशिष्ट्ये (Characteristics)

- ते थंड चिखल किंवा गरम लगदा (hot slurry) बाहेर टाकू शकतात (तापमान खोली आणि वायूच्या दाबावर अवलंबून असते).
- चिखलाचा प्रवाह (Mudflows) काही दिवस ते दशकांपर्यंत टिकू शकतो.
- काही उद्रेक स्फोटक असतात, जे चिखलाला दहा मीटर उंचीपर्यंत फेकतात.
- मिथेनचा संपर्क झाल्यास अनेकदा आगीच्या ज्वाला (fire flames) सोबत येतात.
- काही चिखलाचे ज्वालामुखी खारट पाणी (saltwater) आणि खनिज समृद्ध द्रव बाहेर टाकतात, ज्यामुळे चिखलाचे तलाव आणि ओसाड भूभाग (barren landscapes) तयार होतात.

पर्यावरणीय आणि वैज्ञानिक महत्त्व (Environmental & Scientific Importance)

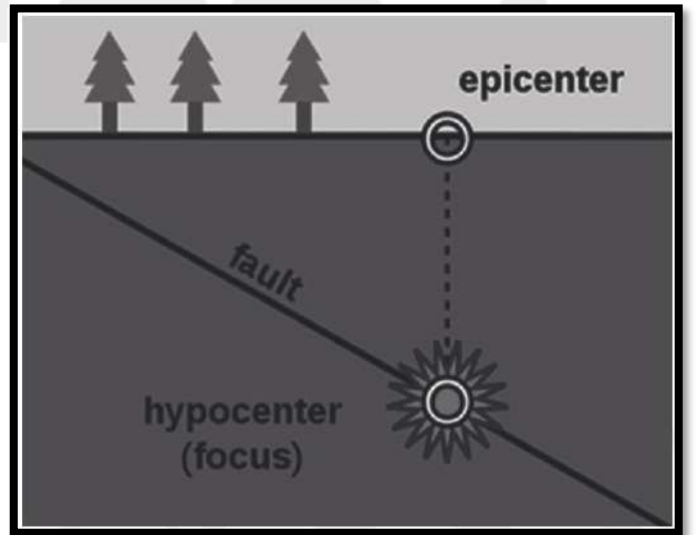
- ते भूगर्भातील तेल आणि वायू साठ्यांची (oil and gas deposits) माहिती देतात.
- भूकंपीय आणि विवर्तनिकीय (tectonic) क्रियांचा अभ्यास करण्यासाठी ते महत्त्वाचे आहेत.
- मिथेनवर पोसल्या जाणाऱ्या अद्वितीय सूक्ष्मजीव परिसंस्थेला (unique microbial ecosystems) ते आधार देतात.
- काहीवेळा त्यांना नैसर्गिक धोका मानले जाते - उद्रेक गावे किंवा शेती गाडू शकतात.
- इंडोनेशियातील लुसी (Lusi) चिखलाच्या ज्वालामुखीमुळे (२००६) हजारो लोकांना विस्थापित व्हावे लागले.

भूकंप (Earthquakes)

भूकंप हे पृथ्वीच्या कवचातील ऊर्जेच्या अचानक मुक्ततेमुळे (sudden release of energy) होणारे परिणाम आहेत, ज्यामुळे व्यवस्थाबद्ध लाटा (systematic waves) निर्माण होतात. भूकंपाचे मुख्य कारण पृथ्वीच्या कवचाच्या कोणत्याही भागात होणारे असंतुलन (disequilibrium) हे आहे. असे असंतुलन ज्वालामुखीचा उद्रेक, प्रस्तरभंग आणि वलीकरण (faulting and folding), वरच्या बाजूला आणि खालच्या बाजूला हालचाल (upwarping and downwarping), भूगर्भात वायूचे प्रसरण आणि आकुंचन, जलीय दाब (hydrostatic pressure), भूपट्टांची हालचाल किंवा मानवनिर्मित क्रियाकलाप यामुळे होऊ शकते.

भूकंपाचे मूळ ठिकाण याला केंद्रापसारक बिंदू (Focus) किंवा हायपोसेंटर (Hypocenter) म्हणतात. हे नेहमी पृथ्वीच्या आत स्थित असते, परंतु त्याची खोली वेगवेगळी असते. या केंद्रापसारक बिंदूच्या खोलीनुसार, भूकंपांचे उथळ (shallow) आणि खोल (deep) भूकंप असे विभाजन केले जाते. पृष्ठभागावरील ठिकाण (Epicentre): पृष्ठभागावर जे ठिकाण केंद्रापसारक बिंदूला लंब (perpendicular) असते आणि जिथे भूकंपीय लाटा (seismic waves) सर्वात प्रथम नोंदविल्या जातात, त्याला उपकिंद्र (Epicentre) म्हणतात.

भूकंपाने निर्माण झालेल्या लाटांना भूकंपीय लाटा म्हणतात, ज्या भूकंपमापकावर (seismograph) नोंदविल्या जातात (याचे स्पष्टीकरण 'पृथ्वीचे अंतरंग' या शीर्षकाखाली दिले आहे). भूकंपाची तीव्रता (Magnitude), म्हणजेच मुक्त झालेली ऊर्जा, रिश्टर स्केलवर (Richter scale) मोजली जाते. तर भूकंपाची तीव्रता (Intensity), म्हणजेच झालेले नुकसान, मर्कल्ली स्केलवर (Mercalli scale) मोजली जाते.



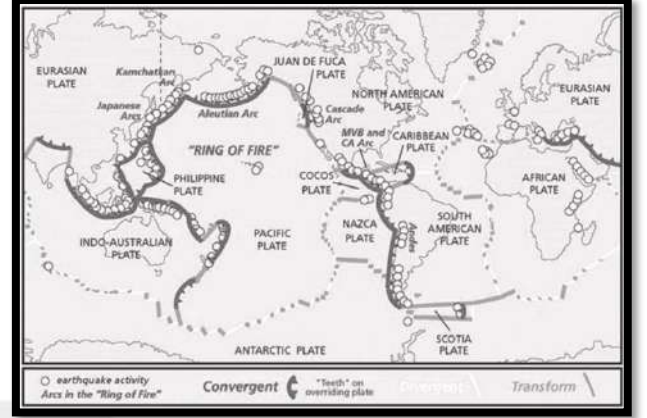
भूकंपाची कारणे (Causes of Earthquake)

१. **ज्वालामुखी क्रिया (Volcanicity):** ज्वालामुखी उद्रेकादरम्यान बाहेर येणारा तेलाचा आणि वायूचा स्फोटक प्रवाह (explosive oil and gas) कवचाच्या पृष्ठभागाला मोठ्या बळाने खालून ढकलतो आणि भूकंपाचे धक्के (tremors) निर्माण करतो.
२. **प्रस्तरभंग आणि रीडचा स्थितिस्थापक प्रत्याघात सिद्धांत (Faulting and Elastic Rebound Theory of Reid):** अंतर्गतजन्य बळांमुळे होणाऱ्या क्षैतिज (horizontal) आणि उभ्या (vertical) हालचालींमुळे विवंगने (faults) तयार होतात, ज्यामुळे समस्थितिक असंतुलन (isostatic disequilibrium) होते आणि भूकंप होतात.
३. **जलीय घटक (Hydrostatic Factors) आणि मानवी क्रिया:** दाब आणि मानवनिर्मित क्रियाकलाप जसे की खोल खाणकाम (deep mining), भूजल आणि तेलाचे पंपिंग, जलसाठे आणि सरोवरे यांसारख्या जलभागांचे बांधकाम (याला जलाशय प्रेरित भूकंपीयता - Reservoir Induced Seismicity असेही म्हणतात) इत्यादी.
४. **भूपट्ट विवर्तनिकीय क्रिया (Plate Tectonics):** हा सिद्धांत ज्वालामुखी आणि भूकंपांबद्दल सर्वात तर्कसंगत माहिती पुरवतो. तिन्ही प्रकारच्या भूपट्ट सीमांवर (अपसारी, अभिसारी, रूपांतरित) भूकंप घडतात, परंतु त्यांची तीव्रता वेगवेगळी असते.

भूकंपाचे जागतिक वितरण (Global Distribution of Earthquakes)

- वर नमूद केल्याप्रमाणे, भूकंप भूपट्ट सीमांवर घडतात, परंतु त्यांची तीव्रता वेगवेगळी असते. अभिसारी भूपट्ट सीमांजवळ होणारे भूकंप अत्यंत उच्च तीव्रतेचे असतात, तर अपसारी भूपट्ट सीमांजवळ होणारे भूकंप मध्यम तीव्रतेचे असतात.
- ज्वालामुखींप्रमाणेच, भूकंप देखील पृथ्वीच्या कमकुवत आणि समस्थितिक दृष्ट्या विस्कळीत (isostatically disturbed) क्षेत्रांशी जोडलेले आहेत.
- जगातील बहुतेक भूकंप खालील क्षेत्रांमध्ये घडतात:
 १. नवीन वली पर्वतांचे क्षेत्र (The zone of young fold mountains)
 २. विवंगन (faulting) आणि विखंडनाचे (fracturing) क्षेत्र
 ३. खंडे आणि महासागर यांच्या संगम क्षेत्राचे प्रतिनिधित्व करणारे क्षेत्र
 ४. सक्रिय ज्वालामुखींचे क्षेत्र
 ५. विविध भूपट्ट सीमांजवळील क्षेत्र (The zone along different plate boundaries): सुमारे ६५% भूकंप परि-पॅसिफिक पट्ट्यात (circum-Pacific

belt) घडतात. २१% भूकंप मध्य-खंडीय पट्ट्यात (mid continental belt) घडतात. उर्वरित ५% भूकंप भूपट्टांच्या अंतरंगात (interiors of plates) घडतात.



भूकंपाचे धोकादायक परिणाम (Hazardous Effects of Earthquake)

१. जीवित आणि वित्तहानी (Loss of life and property)
२. उताराचे असंतुलन (Slope instability), उताराचे अपयश (slope failure) आणि भूस्खलन (landslide)
३. शहरे आणि शहरांच्या पायाभूत सुविधांचे नुकसान (Damage to town and cities infrastructure)
४. भू-पृष्ठभागाची विकृती (Deformation of ground surface)
५. घरे, खाणी आणि कारखान्यांमध्ये आग (Fires) (स्वयंपाकाच्या गॅस सिलिंडर उलटणे, जिवंत विजेच्या तारांचा संपर्क, स्फोटक भट्ट्या आणि इतर उपकरणांचे मंथन यामुळे)
६. नदीचा प्रवाह थांबल्यामुळे होणारे अचानक येणारे पूर (Flash floods)
७. त्सुनामी (Tsunamis)

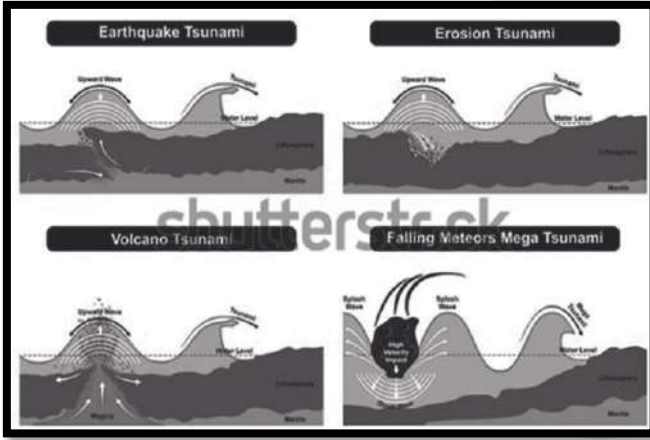
त्सुनामी (Tsunami)

त्सुनामी हा एक जपानी शब्द आहे, ज्याचा अर्थ 'बंदर लाटा' (harbour waves) असा आहे. त्सुनामी म्हणजे पाण्याच्या मोठ्या प्रमाणातील विस्थापनामुळे (displacement of a large volume of water) जलस्रोतामध्ये (पाण्याच्या भागात), सामान्यतः महासागरात किंवा मोठ्या सरोवरात निर्माण होणाऱ्या लाटांची मालिका होय.

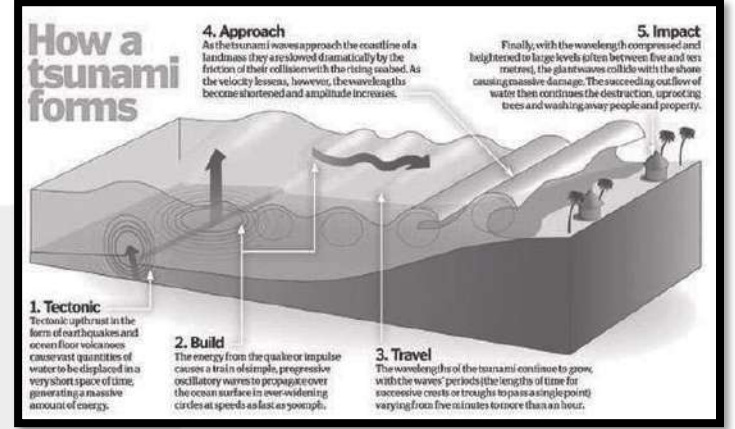
त्सुनामीची कारणे (Causes of Tsunami)

त्सुनामी खालील प्रमुख कारणांमुळे उद्भवते:

- पाण्याखालील सागरी भूकंप (Underwater marine earthquake) किंवा किनारपट्टीजवळील भूकंप.
- सागरी भूखलन (Submarine landslides) किंवा किनारपट्टीजवळील भूखलन.
- सागरी ज्वालामुखी (Submarine volcano) किंवा किनारपट्टीजवळील ज्वालामुखी.
- बाह्य-ग्रहीय वस्तूची टक्कर (Impact of extra terrestrial collision) जसे की उल्कापात (meteorite).
- मानववंशजन्य क्रियाकलाप (Anthropogenic activities) जसे की अणु चाचण्या (nuclear testing), मोठा स्फोट (massive explosion), समुद्रतळावर स्फोट करणे इत्यादी.



- जस्त वाढू शकते आणि त्यांचा वेग ३०-५० किमी/तास पर्यंत कमी होतो.
- ऊर्जा हस्तांतरण (Energy Transfer): त्सुनामी किनारपट्टीकडे प्रवास करताना तिचा वेग कमी होतो. परिणामी, त्सुनामीचा गतीज ऊर्जा (kinetic energy) कमी होते आणि वाढत्या लाटांच्या उंचीच्या रूपात स्थितिज ऊर्जा (potential energy) वाढते.
- धावन (Run-up): त्सुनामी लाटेची तिच्या तळापासूनची एकूण उंची याला धावन (Run-up) असे म्हणतात.



त्सुनामीचे धोकादायक परिणाम (Hazardous Effects of Tsunami)

- मानवी जीवित आणि वित्तहानी.
- पूर (Flooding) आणि पिण्याच्या पाण्याचे दूषितीकरण (contamination), ज्यामुळे जलजन्य रोग (waterborne diseases) जसे की मलेरिया आणि डेंग्यू होऊ शकतात.
- भू-भौगोलिक बदल (Physiological changes): उदाहरणार्थ: २००४ च्या त्सुनामीदरम्यान, सुमात्रा किनारपट्टीजवळील अनेक लहान बेटे नाहीशी झाली (disappeared).
- पृथ्वीच्या अक्षावर परिणाम (Impact on Earth's Axis): त्सुनामीच्या रूपात येणाऱ्या प्रचंड पाण्याच्या वस्तुमानाचा (huge water mass) परिणाम पृथ्वीला तिच्या अक्षावर डोलण्यास (wobble on its axis) लावतो. याचा पृथ्वीच्या गतीवर परिणाम होतो. उदाहरणार्थ: २०११ च्या जपानमधील त्सुनामीमुळे पृथ्वी ३ मायक्रोसेकंद अधिक वेगाने फिरू लागली.
- मातीची सुपीकता कमी होणे आणि किनारपट्टीच्या भागातील कृषी उत्पादनात घट.
- सागरी जीवसृष्टी आणि प्रवाळांवर (corals) प्रतिकूल परिणाम.

त्सुनामीची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Tsunami)

- खोल महासागरात (In deep oceans): त्सुनामी लाटांची शिखरापासून शिखरपर्यंतची लांबी (length from crest to crest) शेकडो मैलांची असते. त्यांची उंची (amplitude) खूप कमी (२-४ मीटर) असते.
- वेग (Velocity): त्या खोल महासागरात मोठ्या वेगाने प्रवास करतात, कधीकधी त्यांचा वेग ९०० किमी/तास पेक्षा जास्त असतो.
- शोधण्यास कठीण (Difficult to Detect): त्यांची शेकडो मैलांची लांबी आणि खूप कमी उंचीमुळे खोल महासागरात त्सुनामी शोधणे खूप कठीण जाते.
- उथळ पाण्यातील बदल (Changes in Shallow Waters): जशी त्सुनामी उथळ पाण्याजवळ येते, तसतसा तळभागाच्या परिणामामुळे (feeling of bottom effect) लाटांचा वेग कमी होतो आणि परिणामी लाटेची उंची वाढते. या एकत्रित घटनेला उथळीचा परिणाम (Shoaling Effect) म्हणून ओळखले जाते.
- किनारपट्टीजवळचे स्वरूप (Near the Coast): उथळीच्या परिणामामुळे, त्सुनामी लाटांची उंची ३० मीटरपेक्षा

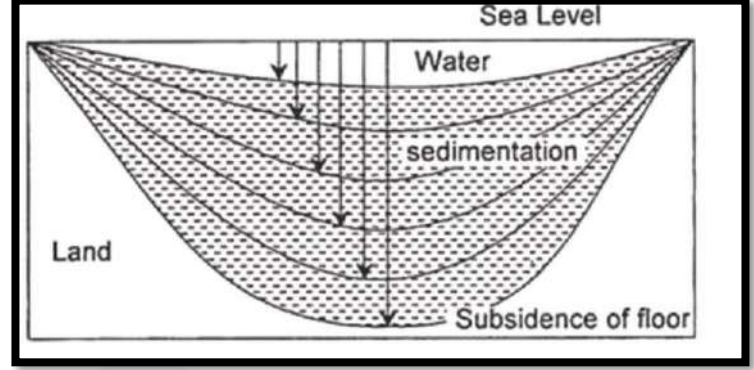
प्रस्तावना (Introduction)

खंडे (Continents) आणि महासागर खोऱ्यांच्या (Ocean Basins) भूवैज्ञानिक इतिहासावरून असे दिसून येते की, सुरुवातीला जगामध्ये दोन महत्त्वाची वैशिष्ट्ये होती: ती म्हणजे ताठर भूभाग (Rigid Masses) आणि भूअभिनती (Geosynclines). ताठर भूभाग (Rigid Masses) हे वर्तमान खंडांचे प्राचीन केंद्रक (ancient nuclei) दर्शवतात. हे भूभाग दीर्घ कालावधीसाठी स्थिर राहिले आणि ते पाण्याच्या गतिशील क्षेत्रांनी (mobile zones of water) वेढलेले होते, ज्यात मोठ्या प्रमाणावर गाळाचे संचयन (extensive sedimentation) झाले. पाण्याच्या याच गतिशील क्षेत्रांना भूअभिनती (Geosynclines) म्हणून ओळखले जाते. भूअभिनती आता संपीडन बळांमुळे (compressive forces) वली पर्वत रांगांमध्ये (fold mountain ranges) रूपांतरित (converted) झाल्या आहेत.

वली पर्वतांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Fold Mountains)

वर्तमान वली पर्वतांमध्ये आणि भूअभिनतीमध्ये काही समानता आढळतात, ज्यामुळे वली पर्वतांची निर्मिती भूअभिनतीमधून झाली या दाव्याला समर्थन मिळते. वली पर्वतांची काही वैशिष्ट्ये खालीलप्रमाणे आहेत:

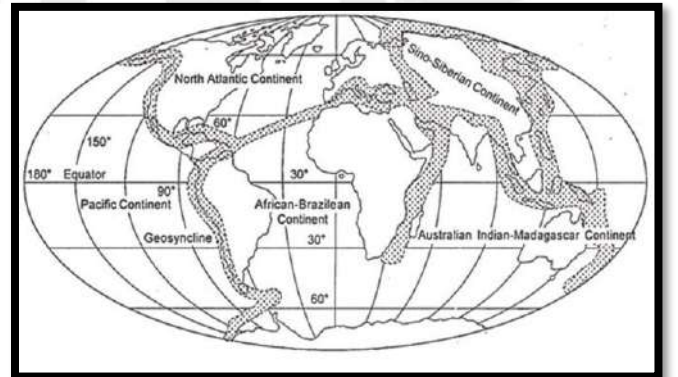
- वली पर्वत हे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील सर्वात तरुण पर्वत आहेत.
- ते बलवान संपीडन बळांमुळे (strong compressive forces) गाळाच्या खडकांमध्ये वली (folding) पडल्यामुळे तयार झाले आहेत आणि म्हणूनच वली पर्वतांमध्ये जीवाश्म (fossils) आढळतात.
- वली पर्वतांमध्ये आढळणारे जीवाश्म सागरी (marine) उत्पत्तीचे आहेत, विशेषतः अशा सजीवांचे जे केवळ उथळ पाण्यात किंवा उथळ समुद्रात (shallow sea) जन्म शकतात.
- वली पर्वत मोठ्या लांबीपर्यंत (greater lengths) पसरलेले असतात, परंतु त्यांची रुंदी त्यांच्या लांबीपेक्षा खूप कमी असते. उदाहरणार्थ: हिमालयाची लांबी सुमारे २४०० किमी आहे, तर त्याची कमाल रुंदी फक्त ४०० किमी आहे.
- वली पर्वत साधारणपणे आढळतात, ज्यात एक बाजू अवतल उतार (concave slope) आणि दुसरी बाजू बहिर्वक्र उतार (convex slope) असलेली असते.
- वली पर्वत सामान्यतः खंडांच्या त्या कडांवर (margins) आढळतात, ज्यांची दिशा महासागराकडे असते. वली पर्वतांची ही सर्व वैशिष्ट्ये पाहता, असे म्हणता येईल की वली पर्वतांची निर्मिती लांब, अरुंद आणि उथळ समुद्रांमध्ये (shallow seas) झाली आहे.



भूअभिनतीची सामान्य वैशिष्ट्ये (General Characteristics of Geosynclines)

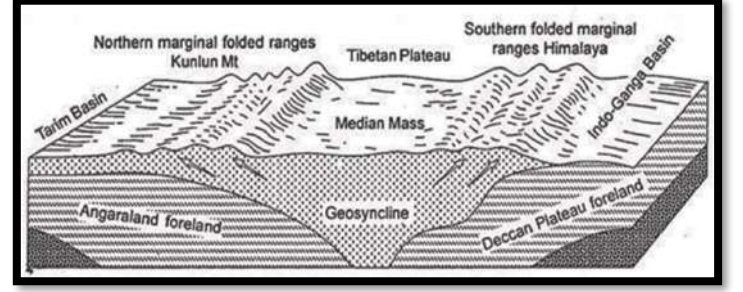
- भूअभिनती (Geosynclines) हे लांब, अरुंद आणि उथळ पाण्याची खोलगट जागा (depressions) असून, त्यांची वैशिष्ट्ये सतत गाळाचे संचयन (continuous sedimentation) आणि अधोगमन/खचणे/खोलीकरण (subsidence) ही आहेत.
- पृथ्वीच्या हालचाली (earth movements) आणि भूवैज्ञानिक प्रक्रियांमुळे भूअभिनतीची जागा, आकार, परिमाण (dimension) आणि विस्तार लक्षणीयरीत्या बदलले आहेत.
- भूअभिनती हे पाण्याचे गतिशील क्षेत्र (mobile zones of water) आहेत.
- त्यांच्या सीमा साधारणपणे ताठर भूभागांनी (rigid masses) वेढलेल्या असतात, ज्यांना फोरलँड्स (Forelands) असे म्हणतात.

वली पर्वते आणि भूअभिनती यांच्या गुणधर्मांची तुलना केल्यास, असे म्हणता येते की भूअभिनती ही पर्वतांची पाळणे (cradles of mountains) होती.



हॉल (Hall) आणि डाना (Dana) यांना भूअभिनतीची संकल्पना मांडण्याचे श्रेय दिले जाते. त्यांचे जागतिक वितरण ई. हॉग (E. Haug) यांनी दिले, परंतु हॉगची संकल्पना हॉल आणि डाना यांच्यापेक्षा किंचित वेगळी आहे. हॉल आणि डाना यांच्या मते, भूअभिनती हे तुलनेने उथळ पाण्याची खोलगट जागा आहेत. हॉग

यांच्या मते, भूअभिनती हे तुलनेने खोल पाण्याच्या जागा आहेत आणि त्या त्यांच्या रुंदीपेक्षा खूप जास्त लांब आहेत. हॉगने जगाचा पुराजगत् भूवैज्ञानिक नकाशा (Paleogeographical map) तयार केला आणि पुढे असे गृहित धरले की, वर्तमान पर्वतांची जागा पूर्वी लांब आणि तुलनेने खोल भूअभिनतींनी व्यापलेली होती. त्याने जगाला खालीलप्रमाणे पाच ताठर भूभाग आणि चार भूअभिनतींमध्ये विभागले:



ताठर भूभाग (Rigid Masses - क्रॅटोजेन्स / Kratogens)

१. उत्तर अटलांटिक भूभाग (North Atlantic mass)
२. सायनो-सायबेरियन भूभाग (Sino Siberian mass)
३. आफ्रिका-ब्राझिलियन भूभाग (Africa Brazilian mass)
४. ऑस्ट्रेलिया-भारत-मादागास्कर भूभाग (Australia-India-Madagascar mass)
५. पॅसिफिक भूभाग (Pacific mass)

भूअभिनती (Geosynclines)

१. रॉकीज भूअभिनती (Rockies Geosynclines)
२. युरल भूअभिनती (Ural Geosynclines)
३. टेथिस भूअभिनती (Tethys Geosynclines)
४. परि-पॅसिफिक भूअभिनती (Circum-pacific Geosynclines)

भूअभिनतीची संकल्पना हॉल आणि डाना यांनी मांडली आणि हॉगने ती विकसित केली. परंतु त्यांनी भूअभिनतीमधून पर्वत निर्मितीच्या प्रक्रियेबद्दल कधीही चर्चा केली नाही. हा सिद्धांत कोबरने (Kober) दिला. कोबरच्या मते, भूअभिनती तीन टप्प्यांमधून गेली आहे आणि तिने वर्तमान वली पर्वतांना जन्म दिला आहे.

(i) शिलाजनन (Lithogenesis):

- हा भूअभिनती (orogen) तयार होण्याचा आणि त्यानंतर गाळाचे संचयन आणि अधोगमन (subsidence) होण्याचा टप्पा आहे.

(ii) पर्वतन (Orogenesis):

- या टप्प्यात दोन्ही ताठर भूभाग (कॅटोजेन / foreland) एकमेकांकडे सरकण्यास (moving towards each other) सुरुवात करतात. यामुळे मध्यवर्ती भूभाग (median mass / zwi schengebirge) आणि समांतर रांगा (parallel ranges / randketten) यांना जन्म मिळतो.

(iii) ग्लिप्टोजेनेसिस (Gliptogenesis):

- हा पर्वतांच्या हळूहळू उंची वाढण्याचा (gradual rise) आणि त्यानंतर त्यांच्या अनाच्छादनाचा (denudation) टप्पा आहे.

खडकांच्या जागीच विखंडन (disintegration) आणि विघटन (decomposition) होण्याच्या प्रक्रियेला सामान्यतः विदारण (Weathering) म्हणतात. विदारण प्रक्रियेत वाहक घटक (transporting agent) समाविष्ट नसतो. ही एक स्थितिक प्रक्रिया (static process) आहे. विदारण आणि अपक्षरण (Erosion) यातील मुख्य फरक म्हणजे अपक्षरण प्रक्रियेत वाहक घटकाची उपलब्धता असते.

विदारणावर नियंत्रण ठेवणारे घटक (Controlling Factors of Weathering)

- खडकाची रचना आणि संरचना (Composition and Structure of Rocks): खनिज रचना (Mineral composition), संधी प्रणाली (joint patterns), स्तरीय रचना (layering system), वलीकरण इत्यादी घटकांचा विदारणाच्या स्वरूप आणि तीव्रतेवर मोठा परिणाम होतो. उदाहरणार्थ: कार्बोनेट खडक (अधिक विद्राव्य खनिजे असलेले) रासायनिक विदारणाने (chemical weathering) सहज प्रभावित होतात. उत्तम संधी असलेले खडक (Well jointed rocks) यांत्रिक विखंडनास (mechanical disintegration) अधिक बळी पडतात. क्षैतिज थर (horizontal beds) असलेले खडक सूर्यप्रकाशाच्या विदारणास (insolation weathering) कमी बळी पडतात, तर उभे थर (vertical beds) असलेले खडक जास्त बळी पडतात.
- जमिनीच्या उताराचे स्वरूप (Nature of Ground Slope): जमिनीचा उतार यांत्रिक विखंडनावर परिणाम करतो. तीव्र उतारावर यांत्रिक विखंडनाचा वेग जलद असतो, तर मंद उतारावर तो हळू असतो.
- हवामान (Climate): हा सर्वात प्रभावी घटक आहे. उदाहरणार्थ: चुनखडी (limestone) दमट हवामानात सहज विदारित होते, पण उष्ण आणि शुष्क हवामानात ती प्रतिरोधक बनते. खडकांचे यांत्रिक विखंडन समशीतोष्ण आणि ध्रुवीय प्रदेशांपेक्षा उष्णकटिबंधीय आणि अर्ध-शुष्क प्रदेशात अधिक प्रभावी असते. ऋतुमानातील बदलांचाही विदारण प्रक्रियेवर परिणाम होतो. उदाहरणार्थ, मान्सून प्रदेशात कोरड्या हंगामात यांत्रिक विदारण वेगाने होते, तर पावसाळ्यात रासायनिक विदारण वेगाने होते.
- वनस्पतींचा प्रभाव (Floral Effects): वनस्पती विदारण प्रक्रियेवर दोन प्रकारे परिणाम करतात: कधीकधी वनस्पती त्यांच्या मुळांद्वारे खडकांना एकत्र बांधून ठेवतात आणि त्यांचे विदारण आणि अपक्षरण होण्यापासून संरक्षण करतात. परंतु, कधीकधी मुळांच्या प्रवेशामुळे खडक कमकुवत होतात आणि त्यांचे अनेक तुकड्यांमध्ये विभाजन होते.

विदारणाचे कारक (Agents of Weathering)

(A) भौतिक किंवा यांत्रिक विदारणाचे कारक (Physical or Mechanical Weathering Agents):

- आर्द्रता आणि पाणी (Moisture and Water)
- दंव (Frost)
- सूर्यप्रकाश किंवा तापमान (Insolation or Temperature)
- वारा (Wind)

(B) रासायनिक विदारणाचे कारक (Chemical Weathering Agents):

- ऑक्सिजन (Oxygen)
- हायड्रोजन (Hydrogen)
- कार्बन डायऑक्साइड (Carbon Dioxide)

(C) जैविक विदारणाचे कारक (Biological Weathering Agents):

- वनस्पती (Flora)
- प्राणी (Fauna)
- मानववंशजन्य क्रियाकलाप (Anthropogenic activities)

विदारण प्रक्रिया (Weathering Processes)

(A) भौतिक किंवा यांत्रिक विदारण (Physical or Mechanical Weathering):

- यामुळे खडकांचे मोठे ठोकळे (big blocks) आणि दगड (boulders) यात विखंडन आणि तुकडे होतात.
- तापमान बदलामुळे ठोकळ्यांचे विखंडन (Block Disintegration due to Temperature Change): हे साधारणपणे स्फटिकी अग्निजन्य खडकांवर (crystalline igneous rocks) घडते, जे तापमान बदलामुळे जास्त प्रभावित होतात. गाळाचे खडक तापमानामुळे सर्वात कमी प्रभावित होतात. हे विदारण उष्ण आणि शुष्क प्रदेशात होते, जिथे दैनिक तापमान श्रेणी खूप जास्त असते. दिवसा खडकांचे पृष्ठभाग गरम होतात, ज्यामुळे त्यांचा बाह्य थर प्रसरण पावतो. रात्री तापमान कमी झाल्यामुळे खडक थंड होतात, ज्यामुळे बाह्य थर आकुंचन पावतो. प्रसरण आणि आकुंचनाच्या वारंवारतेमुळे ताण आणि दाब निर्माण होतो, ज्यामुळे खडकांमध्ये भेगा (cracks) पडतात. या भेगांच्या बाजूने खडकांचे तुकडे पडून विदारण होते.

२. तापमान बदलामुळे कणमय विखंडन (Granular Disintegration due to Temperature Change):

ही प्रक्रिया ठोकळ्यांच्या विखंडनाप्रमाणेच आहे. जर खडक भरड कणांचे (coarse grained) असतील आणि वेगवेगळ्या रंगांचे असतील, तर ते सूर्यप्रकाश (insolation) वेगवेगळ्या प्रकारे शोषून घेतात. त्यामुळे एकाच खडकाचे वेगवेगळे भाग भिन्न-भिन्न प्रकारे प्रसरण आणि आकुंचन पावतात. यामुळे खडकांमध्ये ताण निर्माण होतो आणि त्यांचे लहान कणांमध्ये विखंडन होते.

३. पाऊस आणि उष्णतेमुळे तुकडे होणे (Shattering due to Rain Shower and Heat):

या प्रक्रियेत, उष्ण हवामानाच्या प्रदेशात, विशेषतः गरम वाळवंटात, अचानक पडणाऱ्या पावसाच्या सरींमुळे खडकांचे बाह्य गरम कवच (outer heated shells) तुकडे-तुकडे होते.

४. दंवमुळे ठोकळ्यांचे विखंडन (Block Disintegration due to Frost):

खडकांच्या छिद्रांमध्ये (rock pores) आणि भेगांमध्ये (crevices) साठलेल्या पाण्याचे गोठणे (freeze) आणि वितळणे (thaw) यामुळे खडक दगडांमध्ये विखंडित होतात. आलटून पालटून गोठणे आणि वितळणे यामुळे पाण्याच्या थेंबाचे घनफळ सुमारे १०% वाढू शकते. यामुळे ताण निर्माण होतो, ज्यामुळे खडकांचे विखंडन होते. या प्रक्रियेला दंव विदारण (frost weathering) किंवा गोठण-खंडन (conglifraction) असेही म्हणतात.

५. तापमान आणि वाऱ्यामुळे अपपर्णन/सोलणे (Exfoliation due to Temperature and Wind):

यात उष्ण आणि अर्ध-शुष्क प्रदेशात आणि मान्सून भूभागात उष्णता आणि वाऱ्याच्या एकत्रित क्रियेमुळे खडकांचे समकेंद्री कवच (concentric shells) सोलले (peeling) जाते. हे स्फटिकी खडकांमध्ये अधिक सामान्य आहे. याला कांदा विदारण (onion weathering) असेही म्हणतात.

६. भारमुक्ततेमुळे अपपर्णन (Exfoliation due to Unloading):

भारमुक्तता (Unloading) किंवा खडकातील ताण कमी होणे (release of stress in a rock) यामुळे प्रसरण संधी (expansion joints) तयार होतात, ज्यामुळे अपपर्णन होऊ शकते. वरील खडकांचा दाब कमी झाल्यावर खालील खडक उघडकीस येतो, तेव्हा ताण कमी होतो. या प्रक्रियेला शीटिंग (sheeting) असेही म्हणतात.

(B) रासायनिक विदारण (Chemical Weathering)

१. द्रावण (Solution): याला रासायनिक विदारणाचा पहिला टप्पा मानले जाते. द्रावण प्रक्रिया खडकांचे स्वरूप आणि त्यांची विद्राव्यता (solubility) यावर अवलंबून असते. तसेच ती तापमान, पाण्यातील कार्बन

डायऑक्साइडचे प्रमाण आणि द्रावणाच्या pH वर अवलंबून असते. चुनखडी (Limestones) द्रावण प्रक्रियेसाठी अधिक बळी पडते. जेव्हा पावसाचे पाणी वातावरणातील कार्बन डायऑक्साइडमध्ये मिसळते, तेव्हा ते सक्रिय द्रावक (active solvent) बनते आणि जेव्हा ते चुनखडीच्या संपर्कात येते, तेव्हा ती विरघळते. चुनखडीची द्रावण प्रक्रिया अद्वितीय कार्स्ट भूस्वरूप (karst topography) निर्माण करते.

२. ऑक्सिडायजेशन (Oxidation): ही ऑक्सिजनची धातूशी होणारी प्रतिक्रिया असून, त्यातून ऑक्साइड तयार होतात. उदाहरणार्थ: जेव्हा वातावरणातील ऑक्सिजन मिसळलेले पाणी लोहयुक्त खडकांच्या (iron bearing rocks) संपर्कात येते, तेव्हा लोहाचे ऑक्सिडायजेशन होऊन फेरस ऑक्साइड तयार होते आणि पुढे फेरस ऑक्साइडचे ऑक्सिडायजेशन होऊन फेरिक ऑक्साइड तयार होते, जो म्हणजेच गंज (rust) होय.

३. कार्बोनेशन (Carbonation): ही कार्बोनेट किंवा बायकार्बोनेट आयनांची खनिजांशी होणारी प्रतिक्रिया आहे, ज्यामुळे पाण्यात विरघळणारे उत्पादन (water soluble product) तयार होते.

४. जलीकरण (Hydration): ही खनिजांमध्ये पाण्याची भर पडण्याची प्रक्रिया आहे. पाणी शोषून घेतल्यानंतर, घनफळ वाढल्यामुळे खडक प्रसरण पावतात. यामुळे ताण निर्माण होतो आणि परिणामी खडकांचे विखंडन होते. या प्रक्रियेला कॅओलिनायझेशन (kaolinization) असेही म्हणतात.

५. जल अपघटन (Hydrolysis): ही खनिज आणि पाणी यांच्यातील रासायनिक प्रतिक्रिया आहे. सिलिकेट खनिजे या प्रक्रियेने सर्वाधिक प्रभावित होतात.

६. चिलेशन (Chelation): या प्रक्रियेत, धातवीय कॅटायन्स (metallic cations) हायड्रोकार्बन रेणूंमध्ये (hydrocarbon molecules) समाविष्ट केले जातात.

(C) जैविक विदारण (Biological Weathering)

१. प्राणिसृष्टीचे विदारण (Faunal Weathering): बिळात राहणारे प्राणी (Burrowing animals), अळी आणि इतर सजीव खडकांचे लहान तुकड्यांमध्ये हळूहळू विखंडन करण्यास मदत करतात. हे सजीव मातीचे पदार्थ वारंवार मिसळतात आणि यामुळे विदारण कारकांना नेहमी नवीन पदार्थ उघडकीस येतो.

२. वनस्पतीजन्य विदारण (Floral Weathering): मुळांच्या प्रवेशामुळे आणि त्यानंतरच्या मुळांच्या दाबामुळे (root pressure) भेगा रूंद होतात, ज्यामुळे खडकांचे विखंडन होते.

३. मानववंशजन्य विदारण (Anthropogenic Weathering): यात खाणकाम (mining), स्फोट

(blasting), उत्खनन (quarrying), मोठे स्फोट इत्यादी क्रियाकलापांचा समावेश होतो.

४. **जैव-रासायनिक विदारण (Biochemical Weathering):** सजीव वस्तू शारीरिक तसेच रासायनिक मार्गांनी विविध प्रक्रियांद्वारे खडकांचे विदारण करतात. उदा. कॅटायन रूट एक्सचेंज, द्रावण, चिलेशन, रसायनांवर जगणाऱ्या जिवाणूंचे (chemotropic bacteria) कार्य इत्यादी. गांडुळांसारखे बिळात राहणारे सजीव केवळ मातीचे विविध थर मिसळत नाहीत, तर त्यांच्या उत्सर्जनाद्वारे मातीत विविध रसायने मिसळतात, ज्यामुळे रासायनिक विदारण प्रक्रिया होते. त्याचप्रमाणे, मातीचे वातावरण मुळांच्या श्वसनामुळे मोठ्या प्रमाणात प्रभावित होते आणि वनस्पतींच्या उपस्थितीमुळे आर्द्रता (moisture) वाढते.

विदारणाचे महत्त्व (Importance of Weathering)

१. ही मृदा निर्मितीची आणि तिच्या समृद्धीची पहिली पायरी आहे.
२. खडकांच्या विखंडनातून विविध खनिजे जोडून मातीच्या समृद्धीस मदत करते.
३. यामुळे अपक्षरण प्रक्रिया सुरू होते (Leads to Erosional Processes).
४. विदारण पृष्ठभाग खाली आणते (lowers the surfaces) आणि भूरूपांच्या उत्क्रांतीत (evolution of landforms) आणि त्यांच्या बदलण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावते.

अपक्षरण (Erosion)

अपक्षरण ही एक प्रक्रिया आहे जी वस्तूंचे विखंडन (breaks down) करते. अपक्षरण म्हणजे खंडांचे आणि भू-रूपांचे विखंडन होणे.

भूमीचे विखंडन आणि विदारण करण्याच्या एकूण परिणामाला अनाच्छादन (Denudation) म्हणतात. अनाच्छादन ही अपक्षरणाची प्रक्रिया आहे. थोडक्यात, अपक्षरण ही एक भूवैज्ञानिक प्रक्रिया आहे, ज्यात भू-रूपे झिजतात (worn away) आणि अपक्षरणाच्या कारकांद्वारे (agents of erosion) वाहून नेली जातात.

अपक्षरण नियंत्रित करणारे घटक (Factors Controlling Erosion)

१. उतार (Gradient or Slope)
२. वाहकाचे प्रमाण (Volume of Agent)
३. अपक्षरण साधने (Tools of Erosion)

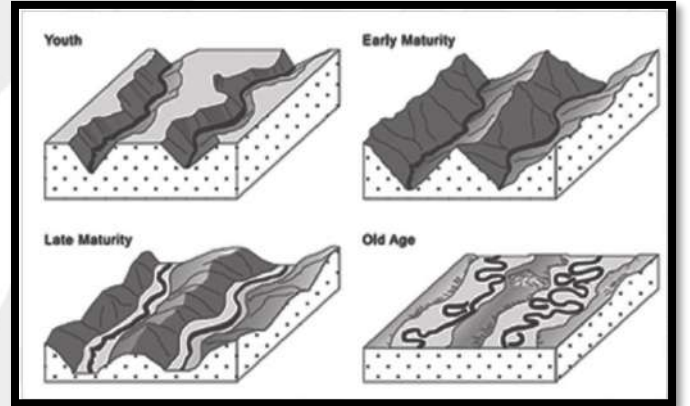
अपक्षरणाचे कारक (Agents of Erosion)

१. पाणी (Water): पृष्ठभागावरील आणि भूजल (surface and ground water) समाविष्ट.
२. वारा (Wind)
३. हिमनदी (Glaciers)
४. समुद्राच्या लाटा (Sea Waves)

अपक्षरणाचे प्रकार (Types of Erosion)

१. उभ्या दिशेने अपक्षरण (Vertical Erosion)
२. पार्श्व अपक्षरण (Lateral Erosion)
३. शीर्ष अपक्षरण (Headward Erosion)

कोणत्याही कारकाद्वारे होणाऱ्या जास्तीत जास्त उभ्या अपक्षरणाची मर्यादा (maximum vertical erosion), ज्याच्या पलीकडे ते खाली जाऊ शकत नाही, तिला अपक्षरणाची मूळ पातळी (base level of erosion) म्हणून ओळखले जाते. समुद्र पातळीला अपक्षरणाची भव्य मूळ पातळी (grand base level of erosion) म्हणतात. याचा अर्थ समुद्र पातळीच्या खाली अपक्षरण



प्रक्रिया घडत नाही.

अपक्षरण चक्र (Cycle of Erosion)

अंतर्गतजन्य बळे (Endogenic forces) उभ्या अनियमितता (vertical irregularities) निर्माण करतात आणि बाह्यजन्य बळे (exogenic forces) त्या नष्ट करतात. निर्मिती आणि विनाश (creation and destruction) यांची ही अखंड प्रक्रिया संपूर्ण भूवैज्ञानिक कालखंडात (geological time) सतत चालू असते. निर्मिती नंतर विनाश होतो आणि विनाशानंतर पुन्हा निर्मिती होते. या प्रक्रियेला अपक्षरण चक्र म्हणून ओळखले जाते.

अपक्षरण चक्र म्हणजे एक असा कालखंड, ज्या दरम्यान उचललेला भूभाग (uplifted landmass) अनाच्छादन प्रक्रियांमुळे (denudational processes) रूपांतरित होतो आणि त्याचे रूपांतरण शेवटी सपाट (low featureless plain) अशा

जमिनीच्या रूपात होते, ज्याचे पुन्हा उत्थान (upliftment) होते. अपक्षरण चक्र तीन क्रमागत टप्प्यांतून (sequential periods) विकसित होते: (युवावस्था, प्रौढावस्था, जीर्णावस्था)

(१) युवावस्था (Youth):

- या टप्प्यात अपक्षरणाचा दर (rate of erosion) जास्त असतो आणि संचयन (deposition) जवळजवळ नसते.

(२) प्रौढावस्था (Maturity):

- या टप्प्यात अपक्षरणाचा दर कमी होत जातो आणि संचयनाचा दर वाढत जातो.

(३) जीर्णावस्था (Old):

- या टप्प्यात उभ्या दिशेने होणारे अपक्षरण (vertical erosion) जवळजवळ शून्य (nil) असते, पार्श्व अपक्षरण (lateral erosion) कमी प्रमाणात होते आणि संचयनाचा दर कमाल असतो.

समुद्र पातळीत वाढ (rising sea level) झाल्यामुळे मूळ पातळीत (base level) सकारात्मक बदल (positive change) होतो आणि यामुळे अपक्षरण चक्र पुढे सरकते. याउलट, समुद्र पातळीत घट (fall in the sea level) झाल्यामुळे मूळ पातळीत नकारात्मक बदल (negative change) होतो आणि यामुळे अपक्षरण चक्र मागे खेचले जाते. अपक्षरण चक्राच्या अशा मागे खेचल्या जाण्याला (pulling back) पुनरुज्जीवन (Rejuvenation) म्हणून ओळखले जाते.

पुनरुज्जीवनाशी संबंधित भूरूपे (Landforms Associated with Rejuvenation)

(मूळ पातळीत नकारात्मक बदल - Negative Change in Base Level)

- स्थलाकृतिक विसंगती (Topographic discordance)
- जोडीदार वेदिके (Paired terraces) (नदीच्या दोन्ही बाजूला एकाच उंचीवर असलेले सपाट भाग)
- दरीत दरी भूस्वरूप (Valley in valley topography)
- उचललेली पेनीप्लेन्स (Uplifted peneplains) (उचललेली जवळजवळ सपाट मैदाने)
- कोरीव विसर्प (Incised meanders) (उचललेल्या जमिनीतून खोलवर कापून काढलेले नागमोडी वळण)
- खंड बिंदू (Knick points) आणि खंड बिंदू धबधबे (knick point waterfalls)

मूळ पातळीतील सकारात्मक बदलांशी संबंधित भूरूपे (Landforms Associated with Positive Change in Base Level)

- रिया किनारे (Ria coasts) आणि मुखांची निर्मिती (formation of estuaries)
- पुरलेल्या दऱ्या किंवा प्रवाहां (buried valleys or channels) ची निर्मिती
- पूर मैदाने (floodplains) ची निर्मिती
- किनारपट्टीजवळ सागरी बेटांची (sea islands) निर्मिती आणि विकास

| घटक (Agent) | क्षरणाने निर्माण झालेल्या भूआकृती (Erosional Landforms) | संचयन भूमिचरना (Depositional Landforms) | क्षरणाची चक्रे (Cycle of Erosion) | | क्षरणातील सहभाग असलेली प्रमुख प्रक्रिया (Processes involved in erosion) | |
|---|---|--|--|---|---|--|
| नदीचे क्षरण चक्र / सामान्य क्षरण चक्र (Fluvial Cycle of Erosion / Normal Cycle of Erosion) - डब्ल्यू. एम. डेव्हिस (W. M. Davis) यांचा सिद्धांत | <ul style="list-style-type: none"> V-आकारातील दऱ्या खोऱ्या व कॅन्यन धबधबे व प्रवाहातील वेगवान पाणी भाग (rapids) रंध्रे (potholes) संरचनात्मक टेरेस / बेन्चेस मिअॅडर्स ऑक्स-बो तलाव (नाल-आकाराची सरोवरे) वृद्धावस्थेतील (Old Stage) अंतिम भू-आकार. (पेडिग्लेन्स व मोनेडनॉक्स) | गाळाचा/जलोढ पंखा (Alluvial fan), गाळाचे/जलोढ शंकू (Alluvial cones), Natural Levees नैसर्गिक बांध / तट, River delta नदीचा त्रिभुज प्रदेश, Arcuate delta धनुष्याकृती त्रिभुज प्रदेश, Bird-foot delta पक्षी-पाद त्रिभुज प्रदेश आणि Estuarine delta खाडी/मुखाकडील त्रिभुज प्रदेश, Flood Plains पूर मैदाने | अनुगामी प्रवाहांमुळे जलप्रवाह जाळे समृद्ध होणे (Abundance of consequent streams) अग्रभूमी अपक्षरण/उद्गम दिशेने होणारे प्रमुख अपक्षरण (Prominent headward erosion) उभ्या अपक्षरणातून दरीची खोली वाढणे (Valley deepening through vertical erosion) वृक्षाकृती जलप्रणाली/अपवाह प्रणाली (Dendritic drainage pattern) पात्र खळग्यांचे (Potholes) वेधन/निर्मिती (Pothole drilling) जास्तीत जास्त गतीज ऊर्जा (Maximum kinetic energy) | गाळाचे/जलोढ पंखे व शंकूची निर्मिती (Formation of alluvial fans and cones) प्रमुख/महत्त्वपूर्ण पार्श्ववर्ती (बाजूकडील) अपक्षरण (Prominent lateral erosion) U-आकाराच्या दऱ्या (U-shaped valleys) नागमोडी वळणे (Meanders) नैसर्गिक बांधारे (Natural levees) पूर मैदाने (Flood plains) नाल-मुखी सरोवरे (Ox-bow lakes) | अपक्षरण जवळजवळ थांबते आणि सर्वाधिक संचयन होते, जलवाहिनीचा उतार कमी होणे, जलप्रवाह मोठ्या क्षेत्रावर पसरणे, जलवाहिनीच्या प्रवाहामध्ये अडथळा निर्माण होणे, जलप्रवाहांमध्ये वेगाची घट होणे, त्रिभुज प्रदेश आणि त्रिभुज सरोवरांची निर्मिती, पेनिग्लेन्स आणि मोनेडनॉक्सची निर्मिती (शुष्क आणि अर्ध-शुष्क प्रदेशात) | विरघळणे (Solution) किंवा गंजणे (Corrosion) (रासायनिक अपक्षरण - रासायनिक विदारणासारखे), अपघर्षण (Abrasion) किंवा संकर्षण (Corrosion) (अपक्षरण साधनांच्या साहाय्याने दरीच्या भिंती आणि तळभागावरील सैल सामग्री बाजूला करणे), संघर्षण (Attrition) (अपक्षरण साधनांची स्वतःची यांत्रिक झीज), जलक्रिया/जल-दाब क्रिया (Hydraulic Action) (पाण्याच्या आघातामुळे होणारी झीज) |
| भूजल (Groundwater) आणि अपक्षरणाचे चक्र | <ul style="list-style-type: none"> Lapies - लेपिज (चुनखडीतील उथळ खाचा व खोबणी) Sink holes - सिंक होल्स / पडझड खड्डे Swallow holes - स्वॅलो होल्स (पाण्याचे गिळणारे खड्डे) Dolines - डोलाइन्स (वर्तुळाकार कार्ट खोलगट) Uvala - उवाला (मोठ्या प्रमाणातील संयुक्त डोलाइन) Polje - पोल्जे (विशाल सपाट कार्ट खोरे) Collapse Sinks - ढासळून पडलेले सिंक / कोसळलेले खड्डे Solution Pans - द्रवण पॅन्स / चुनखडीचे विरघळलेले सपाट तळ | गुहांमध्ये तयार होणाऱ्या सर्व प्रकारच्या साच्यांना एकत्रितपणे स्पेलिओथेम्स (Speleothems) असे म्हणतात. Travertine — टर्क्वर्टाईन Stalactites — स्टॅलेक्टाइट्स (छतापासून खाली लटकणारे साचे) Stalagmites — स्टॅलॅग्माइट्स (पायथ्यापासून वर वाढणारे साचे) Cave pillars — गुहेतील स्तंभ / खांब | पृष्ठीय जलनिचरा (Surface drainage) सुरू झाल्यावर खालील कार्ट भूप्रकार तयार होतात — <ul style="list-style-type: none"> Sinkholes आणि Swallow holes — पाणी जमिनीत गडप होणारे खोलगट खड्डे Lapies — चुनखडीतील उथळ खाचा व खोबणी Dolines — गोलाकार कार्ट खोलगट Sinking creeks आणि Blind valleys — जमिनीत गायब होणारे ओढे (Sinking creeks) <ul style="list-style-type: none"> निचरा बंद होऊन संपणाऱ्या दऱ्या (Blind valleys) | पृष्ठीय जलनिचऱ्याचे पूर्णतः अदृश्य होणे. <ul style="list-style-type: none"> अनेक Sinking creeks — जमिनीत गायब होणारे ओढे Uvalas आणि Poljes — उवाला : एकत्रित झालेल्या मोठ्या डोलाइनसारखी खोलगट जागा पोल्जे : विस्तीर्ण, सपाट तळाचे कार्ट खोरे अनेक Karst windows — जमिनीखालील निचरा किंवा गुहा तळ दिसणाऱ्या उघड्या जागा | जवळजवळ संपूर्ण चुनखडीचे क्षालन (विरघळून वाहून जाणे) होते. <ul style="list-style-type: none"> वैशिष्ट्यरहित सपाट | फक्त द्रवण (Solution) प्रक्रिया घडते, कारण भूजल हे सक्रिय अपरदन करणारे (erosional) साधन नसते. |

| | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Karst Lakes - कार्स्ट तलाव • Karst Window - कार्स्ट विंडो (उघडी खिडकीसारखी चुनखडीतील जागा) <p>11. Cockpits - कॉपकिट्स (कार्स्ट मधील उंच-सखल खड्डेदार भूप्रदेश)</p> <p>12. Valleys (Sinking creek, blind valley, karst valley) -</p> <ul style="list-style-type: none"> • सिंकिंग क्रीक असलेल्या दऱ्या • ब्लाइंड व्हॅली (अदृश्य निचऱ्याची दरी) • कार्स्ट व्हॅली (चुनखडीतील दरी) <p>13. Caves or Caverns - गुहा किंवा कॅव्हर्न्स</p> <p>14. Ponors - पोर्नोर्स (पाणी जमिनीत गायब होणारी जागा)</p> <p>15. Natural bridge - नैसर्गिक पूल</p> | | | | | |
| <p>समुद्री क्षरण चक्र (Marine Cycle of Erosion)</p> <p>- डब्ल्यू. एम. डेव्हिस (W. M. Davis) यांचा सिद्धांत</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Cliff — सागरी कडा • Wave-cut platform — लाटांनी तयार केलेले सपाट तळ / वेव्ह-कट प्लॅटफॉर्म • Sea Caves — समुद्री गुहा • Sea Arch — सागरी कमान • Natural chimney / Blow hole / Gloop — नैसर्गिक धुराडी / ब्लोहोल / ग्लूप (लाटांच्या दाबाने पाणी-हवा वर उरलेल्या उभी नळी) • Stack / Stump — सागरी खांब / स्टॅक किंवा उरलासा ठाणा (Stump) | <ul style="list-style-type: none"> • Beaches — समुद्रकिनारे / बीचेस • Sand bars or spits — वाळूच्या पट्ट्या किंवा स्पिट्स (Offshore bars - किनाऱ्यापासून दूर असलेल्या वाळूच्या पट्ट्या) (Longshore bars - समांतर धावणाऱ्या वाळूच्या पट्ट्या) (Hooked bar - वाकडी / वळलेली वाळूची पट्टी) (Looped bar - लूपसारखी वाळूची पट्टी) (Connecting bars - दोन भूभागांना जोडणाऱ्या पट्ट्या) (Winged bars - पंखासारख्या बाजूला वाढलेल्या पट्ट्या) | <p>Cliff — सागरी कडा, Wave-cut platforms — लाटांनी कापून तयार केलेले सपाट तळ / वेव्ह-कट प्लॅटफॉर्म, Sea Caves — समुद्री गुहा, Blowholes — ब्लोहोल / नैसर्गिक धुराडी (लाटांच्या दाबाने पाणी-हवा वर उरलेली), Sea Arch — सागरी कमान / आर्क, Stacks — सागरी खांब / उभे खडक, Spits — समुद्रात वाढणाऱ्या वाळूच्या अरुंद पट्ट्या, Shoreline is irregular — किनारपट्टी अनियमित / असमान होते</p> | <p>यौवन अवस्थेत (Youth stage) विकसित झालेली बहुतेक भूप्रकार वैशिष्ट्ये नष्ट होताना / पूर्णपणे पुसली जातात.</p> | <p>यौवन अवस्थेत (Youth stage) विकसित झालेली सर्व भूप्रकार वैशिष्ट्ये पूर्णपणे नष्ट होतात आणि किनारपट्टी जवळजवळ सरळ (straight) होते. तसेच समुद्रकिनार्यावर <i>beaches</i> म्हणजेच वाळूचे किनारे तयार होतात.</p> | <p>Hydraulic action — जलदाबामुळे होणारी झीज / हायड्रॉलिक क्रिया</p> <p>Abrasion or Corrosion — घर्षणामुळे होणारे अपरदन / अब्रेशन (लाटांनी खडक घासणे), Corrosion or Solution — द्रवण किंवा रासायनिक विरघळण प्रक्रिया, Attrition — कण-कणांची टक्कर होऊन होणारी झीज / अँट्रिशन, Wave pressure — लाटांचा दाब / वेव्ह प्रेशर</p> |

| | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Cove — आखूड, लहान अर्धवर्तुळाकार उपसागर / कोव्ह | <p>(Tombolo - बेट व मुख्य भूभाग यांना जोडणारी वाळूची कडी)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coastal wetlands — किनारी दलदल / किनारी आर्द्रभूमी • Sabkha — सॅबखा (समुद्रकिनारी मीठ साचून तयार झालेल्या सपाट वाळवंटी दलदली) • Wave-built platform — लाटांनी साचवून तयार झालेला समुद्री तळ / वेव्ह-बिल्ट प्लॅटफॉर्म | | | |
| <p>वारा (Wind) (W. M. Davis यांनी प्रस्तावित केलेला Aeolian cycle of erosion किंवा Arid cycle of erosion)</p> | <p>Deflation basins and Desert Oasis — डिफ्लेशन बेसिन्स आणि वाळवंटी ओअॅसिस (वाऱ्याने सैल कण उडवून तयार झालेले खोलगट भाग व पाण्याचे स्रोत असलेली ठिकाणे), Blow outs — ब्लो-आउट्स (वाऱ्याने खचून गेलेले खोलगट खड्डे), Mushroom rocks (Pedestal / Pilzfelsen) — मशरूम खडक / पेडिस्टल खडक (तळाशी जास्त घर्षण होऊन मशरूमसारखे दिसणारे), Inselbergs and Bornhardts — इन्सेलबर्ग्स आणि बोर्नहार्ट्स (वाळवंटातील एकाकी डोंगर किंवा घुमटाकृती खडक), Demiselles — डेमिसेल्स (खडकाच्या कठीण टोपीमुळे जपलेले खांबासारखे उंच अवशेष), Zeugen — झॉइगन (आडव्या थरांत तयार झालेले लांब, सपाट माथ्याचे अवशेष), Yardang — यार्डॉंग (वाऱ्याने दीर्घकाळ घासून तयार झालेले बोटीसारखे लांबट भूआकार), Dreikanter and Zweikanter — ड्रायकांटर (तिन्ही</p> | <p>लहर खुणा (किंवा तरंग खुणा) Ripple marks, वाळूचे ढिग (किंवा वाळुकागिरी) Sand dunes, नेबखा (वाळूचा प्रकार) Nebkha (Dune type), ल्युनेट (वाळूचा प्रकार) Lunette (Dune type), बर्खान वाळुकागिरी (किंवा परवलीय वाळुकागिरी) Barchan dunes, Star dunes ताराकृती वाळुकागिरी , Parabolic dunes पॅराबोलिक वाळुकागिरी (किंवा परावलयिक वाळुकागिरी), Loess लोएस (सूक्ष्म गाळ किंवा पिवळी माती), Bolson बोलसन (पर्वतांदरम्यानचा सपाट तळ) Playa, प्लाय (बोलसनमधील हंगामी सरोवर किंवा खारट सपाट तळ) , Bajada, बाजाडा (किंवा बायाडा) (पर्वताच्या पायथ्याशी असलेले गाळाचे विस्तृत मैदान)</p> | <p>वाऱ्याचे कार्य (Wind/Aeolian Action) तारुण्य, प्रौढत्व आणि वृद्धावस्था या टप्प्यांतून जात नाही.</p> <ul style="list-style-type: none"> • वाळवंटी प्रदेशातील क्षरण चक्र (Cycle of Erosion) मुख्यत्वे मौसमी प्रवाहांद्वारे (seasonal streams) नियंत्रित (controlled) केले जाते आणि हे चक्र सामान्य क्षरण चक्रासारखेच (similar to that of normal cycle of erosion - fluvial cycle by Davis) असते. • क्षरण चक्राचा हा सिद्धांत केवळ पर्वतीय वाळवंटाच्या (mountain deserts) बाबतीतच लागू होतो आणि सपाट वाळवंटाच्या (open deserts) बाबतीत लागू होत नाही. | <p>अपवहन Deflation (कोरडे आणि सैल वाळूचे कण उचलून दूर वाहून नेण्याची प्रक्रिया), अपघर्षण Abrasion (यास सॅड ब्लास्टिंग असेही म्हणतात, कारण वाळू यामध्ये पॉलिश करण्याच्या साधनाप्रमाणे कार्य करते), सन्निघर्षण Attrition (वाऱ्याने वाहून नेले जाणारे वाळूचे कण एकमेकांवर आदळून त्यांचे लहान कणांमध्ये रूपांतर होण्याची प्रक्रिया)</p> | |

| | | | | | | |
|---|--|---|---|--|---|--|
| | बाजूनी घासलेले खडक) आणि इवायकांटर (दोन बाजूनी घासलेले खडक), Stone lattice — स्टोन लॅटिस (वाऱ्याने कण उडाल्यामुळे तयार झालेली दगडी जाळीसारखी रचना), Wind bridge and Wind window — वारा-पूल आणि वारा-खिडकी (घर्षणामुळे तयार झालेले नैसर्गिक कमानी व छिद्रे) | | | | | |
| हिमनदी (डब्ल्यू.एम.डेव्हिस यांनी दिलेला हिमनदीच्या क्षरणाचा चक्र) Glacier (Glacial cycle of erosion given by W.M.Dav is | 'यू' आकाराची दरी (किंवा हिमनदी दरी) U-shaped valley, टांगती दरी Hanging Valley, हिमकवठ (किंवा गिरिखात) Cirque, बर्गश्रुंड (किंवा टोकाची भंग) Bergschrund, टार्न (किंवा कोल) Tarn, कोल (खिंड), कर्ग (शिखरांची धार), आणि गिरीश्रुंग (शिखर) Col, आरेट and हॉर्न्स , नुनॅटॅक (हिमनदीतून बाहेर डोकावणारे शिखर) Nunatak, चट्टान आणि शेपटी (किंवा शैल आणि पुच्छ) Crag and tail, रॉश मुटोनई (किंवा मेंढी-शैल) Roches moutonnée, हिमनदी पायऱ्या (किंवा विशाल/सायक्लोपीन पायऱ्या) आणि पॅटरनॉस्टर सरोवरे , हिमनदी रेखा (किंवा हिमनदी खाचा), फ्योईस (किंवा समुद्रालगतच्या हिमनदी दऱ्या), बहिःप्रवाहाचे मैदान (किंवा हिमोढ मैदानी प्रदेश) Outwash plain | हिमोढ (किंवा हिमनदीचा गाळ) Moraines, हिमोढ , पार्श्व हिमोढ , भूमी हिमोढ आणि मध्य हिमोढ , ड्रुम्लिन (अंड्यांच्या टोपलीसारखी भू-रूपे), विखुरलेले दगड (किंवा आश्रित खंड), एस्कर (वाळू आणि दगडांचा सर्पाकृती बांध), केम्स (हिमनदी वितळल्यावर साचलेला त्रिकोणी ढिग), केटल (खोल खडे) आणि हमॉक्स (लहान टेकड्या) | टांगती दरी Hanging valley, 'यू' आकाराची दरी (किंवा हिमनदी दरी), हिमकवठ (किंवा गिरिखात) Cirque, कर्ग (किंवा तीव्र धार) Arete, हिमनदी पायऱ्या आणि पॅटरनॉस्टर सरोवरे Glacial stairways and paternoster lakes, हिमोढांची निर्मिती होत नाही (संचयन होत नाही) No formation of moraines | पार्श्व हिमोढांच्या निर्मितीची सुरुवात Beginning of formation of lateral moraines, ड्रुम्लिन च्या निर्मितीची सुरुवात Beginning of formation of drumlins | अंत्य हिमोढ आणि भूमी हिमोढांची निर्मिती Formation of terminal and ground moraine, बहिःप्रवाहाचे मैदान / क्रायोप्लेन (बर्फ-मैदान) Outwash plains / cryoplain , एस्कर आणि केम्सची निर्मिती Formation of eskers and kames | अपघर्षण (हिमनदीतील दगड आणि गाळ यामुळे भूभागाची झीज होणे) Abrasion, पॉलिश करणे (हिमनदीच्या हालचालीमुळे खडकांना गुळगुळीत पृष्ठभाग मिळणे) Polishing, उत्पादन (किंवा उत्पदन) (हिमनदीच्या तळाशी असलेले खडक उचकटून/उपसून काढण्याची क्रिया) Plucking |

महासागर द्रोणींची तळरचना (Reliefs of the Ocean Basins)

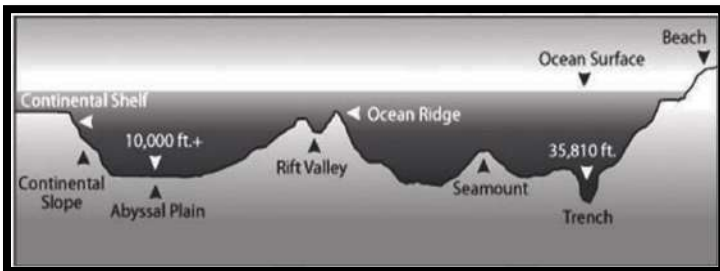
- पृथ्वीवरील सुमारे ७१% भाग महासागरांनी व्यापलेला आहे.
- जगात चार महासागर आहेत, जे खालीलप्रमाणे आहेत: **पॅसिफिक महासागर (Pacific Ocean), अटलांटिक महासागर (Atlantic Ocean), हिंदी महासागर (Indian Ocean)** आणि **आर्क्टिक महासागर (Arctic Ocean)**.
- महासागर तळरचनेतील वैशिष्ट्ये **प्रमुख (Major)** आणि **गौण (Minor)** श्रेणींमध्ये विभागली आहेत:

१. प्रमुख महासागरीय तळरचना वैशिष्ट्ये (Major Ocean Relief Features)

- **खंडीय मंच (Continental Shelf)**
- **खंडीय उतार (Continental Slope)**
- **खंडीय चढण (Continental Rise)**
- **खोल सागरी मैदाने (Deep sea plains) or अबिसी मैदाने (abyssal plains)**

२. गौण महासागरीय तळरचना वैशिष्ट्ये (Minor Ocean Relief Features)

१. रांगा (Ridges)
२. टेकड्या (Hills)
३. सी-माउंट्स (Seamounts)
४. गॉयॉट्स (Guyots)
५. महासागरीय गर्ता (Trenches)
६. पाण्याखालील घळई (Submarine canyon)
७. बेट कमानी (Island arcs)
८. प्रवाळ बेटे (Coral reefs)
९. फ्यॉर्ड (fjord)



महासागरीय तळावरील प्रमुख भूरूपे (Major Ocean Relief Features)

खंडीय मंच (Continental Shelf)

- ही **खंडांच्या सीमेकडील क्षेत्रे** आहेत, जी महासागराच्या पाण्याखाली **बुडालेली (submerged)** आहेत.
- त्यांची सरासरी खोली **१०० फॅदम** असते (१ फॅदम = ६ फूट) आणि त्यांचा उतार कोन **१० ते ३० दरम्यान मंद** असतो.
- **उंच पर्वतांजवळ** खंडीय मंच **अरुंद** असतात, तर **रुंद किनारी मैदानाजवळ** ते **विस्तृत (wider)** असतात.
 - **उदाहरणार्थ:** उत्तर अमेरिकेच्या पॅसिफिक किनाऱ्यावरील खंडीय मंच फक्त **१६ किमी** रुंद आहे, तर अटलांटिक किनाऱ्यावरील खंडीय मंच **९६ ते १२० किमी** रुंद आहे.
- खंडीय मंच महासागराच्या एकूण क्षेत्रापैकी **६%** भाग व्यापतात.
- **सूर्यप्रकाश उपलब्ध** असल्यामुळे, खंडीय मंच **फायटोप्लॅक्टन (phytoplanktons)** आणि **सागरी जीवांना (marine life)** पोषण देणारी क्षेत्रे आहेत.

खंडीय उतार (Continental Slope)

- **खंडीय मंचापासून खोल सागरी मैदानांपर्यंत (deep sea planes)** पसरलेल्या **तीव्र उताराच्या** क्षेत्रांना **खंडीय उतार** म्हणून ओळखले जाते.
- त्यांचा उतार कोन **५० पासून ६०० पेक्षा जास्त** बदलतो.
- येथे खोलीत **अचानक घट** होते (२०० मी. वरून २००० मी. पर्यंत).
- **तीव्र उतारामुळे** सागरी संचय (marine deposits) येथे **जमा होत नाही**.
- खंडीय उतारावर **पाण्याखालील घळया (submarine canyons)** आणि **गर्त (trenches)** आढळतात, जे सामान्यतः **खंडीय मंचाला आडवे (transverse)** असतात.
- हे महासागराच्या एकूण क्षेत्रापैकी सुमारे **५%** भाग व्यापतात.

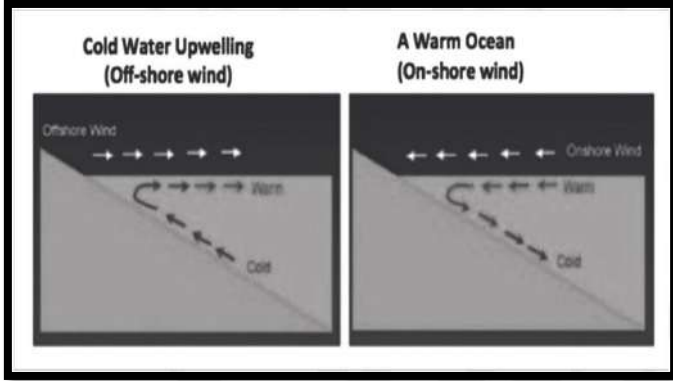
खंडीय चढण (Continental Rise)

- सुमारे **२००० ते ३००० मी.** खोलीवर, **खंडीय उताराची तीव्रता** हळूहळू **कमी** होते आणि तो फक्त **०.५० ते १० पर्यंत मंद** होतो.

- खोली जसजशी वाढत जाते, तसतसा उतार सामान्यतः सपाट होतो आणि त्याला **खंडीय चढण** (Continental Rise) म्हणून ओळखले जाते.

खोल सागरी मैदान किंवा अबिसी मैदान (Deep Sea Plain or Abyssal Plain)

- हे सपाट आणि मंद उतार असलेले पाण्याखालील क्षेत्र आहे.
- त्याची खोली ३००० मी. ते ६००० मी. दरम्यान असते आणि ते महासागराच्या एकूण क्षेत्रापैकी सुमारे ७६% भाग व्यापते.
- हे क्षेत्र सामान्यतः वैशिष्ट्यहीन असते, परंतु येथे पाण्याखालील रांगा (submarine ridges), सी-माउंट्स (seamounts) आणि गॉयॉट्स (guyots - सपाट माथ्याचे पाण्याखालील पर्वत) आढळतात.
- या क्षेत्रात सर्वाधिक सागरी गाळ जमा होतो, परंतु सूर्यप्रकाश न पोहोचल्यामुळे येथे जैविक क्रिया (biological activity) सर्वात कमी असते.



पाण्याखालील घळ्या (Submarine Canyons)

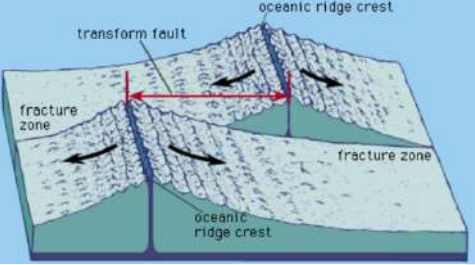
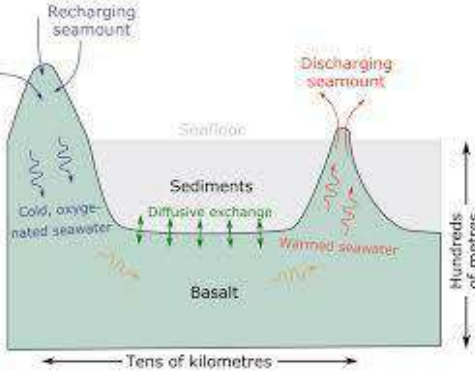
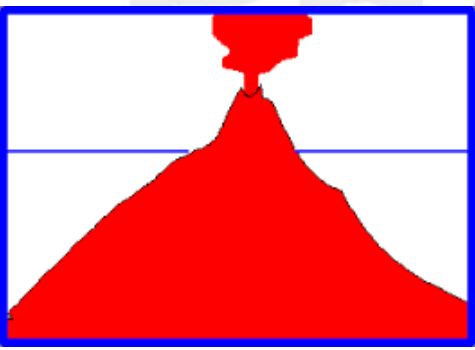
- किनारपट्टीला आडव्या (transverse to the coastline) असलेल्या खंडीय घळ्यांसारख्या (continental canyons) दिसणाऱ्या, खंडीय मंच आणि उतारांवर असलेल्या उभ्या भिंतींच्या (vertical walls) लांब, अरुंद आणि खूप खोल दऱ्यांना पाण्याखालील घळ्या (Submarine Canyons) म्हणतात.
- त्या तरुण नदीच्या दऱ्यांसारख्या (youthful river valleys) असतात.
- त्या सामान्यतः प्रमुख नद्यांच्या मुखासमोर आढळतात.

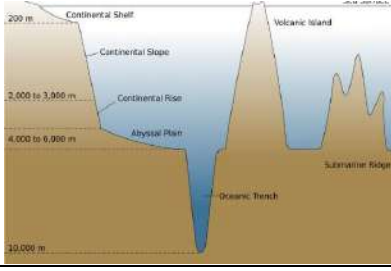
- नदीमुखांना (river mouths) तोंड देणाऱ्या घळ्या सहसा लांब असतात, परंतु त्यांचा उतार मंद असतो, तर बेटांजवळ असलेल्या घळ्या खोल आणि सर्वात तीव्र उताराच्या असतात.
- उदा. हडसन घळई (Hudson canyon), काँगो घळई (Congo canyon) इत्यादी.

महासागरीय खोलगट भाग आणि गर्ता (Oceanic Deeps and Trenches)

- महासागरीय गर्ता (Trenches) हे महासागराचे तीव्र उताराचे (steep sided) अरुंद द्रोण (narrow basin) आहेत.
- त्या विवर्तनिकी (tectonic) उत्पत्तीच्या असून अभिसारी भूपट्ट सीमांजवळ (convergent plate boundaries) तयार होतात.
- त्यामुळे, त्या सक्रिय ज्वालामुखी आणि भूकंपांशी संबंधित आहेत.
- खोलगट भाग (Deeps) हे महासागराचा सर्वात खोल (deepest part) भाग आहेत.
- खोलगट भाग आणि गर्ता यांमधील मुख्य फरक हा आहे की, गर्ता (Trenches) या सामान्यतः खोलगट भागांपेक्षा जास्त लांब असतात.
- उदा. मरियाना गर्ता (Mariana trench) आणि चॅलेंजर डीप (Challenger deep).

गौण महासागरीय तळरचना वैशिष्ट्ये (Minor Ocean Relief Features)

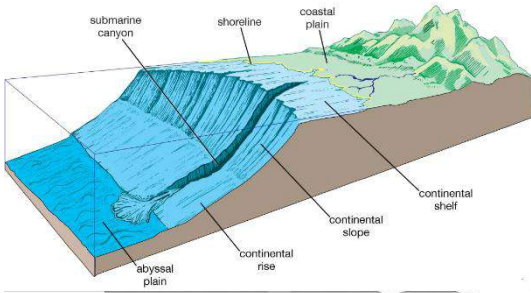
| वैशिष्ट्य/Feature | स्पष्टीकरण/Explanation |
|--|---|
| <p>रांगा किंवा कटक (Ridges)</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • स्वरूप: महासागराच्या तळावर पसरलेल्या लांब, अरुंद पर्वतांच्या साखळ्या (Long, narrow mountain chains on the ocean floor). • निर्मितीचे कारण: विवर्तनिकी भूपट्टांच्या अपसारणामुळे (tectonic plate divergence) म्हणजेच समुद्रतळ प्रसरणामुळे (seafloor spreading) त्यांची निर्मिती होते. • उदाहरण: मध्य-अटलांटिक रांग (Mid-Atlantic Ridge). • संबंधित क्रिया: या रांगा बऱ्याचदा ज्वालामुखी क्रिया (volcanic activity) आणि नवीन कवच निर्मितीशी (new crust formation) संबंधित असतात. याठिकाणी शिलारस (magma) वर येतो आणि थंड होऊन नवीन सागरी कवच तयार होते. |
| <p>सी-माउंट्स (Seamounts)</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • स्वरूप: हे समुद्रतळावरून वर आलेले पाण्याखालील ज्वालामुखी पर्वत (Submarine volcanic mountains) आहेत. • वैशिष्ट्य: ते महासागराच्या पृष्ठभागापर्यंत पोहोचत नाहीत (बेटांच्या विपरीत). • निर्मितीचे ठिकाण: त्यांची निर्मिती अनेकदा भूपट्ट सीमांजवळ (tectonic plate boundaries) किंवा हॉटस्पॉट्सजवळ (hotspots) होते. • जैविक महत्त्व: पोषक तत्वांच्या ऊर्ध्वगामी प्रवाहामुळे (nutrient upwelling) या भागात सागरी जीवसृष्टी (marine life) समृद्ध असते. |
| <p>गॉयॉट्स (Guyots)</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • स्वरूप: हे सपाट माथ्याचे (Flat-topped) सी-माउंट्स (Seamounts) आहेत. • निर्मिती: हे एकेकाळी ज्वालामुखी बेटे (volcanic islands) होते, जे लाटांच्या क्षरणामुळे (eroded by waves) सपाट झाले आणि नंतर पाण्याखाली खचले (submerged). • स्थान: ते बहुतेककरीब पॅसिफिक महासागरात (Pacific Ocean) आढळतात. • महत्त्व: समुद्रसपाटीतील बदलांचा (sea level changes) अभ्यास करण्यासाठी ते महत्त्वाचे आहेत. |
| <p>महासागरीय गर्ता किंवा खंदक (Trenches)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • स्वरूप: हे महासागराच्या तळावरील खोल, अरुंद द्रोण (Deep, narrow depressions) आहेत, जे महासागरातील सर्वात खोल भाग असतात. • निर्मिती: त्यांची निर्मिती भूपट्ट विवर्तनिकी (Plate Tectonics) मध्ये अभिसारी सीमांवर (Convergent Boundaries) होते, जिथे एक |



विवर्तनिक भूपट्ट दुसऱ्या भूपट्टाखाली खचतो (सबडक्शन - subduction).

- उदाहरण: मरियाना गर्ता (Mariana Trench), जो पृथ्वीवरील सर्वात खोल बिंदू आहे.
- संबंधित क्रिया: या गर्ता तीव्र भूकंप (strong earthquakes) आणि ज्वालामुखी क्रियेशी (volcanic activity) संबंधित असतात.

पाण्याखालील घळई (Submarine Canyons)



- स्वरूप: या खंडीय उतारावर (continental slopes) खोलवर कोरलेल्या दऱ्या (Deep valleys cut into continental slopes) आहेत.

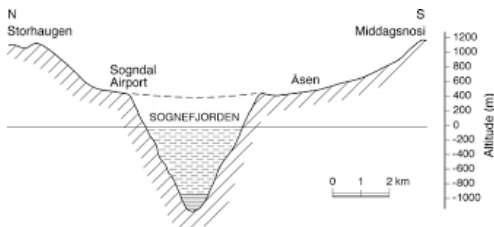
निर्मितीचे कारण:

- कमी समुद्रसपाटीच्या काळात नदीच्या क्षरणामुळे (river erosion) त्यांची निर्मिती झाली असावी.
- किंवा, गढूळ प्रवाहामुळे (turbidity currents) त्यांची निर्मिती होते— हे गाळाने भरलेल्या पाण्याचे घन, वेगवान प्रवाह आहेत, जे उतारावरून खाली वाहत जातात आणि तळाला कोरतात.
- उदाहरण: हडसन घळई (Hudson Canyon), जी न्यूयॉर्कजवळ समुद्रात आहे.
- महत्त्व: या घळ्या भूभागावरून खोल समुद्रात गाळ (sediments) वाहून नेण्याचे मार्ग (routes) म्हणून काम करतात.

प्रवाळ बेटे (Coral Reefs)

- स्वरूप: हे लहान सागरी जीवांच्या वसाहतींमधून (प्रवाळ - corals) तयार झालेल्या रचना आहेत.
- स्थान: ते उष्ण, उथळ आणि सूर्यप्रकाशित (sunlit) पाण्यात आढळतात.
- प्रमुख प्रकार:
 १. किनारी प्रवाळ कटक (Fringing Reef)
 २. रोध प्रवाळ कटक (Barrier Reef)
 ३. प्रवाळ वलय (Atoll)
- उदाहरण: ग्रेट बॅरिअर रीफ (Great Barrier Reef) (ऑस्ट्रेलिया).

फ्यॉर्ड (Fjord)



- स्वरूप: हे समुद्राचे अरुंद, खोल आणि तीव्र उताराचे (steep-sided) अंतर्वाह (inlets) आहेत, जे जमिनीमध्ये खोलवर गेलेले असतात.
- निर्मिती: त्यांची निर्मिती हिमनदीच्या क्षरणामुळे (glacial erosion) झालेल्या खोल दऱ्यांमध्ये झाली आहे आणि नंतर त्या समुद्राच्या पाण्याखाली बुडाल्या (submerged by seawater) आहेत.
- वितरण: ते सामान्यतः नॉर्वे, न्यूझीलंड आणि कॅनडा यांसारख्या हिमनदीचा प्रभाव असलेल्या (glaciated) किनारपट्टीवर आढळतात.
- महत्त्व: ते उत्कृष्ट नैसर्गिक बंदरे (natural harbors) प्रदान करतात, परंतु ते केवळ हिमनदीमुळे तयार झालेल्या किनाऱ्यांपर्यंतच मर्यादित आहेत.

महासागरांचे तापमान (Temperature of Oceans)

महासागरीय पाण्याचे तापमान मिळवण्याचा मुख्य स्रोत सूर्य (sun) आहे. समुद्र पृष्ठभागावर मिळणाऱ्या सूर्यप्रकाशाचे (insolation) प्रमाण सूर्यकिरणांचा कोन, दिवसाची लांबी, पृथ्वीचे सूर्यापासूनचे अंतर आणि वातावरणाचे परिणाम यांवर अवलंबून असते. तसेच, सूर्यकिरणांचे महासागराच्या पाण्यात भेदन (penetration) महासागरातील तापमानाचे उभे वितरण (vertical distribution) निश्चित करते.

महासागरांमध्ये दैनिक तापमान श्रेणी जवळजवळ नगण्य (insignificant) असते, कारण ती सुमारे 1°C असते. वार्षिक तापमान श्रेणी (annual range of temperature) बरीच महत्त्वाची असते. उत्तर गोलार्धात (Northern Hemisphere), ऑगस्ट महिन्यात जास्तीत जास्त आणि फेब्रुवारी महिन्यात किमान तापमान नोंदवले जाते, ज्याची वार्षिक तापमान श्रेणी सुमारे 120°C असते.

महासागरांमध्ये तापमानाच्या वितरणावर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Distribution of Temperature in Oceans)

- अक्षांश (Latitudes):** विषुववृत्तापासून (equator) दोन्ही बाजूंच्या ध्रुवांकडे जसजसे जावे तसतसे सूर्यप्रकाश कमी होतो, त्यामुळे महासागर पृष्ठभागाच्या पाण्याचे तापमानही कमी होते.
- भूमी आणि पाण्याची असमान वितरण (Unequal Distribution of Land and Water):** दक्षिण गोलार्धाच्या तुलनेत उत्तर गोलार्धातील महासागरांना मोठ्या खंडीय भूभागांशी (continental masses) संपर्क असल्यामुळे जास्त उष्णता मिळते. त्यामुळे उत्तर महासागरांचे सरासरी तापमान दक्षिण महासागरांपेक्षा जास्त असते.
- प्रचलित वारे (Prevailing Winds):** भूमीवरून महासागराकडे वाहणारे वारे गरम पृष्ठभागाचे पाणी किनाऱ्यापासून दूर घेऊन जातात, ज्यामुळे थंड तळाच्या पाण्याचे ऊर्ध्वगामी वहन (upwelling of the cold bottom water) होते. याउलट, किनारपट्टीकडे (onshore) वाहणारे वारे गरम पाणी किनाऱ्याजवळ संचयित करतात आणि तेथील तापमान वाढवतात. उदाहरणार्थ: व्यापारी वारे (trade winds) महासागरांच्या पश्चिम कडांवर तापमान वाढवतात आणि पूर्व कडांवर तापमान कमी करतात.
- महासागर प्रवाह (Ocean Currents):** महासागर प्रवाह गरम विषुववृत्तीय पाणी थंड ध्रुवीय प्रदेशांकडे आणि थंड ध्रुवीय पाणी गरम विषुववृत्तीय प्रदेशांकडे वाहून नेतात. उदाहरणार्थ: गरम उत्तर अटलांटिक प्रवाह (warm North Atlantic drift) उत्तर महासागराचे तापमान 40°C ने वाढवतो.

- गौण घटक (Minor Factors):** पाण्याखालील पूल (submarine bridges), वादळ (storms), चक्रीवादळे (cyclones), हरिकेन (hurricanes), धुके (fog), ढगाळपणा (cloudiness), बाष्पीभवन (evaporation), संघनन (condensation), तसेच समुद्राचे स्थान आणि आकार यांसारखे स्थानिक हवामान घटक देखील तापमानाच्या वितरणावर परिणाम करतात.

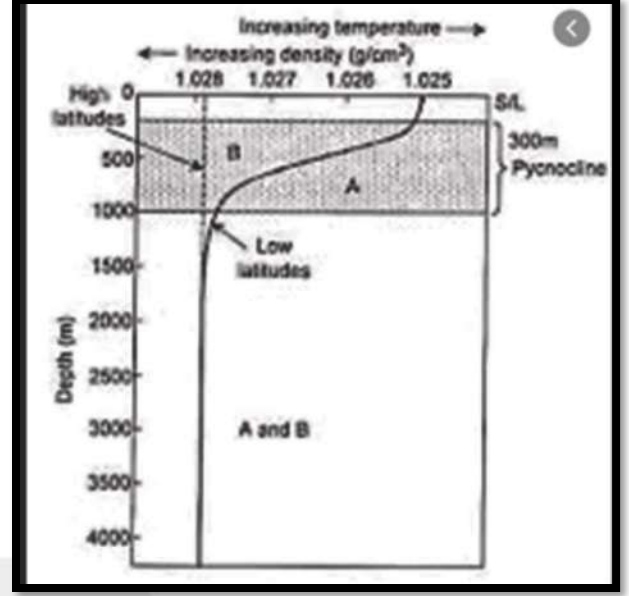
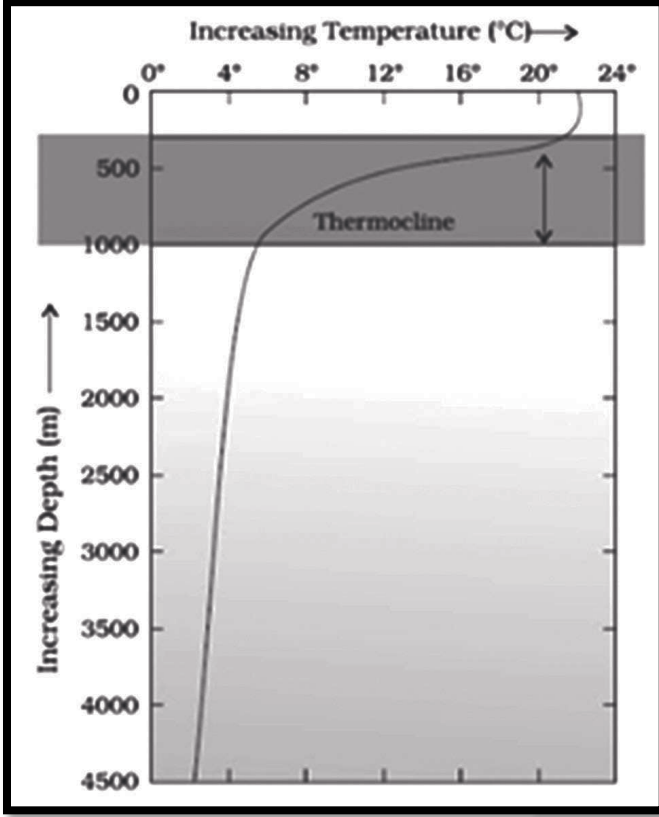
तापमानाचे उभे वितरण (Vertical Distribution of Temperature)

सूर्याच्या किरणांमुळे थेट गरम झाल्यामुळे महासागराचे जास्तीत जास्त तापमान पृष्ठभागावर (surface) आढळते. सूर्यकिरणे प्रभावीपणे 200 मीटर खोलीपर्यंत भेदतात, त्यानंतर भेदन दर कमी होतो, त्यामुळे तापमानही लक्षणीयरीत्या कमी होते. तापमान 1000 मीटर खोलीपर्यंत खूप वेगाने (very rapidly) खाली येते (तापमानाच्या या जलद घसरणीला तापमान प्रवणता थर किंवा थर्मोक्लाइन (thermocline) म्हणतात), आणि त्यानंतर तापमान कमी होण्याचा दर मंदावतो. महासागरांना उभ्या दोन प्रमुख क्षेत्रांमध्ये विभागले जाते: प्रकाशमान क्षेत्र किंवा युफोटिक झोन (Photic/Euphotic zone) (1000 मीटरपर्यंत) आणि अप्रकाशीय क्षेत्र किंवा अफोटिक झोन (Aphotic zone) (1000 मीटरपासून समुद्राच्या तळापर्यंत). युफोटिक झोनमध्ये महासागरीय पाण्याचा केवळ 20% भाग असला तरी, सुमारे 90% सागरी जीवन (marine life) येथे केंद्रित आहे. विषुववृत्तापासून ध्रुवांकडे वाढत्या खोलीनुसार तापमान कमी होण्याची गती समान नसते. विषुववृत्ताजवळ ती कमाल आणि ध्रुवाजवळ किमान असते. समुद्राच्या तळाशी तापमान विषुववृत्तापासून ध्रुवांकडे समान असते.

२. महासागरांची घनता (Density of Oceans)

महासागराच्या पाण्याची घनता म्हणजे पदार्थाचे प्रति एकक घनफळ वस्तुमान (mass per unit volume) होय. ती सामान्यतः ग्रॅम प्रति घन सेंटीमीटर (g/cm^3) मध्ये मोजली जाते. समुद्रपाण्याची सरासरी घनता 1.0278 g/cm^3 असते. ती शुद्ध पाण्याच्या घनतेपेक्षा 2 ते 3% जास्त असते. घनता महासागराच्या पाण्याची गतीशीलता (dynamics) निश्चित करते, म्हणजे समुद्राचे पाणी खाली बुडणार की नाही आणि पाण्याची कोणती उभी आणि क्षैतिज हालचाल होणार हे ठरवते.

समुद्राच्या पाण्याच्या घनतेवर परिणाम करणारे घटक (Factors



Affecting Density of Seawater)

१. तापमान (Temperature): तापमान आणि घनता यांचा व्यस्त संबंध (inversely related) असतो. त्यामुळे घनता ध्रुवांवर सर्वाधिक आणि विषुववृत्ताजवळ सर्वात कमी असते.

२. क्षारता (Salinity): क्षारता आणि घनता यांचा थेट संबंध (directly related) असतो. परंतु, बहुतेक वेळा तापमान घटक क्षारता घटकाळा दाबून टाकतो (suppresses). उदाहरणार्थ: ध्रुवीय पाणी कमी खारे असते आणि त्यांची घनता कमी असावी लागते, परंतु तेथे असलेल्या कमी तापमानामुळे या प्रदेशात महासागराच्या पाण्याची घनता सर्वाधिक असते.

३. दाब (Pressure): दाब आणि घनता यांचा थेट संबंध असतो, म्हणजे दाब वाढल्याने घनता वाढते. परंतु समुद्राच्या पाण्याची घनता नियंत्रित करण्यावर याचा नगण्य प्रभाव असतो.

घनतेचे उभे वितरण (Vertical Distribution of Density)

- तापमान घटक इतर घटकांपेक्षा प्रभावी भूमिका बजावत असल्याने; क्षारतेचे उभे वितरण तापमानाच्या उभ्या वितरणाच्या प्रवृत्तीचे (trends) अनुसरण करते आणि ते खालील आलेखात दर्शविले जाऊ शकते:

३. महासागरांची क्षारता (Salinity of Oceans)

१ किलो समुद्रपाण्यामध्ये असलेल्या एकूण मिठाच्या (salt) प्रमाणाला महासागराची क्षारता (Salinity of ocean) म्हणतात. ती हजारी भाग (% - parts per thousand) मध्ये दर्शविली जाते. महासागरांची सरासरी क्षारता ३३ ते ३७ हजारी भाग या दरम्यान बदलते. महासागरीय क्षारतेचा स्रोत भूमी (land) आहे. महासागरात वाहणाऱ्या नदीच्या पाण्यात सुमारे ६०% कॅल्शियम सल्फेट आणि सुमारे २% सोडियम क्लोराईड (sodium chloride) असते. नद्यांनी आणलेला कॅल्शियम सागरी सजीवांकडून वापरला जातो, तर सोडियम क्लोराईड वापरला जात नाही आणि तो थोडा सुधारित होऊन वर्तमान क्षारतेस जन्म देतो.

महासागरात क्षारता नियंत्रित करणारे घटक (Factors Controlling Salinity in Oceans)

- बाष्पीभवन (Evaporation):** बाष्पीभवन आणि क्षारता यांचा थेट संबंध असतो, म्हणजे बाष्पीभवन जास्त तर क्षारता जास्त. विषुववृत्तीय पट्ट्यापेक्षा (जेथे अनेकदा ढगाळ आकाश असते) उप-उष्णकटिबंधीय उच्च-दाब पट्ट्यांमध्ये (subtropical high-pressure belts) जास्त बाष्पीभवनामुळे उच्च क्षारता नोंदविली जाते.
- पर्जन्यमान (Precipitation):** पर्जन्यमान आणि क्षारता यांचा व्यस्त संबंध असतो. विषुववृत्ताजवळ कमी क्षारता आढळण्याचे हेच कारण आहे.
- गोड्या पाण्याचा अंतर्वाह (Influx of Freshwater):** नद्यांद्वारे किंवा हिमनदी वितळण्याने पुरवलेले गोडे पाणी क्षारतेच्या व्यस्त प्रमाणात असते. त्यामुळे नदीमुखांवर आणि ध्रुवीय प्रदेशांजवळ क्षारता कमी असते. उदाहरणार्थ: अरबी

समुद्राच्या तुलनेत बंगालच्या उपसागराची क्षारता खूप कमी असते, कारण बंगालच्या उपसागराला गंगा, ब्रह्मपुत्रा, गोदावरी, कृष्णा, कावेरी यांसारख्या नद्यांमधून जास्त गोडे पाणी मिळते.

४. **वाऱ्याची दिशा (Wind Direction):** किनारपट्टीपासून दूर (offshore) आणि किनारपट्टीकडे (onshore) वाहणारे वारे महासागराचे पाणी दूर वाहून नेतात आणि तापमानाच्या वितरणावर परिणाम करतात. यामुळे अंतिमतः क्षारतेच्या वितरणावर परिणाम होतो. उदा. समान अक्षांशांवर असूनही, मेक्सिकोचा आखात आणि कॅलिफोर्नियाचा आखात येथे वेगवेगळ्या क्षारतेचे नमुने नोंदवले जातात, याचे कारण प्रामुख्याने किनारपट्टीकडे आणि किनारपट्टीपासून दूर वाहणारे व्यापारी वारे आहेत. किनारपट्टीकडे वाहणारे व्यापारी वारे मेक्सिकोच्या आखाताजवळ तापमान वाढवतात आणि तेथे ३७ हजारी भागांपर्यंत जास्त क्षारता नोंदवतात. याउलट, किनारपट्टीपासून दूर वाहणारे व्यापारी वारे कॅलिफोर्नियाच्या आखाताजवळ तापमान कमी करतात आणि तेथे ३४ हजारी भागांपर्यंत कमी क्षारता नोंदवतात.
५. **वातावरणीय दाब आणि अभिसरण (Atmospheric Pressure and Circulation):** प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती (Anti-cyclonic conditions) स्वच्छ ढगरहित आकाश आणि कमी पर्जन्यमानाचे वातावरण निर्माण करते. यामुळे तापमान वाढते आणि अंतिमतः क्षारता वाढते.
६. **महासागरीय पाण्याची अभिसरण (Circulation of Oceanic Water):** विषुववृत्तीय गरम प्रवाह खंडांच्या पश्चिम किनारपट्टीच्या भागातून खारे पाणी दूर घेऊन जातात आणि ते पूर्व किनारपट्टीच्या भागाजवळ जमा करतात. त्याचप्रमाणे, उत्तर अटलांटिक प्रवाह उत्तर अमेरिकेच्या ईशान्य किनारपट्टीवरून खारे पाणी दूर घेऊन जातो आणि ते नॉर्वेजियन किनारपट्टीजवळ जमा करतो.

महासागरातील क्षारतेचे क्षैतिज वितरण (Horizontal Distribution of Salinity in Oceans)

१. **खुल्या समुद्रातील क्षारता वितरण (Salinity Distribution in Open Seas):** सरासरीनुसार, क्षारता विषुववृत्तापासून ध्रुवांकडे कमी होत जाते. मात्र, सर्वाधिक क्षारता विषुववृत्तावर नोंदवली जात नाही, ती २०° ते ४०° उत्तर आणि दक्षिण दरम्यान नोंदविली जाते. याचे मुख्य कारण म्हणजे विषुववृत्तावर दैनंदिन पाऊस पडतो. तसेच, उभ्या वाऱ्याच्या कतरणामुळे (vertical wind shear) या प्रदेशात नेहमी ढगाळ आकाश असते, ज्यामुळे येणाऱ्या सूर्यप्रकाशावर परिणाम होतो. क्षारतेच्या अक्षांश वितरणाच्या आधारावर, महासागरीय क्षारतेचे चार पट्टे ओळखले जातात:

(१) कमी क्षारतेचे विषुववृत्तीय क्षेत्र (Equatorial zones of low salinity): जास्त पर्जन्यमानामुळे.

(२) कमाल क्षारतेचा उष्णकटिबंधीय पट्टा (Tropical zone - 200 ते 300): कमी पर्जन्यमान आणि जास्त बाष्पीभवनामुळे.

(३) कमी क्षारतेचा समशीतोष्ण पट्टा (Temperate zone of low salinity): कमी बाष्पीभवनामुळे.

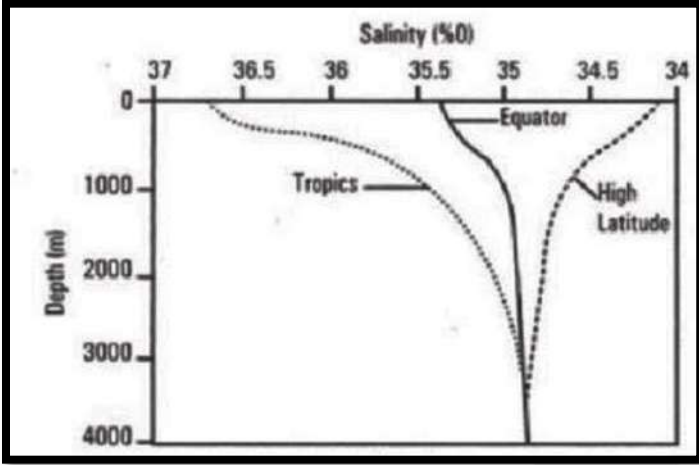
(४) किमान क्षारतेचे ध्रुवीय क्षेत्र (Polar zones of minimum salinity): कमी बाष्पीभवन आणि हिमनदी वितळल्यामुळे.

२. **अंतर्गत किंवा बंदिस्त समुद्रातील क्षारता वितरण (Salinity Distribution in Inland or Enclosed Seas):** बंदिस्त समुद्राच्या बाहेरील भागांमध्ये त्यांच्या मध्यवर्ती भागांपेक्षा कमी क्षारता असते, कारण नद्यांद्वारे गोडे पाणी मिसळले जाते. क्षारतेच्या वितरणावर अक्षांशांचे कोणतेही नियंत्रण नसते. ते पूर्णपणे गोड्या पाण्याच्या अंतर्वाहावर (influx of freshwater) अवलंबून असते. उदाहरणार्थ: समान अक्षांशांवर असूनही, बाल्टिक समुद्राची (Baltic Sea) क्षारता उत्तर समुद्रापेक्षा (North Sea) तुलनेने कमी नोंदविली जाते, कारण बाल्टिक समुद्रात गोड्या पाण्याचा अंतर्वाह जास्त आहे. कॅस्पियन समुद्राच्या उत्तर भागात १४ हजारी भागांची कमी क्षारता नोंदविली जाते, कारण वोल्गा आणि युरल नद्यांनी आणलेल्या पाण्याचा प्रचंड साठा त्यात मिसळतो; तर दक्षिण भागात गोड्या पाण्याचा अंतर्वाह नसल्यामुळे ती १७० हजारी भाग एवढी होते.

महासागरात क्षारतेचे उभे वितरण (Vertical Distribution of Salinity)

क्षारतेचे उभे वितरण स्वरूप गुंतागुंतीचे (complicated) आहे आणि त्याचे कोणतेही निश्चित कल (definite trend) सांगता येत नाही.

- उच्च अक्षांशांमध्ये (High Latitudes): जसजशी खोली वाढते, तसतशी क्षारता वाढते.
- मध्य अक्षांशांमध्ये (Middle Latitudes): खोली वाढल्याने क्षारता कमी होते.
- विषुववृत्तावर (At Equator):
 - जास्त पर्जन्यमानामुळे पृष्ठभागावर क्षारता कमी असते.
 - पाण्याच्या पृष्ठभागाखाली (below the water surface) जास्त क्षारता नोंदवली जाते.
 - आणि तळाशी (at the bottom) ती पुन्हा कमी होते.



हेलॉक्लाइन (Halocline)

पृष्ठभागावरील पाणी (surface waters) आणि तळाकडील पाणी (bottom waters) यांच्यामध्ये एक संक्रमण क्षेत्र (transition zone) असते. हे संक्रमण क्षेत्र क्षारतेत अचानक बदल (sudden change in salinity) दर्शवते आणि याला हेलॉक्लाइन (Halocline) म्हणून ओळखले जाते. (याची खोली साधारणपणे २०० मीटर ते १००० मीटर असते.)

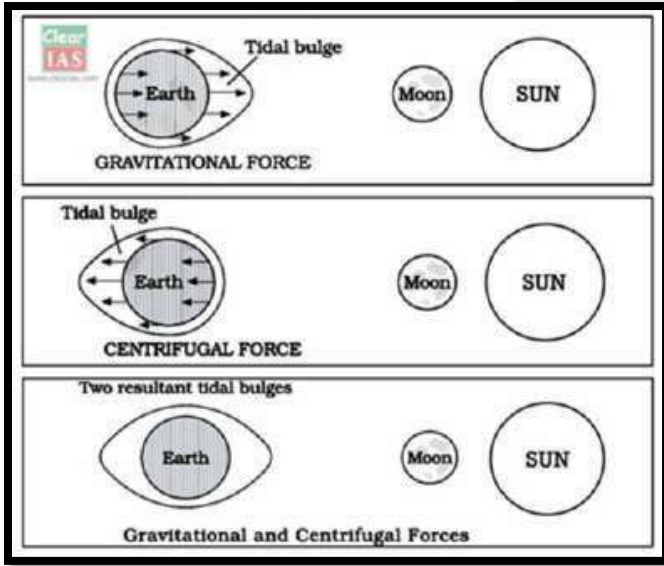
क्षारतेचे महत्त्व (Significance of Salinity)

महासागरांच्या अभ्यासात क्षारता खालीलप्रमाणे महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते:

१. ती सागरी सजीव आणि वनस्पती समुदायावर (plant community) परिणाम करते आणि त्यांच्या जैव-रासायनिक चक्रांमध्ये (biochemical cycles) महत्त्वाची भूमिका बजावते.
२. ती महासागरांच्या भौतिक गुणधर्मांवर जसे की तापमान, घनता, दाब, लाटा आणि प्रवाह यांवर परिणाम करते.
३. ती महासागरांच्या पाण्याच्या गोठण (freezing) आणि उत्कलनांक (boiling point) वर परिणाम करते. कमी खारे पाणी लवकर गोठते, त्या तुलनेत जास्त खारे पाणी हळू गोठते. खारट पाण्याचा उत्कलनांक (Boiling point of saline water) गोड्या पाण्यापेक्षा जास्त असतो.
४. गोठण आणि उत्कलनांकामधील या बदलामुळे बाष्पीभवनाचा दर देखील बदलतो.
५. क्षारता समुद्रपाण्याच्या घनतेवर (density) परिणाम करते.
६. महासागर प्रवाहांच्या निर्मितीमध्ये ती अतिशय महत्त्वाची भूमिका बजावते.

महासागरातील भरती-ओहोटी (Ocean Tides)

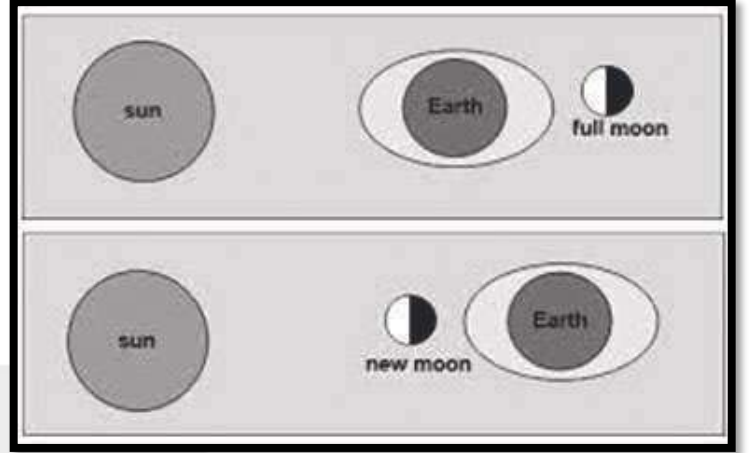
सूर्य आणि चंद्राच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे समुद्र पातळीत होणारी कालिक वाढ आणि घट यास भरती-ओहोटी (Tides) म्हणतात. समुद्राच्या पाण्याची वाढ आणि तिची किनारपट्टीकडे होणारी हालचाल यास भरती म्हणतात आणि परिणामी निर्माण झालेल्या पाण्याच्या उच्च पातळीस उच्च भरती पाणी (High Tide Water) म्हणतात. समुद्राच्या पाण्याची घट आणि तिची समुद्राकडे होणारी हालचाल यास ओहोटी म्हणतात आणि परिणामी निर्माण झालेल्या पाण्याच्या कमी पातळीस कमी ओहोटी पाणी (Low Tide Water) म्हणतात. भरतीची कक्षा (Tidal Range): उच्च भरती पाणी (High Tide Water) आणि कमी ओहोटी पाणी (Low Tide Water) यांच्यातील फरकास भरतीची कक्षा म्हणतात. ही भरतीची कक्षा समुद्राच्या पाण्याची खोली, समुद्रकिनार्याची आणि किनारपट्टीची संरचना आणि समुद्राची उघडलेली किंवा बंद स्थिती यावर अवलंबून असते.



भरती-ओहोटीची निर्मिती (Formation of Tides)

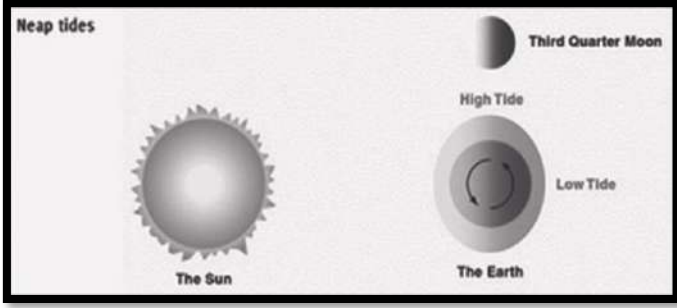
सर आयझॅक न्यूटन यांच्या मते, भरती-ओहोटीची निर्मिती चंद्र आणि सूर्य यांच्या गुरुत्वाकर्षण शक्तीमुळे (gravitational pull) आणि फिरणाऱ्या पृथ्वीच्या अपकेंद्री बळामुळे (centrifugal force) होते. या सिद्धांताला भरती-ओहोटीच्या उत्पत्तीचा समतोल सिद्धांत (Equilibrium Theory) म्हणतात. या सिद्धांतानुसार, चंद्राचे गुरुत्वाकर्षण बळ चंद्राकडे असलेल्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर कमाल असेल, तर पृथ्वीच्या विरुद्ध बाजूच्या पृष्ठभागावर ते किमान असेल. परिणामी, चंद्राकडे असलेल्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील पाणी आकर्षित आणि ओढले जाते आणि येथे भरती येते. या गुरुत्वमध्यबिंदूमधील बदलाला संतुलित करण्यासाठी, अपकेंद्री बळामुळे (centrifugal force) चंद्राच्या बाजूच्या विरुद्ध असलेल्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर समान तीव्रतेचा

पाण्याचा फुगवटा (bulge) तयार होतो. अशा प्रकारे, चंद्राकडे असलेल्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर तसेच चंद्राच्या विरुद्ध बाजूच्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर भरती येते. एकाच ठिकाणी होणाऱ्या दोन लागोपाठच्या भरतीमधील कालावधी १२ तास २६ मिनिटांचा असतो.

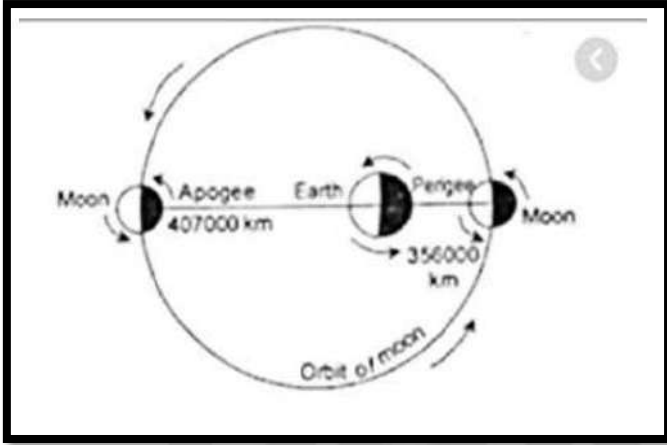


भरती-ओहोटीचे प्रकार (Types of Tides)

- उधाणाची भरती (Spring Tide):** ही भरती तेव्हा येते जेव्हा सूर्य, चंद्र आणि पृथ्वी एका सरळ रेषेत (straight line) स्थित असतात. अशा संरेखनला (alignment) सिङ्गीजी (Syzygy) म्हणतात. जेव्हा सूर्य आणि चंद्र पृथ्वीच्या एकाच बाजूला असतात, तेव्हा त्या स्थितीस युती (Conjunction) म्हणतात (अमावस्येचा दिवस - New Moon Day). जेव्हा पृथ्वी सूर्य आणि चंद्राच्या मध्ये असते, तेव्हा या स्थितीस प्रतियुती (Opposition) म्हणतात (पौर्णिमेचा दिवस - Full Moon Day). सूर्य आणि चंद्र यांच्या एकत्रित गुरुत्वाकर्षण आकर्षणाने या दिवशी येणाऱ्या भरत्या खूप उंच (very high tides) असतात. सामान्यतः उधाणाच्या भरतीची उंची सामान्य भरतीपेक्षा २०% जास्त असते.
- लघु भरती (Neap Tide):** ही भरती तेव्हा येते जेव्हा सूर्य, चंद्र आणि पृथ्वी एकमेकांशी काटकोनात (right angle) स्थित असतात. अशा संरेखनला चतुर्थांश (Quadrature) म्हणतात. अशी स्थिती अर्ध चंद्र दिनांवर (half moon day) तयार होते. सूर्य आणि चंद्र यांचे गुरुत्वाकर्षण आकर्षण बळ विरुद्ध दिशेने कार्य करते आणि दोन्ही पाणी आपापल्या बाजूने ओढण्याचा प्रयत्न करतात. सूर्य आकाराने मोठा असला तरी, चंद्र पृथ्वीच्या जवळ असल्यामुळे भरतीचा फुगवटा चंद्राच्या दिशेने जास्त असतो. लघु भरतीची उंची सामान्यतः सामान्य भरतीपेक्षा २०% कमी असते.



३. **अपभू आणि उपभू भरती (Apogean and Perigean Tide):** अपभू (Apogee) आणि उपभू (Perigee) भरती चंद्र आणि पृथ्वीच्या अपभू आणि उपभू स्थितीवर येतात. चंद्राची पृथ्वीपासून सर्वात जवळची स्थिती यास उपभू (Perigee) म्हणतात; आणि सर्वात दूरची स्थिती यास अपभू (Apogee) म्हणतात. अपभू भरती उपभू भरतीपेक्षा कमी (lesser) असते.



भरती-ओहोटीचे महत्त्व (Importance of Tides)

भरती-ओहोटी मानवी जीवनासाठी आणि किनारपट्टीच्या पर्यावरणासाठी खालीलप्रमाणे महत्त्वाची आहे:

१. ते किनारपट्टीला लंबरूप (perpendicular) मोठ्या प्रमाणात गाळ (sediments) हलवण्यासाठी जबाबदार आहेत.
२. भरतीची कक्षा (Tidal range) लिटोरल क्षेत्राची (भरती-ओहोटीच्या दरम्यानचा किनारा) रुंदी निश्चित करते.
३. पाण्याची कालिक वाढ आणि घट लाट ऊर्जा आणि भरती-ओहोटीची ऊर्जा (tidal energy) वापरण्यासाठी उपयुक्त आहे.
४. भरती-ओहोटी किनारपट्टीवरील त्रिभुज प्रदेश (coastal delta), भरती मैदान (tidal flats), बेटे (barrier islands) यांच्या वितरण आणि आकारविज्ञानावर (morphology) प्रभाव टाकते.

५. हे मासेमारी आणि नौकानयनासाठी (जहाज चालवण्यासाठी) महत्त्वाचे आहे, कारण मोठी जहाजे भरतीच्या वेळी बंदरात प्रवेश करतात.
६. हे किनारपट्टीवरील सागरी जीवनावर प्रभाव टाकते.

महासागर प्रवाह (Ocean Currents)

महासागर प्रवाह म्हणजे समुद्राच्या पाण्याच्या एका वस्तुमानाची (mass of oceanic water) निश्चित दिशेने होणारी सामान्य हालचाल होय. त्यांच्या तापमानानुसार त्यांचे उष्ण (warm) आणि शीत (cold) प्रवाहामध्ये वर्गीकरण केले जाते. त्यांच्या वेग आणि दिशेच्या आधारावर त्यांचे पुढील वर्गीकरण केले जाते:

१. **अपवहन (Drifts):** हा प्रचलित वाऱ्यांच्या (prevailing winds) प्रभावाखालील महासागराच्या पाण्याची हालचाल आहे. उदा. उत्तर अटलांटिक अपवहन (North Atlantic Drift).
२. **प्रवाह (Currents):** ही अधिक वेगाने निश्चित दिशेने होणारी महासागरीय पाण्याची हालचाल आहे. उदा. उत्तर विषुववृत्तीय पॅसिफिक प्रवाह (North Equatorial Pacific Current).
३. **प्रवाह (Streams):** ही खंडांवरील मोठ्या नद्यांप्रमाणे अधिक वेगाने निश्चित दिशेने होणारी महासागराच्या पाण्याची हालचाल आहे. उदा. गल्फ स्ट्रीम (Gulf Stream).

महासागर प्रवाहांच्या उत्पत्तीमागील घटक (Factors Behind the Origin of Ocean Currents)

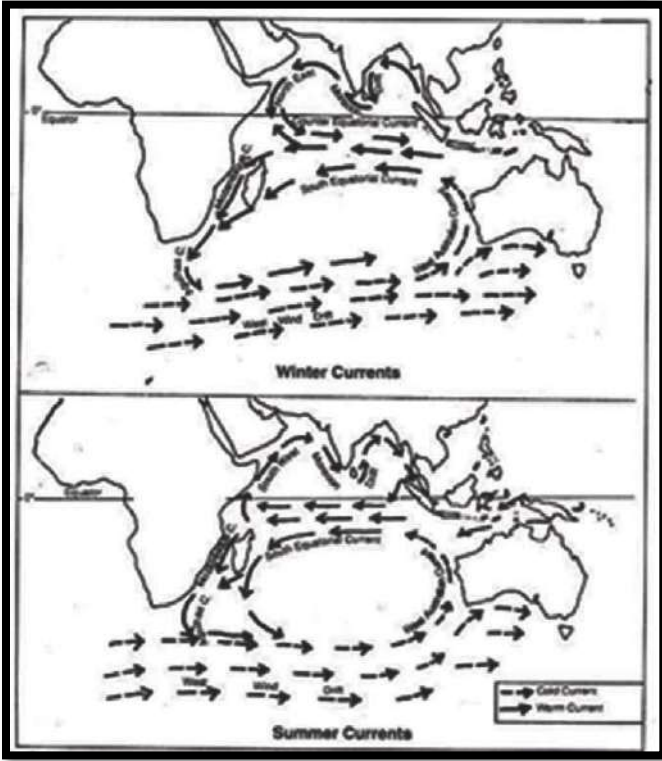
(A) पृथ्वीच्या परिवलनाशी संबंधित घटक (Factors Related to the Rotation of the Earth)

१. **कोरिओलिस बल (Coriolis Force):** कोरिओलिस बल महासागर प्रवाहांच्या सामान्य दिशेचे विचलन (deflect) करते. हे उत्तर गोलार्धातील महासागर प्रवाहांचे त्यांच्या उजवीकडे आणि दक्षिण गोलार्धातील प्रवाहांचे त्यांच्या डावीकडे विचलन करते.
२. **पृथ्वीच्या परिवलन बळामुळे** विषुववृत्ताजवळ महासागराच्या पाण्याची हालचाल पृथ्वीच्या परिवलनाच्या दिशेच्या विरुद्ध दिशेने होते. यामुळे विषुववृत्तीय प्रवाहाचा (Equatorial Current) जन्म होतो.
३. **पृथ्वीच्या परिवलनामुळे प्रति-विषुववृत्तीय प्रवाहाचा** जन्म होतो.

(B) महासागरांशी संबंधित घटक (Factors Related to the Oceans)

१. तापमानातील फरक (Temperature Difference)
२. क्षारतेतील फरक (Salinity Difference)

३. **घनतेतील फरक (Density Difference):** महासागरीय पाण्याच्या घनतेतील फरक हा महासागरीय पाण्याच्या हालचालीचे मुख्य कारण आहे. घनता महासागरीय पाणी तरंगेल की बुडेल हे ठरवते. तसेच ती पाण्याची क्षैतिज हालचाल देखील निश्चित करते. घनता तापमान आणि क्षारता यांच्याशी जवळून जोडलेली आहे (पहा 'महासागरांची घनता' प्रकरण). उदाहरणार्थ: जिब्राल्टर सामुद्रधुनीतून (Gibraltar strait) अटलांटिक महासागरातून भूमध्य समुद्राकडे (Mediterranean Sea) वाहणारा प्रवाह मुख्यत्वे क्षारता आणि घनतेतील फरकामुळे होतो.



(C) वातावरणाशी संबंधित घटक (Factors Related to the Atmosphere)

१. **हवेचा दाब आणि वारा (Air Pressure and Wind):** ग्रहीय वारे (Planetary winds) वर्षभर एकाच दिशेने वाहतात. महासागराच्या पाण्याच्या पृष्ठभागावरून वाहताना, त्यांच्या घर्षणामुळे (frictional force) पाणी देखील वाऱ्याच्या दिशेने वाहू लागते. उदाहरणार्थ: उत्तर अटलांटिक अपवहन, कुरो शिओ प्रवाह (Kuro Shio current). तसेच उत्तर हिंदी महासागरात मान्सूनमुळे वाऱ्यांच्या दिशेत ऋतुमानानुसार बदल (seasonal reversal) होतो. त्यानुसार, महासागर प्रवाहही त्यांची दिशा बदलतात.
२. **पर्जन्यमान आणि बाष्पीभवन (Rainfall and Evaporation):** कमी हवेचा दाब आणि जास्त

पर्जन्यमान असलेल्या भागात समुद्राची पाण्याची पातळी अशा भागांपेक्षा तुलनेने जास्त होते, जिथे कमी पर्जन्यमान पण जास्त बाष्पीभवन होते. अशा परिस्थितीत, पाणी उच्च समुद्र पातळीतून कमी समुद्र पातळीकडे वाहते, परंतु ही घटना स्थानिक पातळीवर (locally) मर्यादित राहते.

महासागर प्रवाहांचे बदल घडवून आणणारे घटक (Factors Modifying Ocean Currents)

१. **किनारपट्टीच्या दिशा, आकार आणि संरचना (Direction, Shape and Configuration of Coastlines):** जर किनारपट्टी महासागर प्रवाहांच्या नैसर्गिक प्रवाहाच्या दिशेला लंबरूप असेल, तर ती त्यांना अडथळा करते. परिणामी, महासागर प्रवाह दोन शाखांमध्ये (bifurcated) विभागले जातात आणि किनारपट्टीला समांतर वाहू लागतात. उदाहरणार्थ: ब्राझीलच्या किनारपट्टीजवळ (Brazilian coast) विषुववृत्तीय प्रवाह दोन शाखांमध्ये विभागला जातो. उत्तरेकडील शाखा अँटिल्स प्रवाह (Antilles current) म्हणून वाहते आणि गल्फ स्ट्रीममध्ये विलीन होते, तर दक्षिणेकडील शाखा ब्राझिलियन प्रवाह (Brazilian current) म्हणून वाहत राहते. त्याचप्रमाणे, दक्षिण हिंदी महासागरात दक्षिण विषुववृत्तीय प्रवाह मादागास्करजवळ मोझाम्बिक आणि अगुल्हास प्रवाहामध्ये विभागला जातो.
२. **तळरचना (Bottom Reliefs):** सामान्यतः, समुद्राखालील डोंगररांगेवरून (submarine ridge) जाताना, महासागर प्रवाह उत्तर गोलार्धात उजवीकडे आणि दक्षिण गोलार्धात डावीकडे विचलित (deflected) होतात.
३. **ऋतुमानानुसार बदल (Seasonal Variations):** मान्सूनच्या काळात हिंदी महासागरात आढळणारे ऋतुमानानुसार बदल प्रवाहांच्या दिशेत बदल करतात.

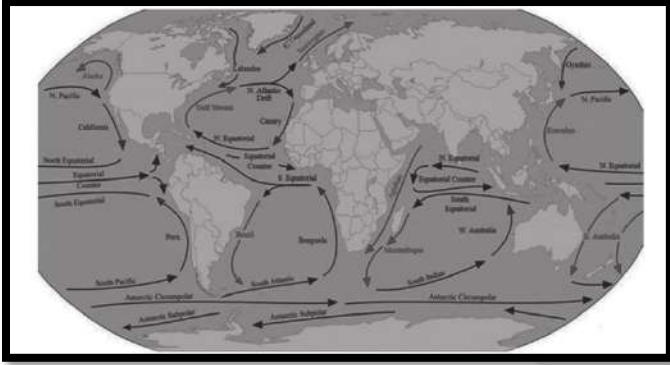
विविध महासागरांमधील महासागर प्रवाह (Ocean Currents in Various Oceans)

- महासागरांमधील प्रवाहांच्या बंद अभिसरण पद्धतीमुळे (closed circulation pattern), प्रत्येक महासागरात एक अभिसरण वलय (circulation gyre) किंवा फक्त वलय (gyre) तयार होते.
- तयार झालेली वलये (Gyres) खालीलप्रमाणे आहेत:
 १. **उत्तर पॅसिफिकमध्ये:** उप-उष्णकटिबंधीय उत्तर पॅसिफिक वलय (Subtropical North Pacific Gyre - SNPG)
 २. **दक्षिण पॅसिफिकमध्ये:** उप-उष्णकटिबंधीय दक्षिण पॅसिफिक वलय (Subtropical South Pacific Gyre - SSPG)

३. **उत्तर अटलांटिकमध्ये:** उप-उष्णकटिबंधीय उत्तर अटलांटिक वलय (Subtropical North Atlantic Gyre - **SNAG**)

४. **दक्षिण अटलांटिकमध्ये:** उप-उष्णकटिबंधीय दक्षिण अटलांटिक वलय (Subtropical South Atlantic Gyre - **SSAG**)

५. **दक्षिण हिंदी महासागरात:** उप-उष्णकटिबंधीय दक्षिण हिंदी वलय (Subtropical South Indian Gyre)



- हिंदी महासागरात महासागर प्रवाह ऋतुमानानुसार (seasonally) त्यांची दिशा बदलतात; त्यामुळे उत्तर हिंदी महासागरात असे कोणतेही वलय तयार होत नाही.
- या सर्व वलयांमध्ये, उप-उष्णकटिबंधीय उत्तर अटलांटिक वलय पर्यावरणाच्या दृष्टिकोनातून (ecological point of view) खूप महत्त्वाचे आहे. याला सरगॅसो समुद्र (Sargasso Sea) म्हणूनही ओळखले जाते.

सरगॅसो समुद्राची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Sargasso Sea)

१. हा किनारपट्टी नसलेला (without coastline) एकमेव समुद्र आहे.
२. येथे महासागर प्रवाहांचे प्रति-चक्रीवादळी अभिसरण (anti-cyclonic circulation) होते, ज्यात खालील प्रवाह समाविष्ट आहेत: उत्तर विषुववृत्तीय प्रवाह (North Equatorial current - दक्षिण सीमा) गल्फ स्ट्रीम (Gulf Stream - पश्चिम सीमा) उत्तर अटलांटिक अपवहन (North Atlantic Drift - उत्तर सीमा) कॅनरी प्रवाह (Canary current - पूर्व सीमा)
३. या समुद्राचे नाव पोर्तुगीज शब्द 'सरगॅसम' (Sargassum) यावरून आले आहे, ज्याचा अर्थ समुद्री तण (seaweeds) असा आहे. सरगॅसम हे मुळ नसलेले तण आहे, जे समुद्राच्या पाण्यावर मुक्तपणे तरंगते.
४. या क्षेत्रात असलेले पाणी शांत आणि गतिहीन (motionless) असते.

५. याचा अक्षांशीय विस्तार 20° उत्तर ते 40° उत्तर आहे आणि रेखांशाचा विस्तार 34° पश्चिम ते 64° पश्चिम आहे.

६. याच्या पाण्याची असामान्य स्पष्टता (exceptional clarity) आहे.

७. या क्षेत्रातील पाण्याचा महासागरातील उर्वरित पाण्याशी कोणताही संबंध नसतो.

८. हे व्यापारी वारे आणि पश्चिमी वारे (westerlies) यांच्या संक्रमण क्षेत्रात (transitional zone) स्थित आहे.

९. या क्षेत्रात वरच्या बाजूने हवेचे अधोगमन (subsidence of the air) होते, ज्यामुळे प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती (anti-cyclonic conditions) आणि पर्यायाने वातावरणीय स्थिरता निर्माण होते.

१०. प्रति-चक्रीवादळी परिस्थितीमुळे, येथे उच्च तापमान असते आणि बाष्पीभवनाचा दरही जास्त असतो. परिणामी, अटलांटिक महासागरात या समुद्रात सर्वाधिक क्षारता (36 हजारी भाग) नोंदवली जाते.

११. हा समुद्र ईल माशांची (eel) प्रजननभूमी (breeding ground) आहे.

१२. हा समुद्र लॉगरहेड कासवांचे (loggerhead turtles) खाद्य क्षेत्र (feeding ground) आहे.

१३. मानववंशजन्य क्रियाकलाप, विशेषतः प्लास्टिक प्रदूषणामुळे, या प्रदेशात प्रचंड कचऱ्याचे पट्टे (huge garbage patches) वेगाने वाढत आहेत. हे कचऱ्याचे पट्टे येथील स्थानिक अद्वितीय परिसंस्थेसाठी (local unique ecosystem) गंभीर धोका निर्माण करत आहेत.

महासागर प्रवाहांचे महत्त्व (Significance of Ocean Currents)

१. किनारपट्टीवर समशीतोष्ण परिणाम (Moderating Effect at Coast): उत्तर अटलांटिक अपवहन नॉर्वेजियन किनारपट्टीवर उष्णता आणते, तर कॅनरी प्रवाह स्पेन आणि पोर्तुगालमध्ये थंडपणा आणतो.
२. शीत प्रवाहांचा खंडांच्या पश्चिम प्रदेशातील वाळवंट निर्मितीवर थेट परिणाम होतो. उदाहरणार्थ: अटाकामा वाळवंट पेरू प्रवाहाजवळ आहे, मोहावी वाळवंट शीत कॅलिफोर्निया प्रवाहाजवळ आहे.
३. उष्ण महासागर प्रवाह किनारपट्टीच्या प्रदेशात पाऊस आणतात. उदाहरणार्थ: उष्ण महासागर प्रवाह ब्रिटिश प्रकारच्या हवामानात पाऊस आणतो.
४. महासागर प्रवाह अति हवामान घटना आणू शकतात. उदाहरणार्थ: गल्फ स्ट्रीम उन्हाळ्याच्या महिन्यांमध्ये अटलांटिक किनारपट्टीचे आणि यूएसएच्या मैदानी प्रदेशांचे तापमान वाढवते आणि तीव्र उष्णतेच्या लाटा (intensive heat waves) आणते.

५. उष्ण आणि शीत महासागर प्रवाह जेथे मिळतात, तेथे दाट धुके तयार होते.
६. शीत आणि उष्ण महासागर प्रवाहांच्या मिश्रणामुळे जगातील सर्वात समृद्ध मत्स्योत्पादनाचे क्षेत्र तयार होतात. उदा. कॅनडाच्या न्यू फाउंडलँडजवळील ग्रँड बँक (Grand bank), इंग्लंडजवळील डोगर बँक (Dogger bank).
७. उष्ण आणि शीत प्रवाहांच्या मिश्रणामुळे ऑक्सिजनचा पुरवठा होतो आणि फायटोप्लँक्टनच्या (phytoplankton) वाढीस प्रोत्साहन मिळते. यामुळे कार्बन डायऑक्साइडचे शोषण होण्यास मदत होते आणि जागतिक तापमानवाढ (global warming) कमी होण्याची मोठी क्षमता मिळते.
८. महासागर प्रवाहामुळे ऊर्ध्वगामी वहन (upwelling) होते, ज्यामुळे पोषक तत्वांनी समृद्ध पाणी पृष्ठभागावर येते आणि समृद्ध मासेमारी क्षेत्रे तयार होतात. उदाहरणार्थ: पेरू किनारपट्टीजवळील ऊर्ध्वगामी वहन.
९. एल-निनो ही दक्षिण पॅसिफिक महासागर प्रवाह प्रणालीतील बदललेली स्थिती आहे, जिथे उष्ण प्रति-विषुववृत्तीय प्रवाह शीत पेरू प्रवाहाची जागा घेतो, ज्यामुळे भारतीय उपखंडातील मान्सूनसह जागतिक हवामानावर परिणाम होतो.
१०. महासागर प्रवाहांचा व्यापार आणि नौकानयनावर मोठा प्रभाव असतो (उदा. प्रवाहांमुळे वेळेची बचत होते).
११. महासागर प्रवाह सागरी प्राण्यांना स्थलांतर (migration) करण्यात मदत करतात.

समुद्र पातळीतील वाढ: कारणे, परिणाम आणि पुढील दिशा (Sea Level Rise: Causes, Impacts and Way Forward)

प्रस्तावना (Introduction)

समुद्र पातळीतील वाढ हा जागतिक हवामान बदलाचा (global climate change) सर्वात दृश्य परिणाम आहे. आंतरसरकारी हवामान बदल पॅनेल (IPCC) नुसार, १९०० पासून जागतिक सरासरी समुद्र पातळी सुमारे २० सें.मी. ने वाढली आहे आणि अलीकडील दशकांमध्ये वाढीचा दर वेगवान झाला आहे. ही घटना किनारपट्टीवरील परिसंस्था, पायाभूत सुविधा आणि उपजीविकेसाठी गंभीर धोका निर्माण करते, ज्यामुळे हा शाश्वत विकास (sustainable development) आणि हवामान लवचिकतेसाठी (climate resilience) एक महत्त्वपूर्ण मुद्दा बनला आहे.

समुद्र पातळी वाढण्याची कारणे (Causes of Sea Level Rise)

- महासागरांचे औष्णिक प्रसरण (Thermal Expansion of Oceans):
 - हरितगृह वायूंमुळे (greenhouse gases) अडकलेल्या अतिरिक्त उष्णतेपैकी सुमारे ९०% उष्णता महासागर शोषून घेतात.
 - गरम पाणी प्रसरण पावते, ज्यामुळे समुद्र पातळी वाढते.
- हिमनदी आणि बर्फाच्या चादरीचे वितळणे (Melting of Glaciers and Ice Sheets):
 - ग्रीनलँड आणि अंटार्क्टिकामधील बर्फाच्या चादरी अभूतपूर्व दराने (unprecedented rates) वस्तुमान गमावत आहेत.
 - हिमालयीन हिमनद्यांचा माघार (Himalayan glacier retreat) देखील प्रादेशिक स्तरावर योगदान देते.
- ध्रुवीय बर्फाचे वितळणे आणि सागरी बर्फात घट (Melting of Polar Ice Caps & Sea Ice Decline):
 - सागरी बर्फ वितळल्याने थेट पाण्याची भर पडत नसली तरी, ते परावर्तन क्षमता (reflectivity - albedo) कमी करते, ज्यामुळे तापमानवाढ वेगवान होते.
- मानववंशजन्य कारणे (Anthropogenic Causes):
 - भूजल उपसा (Groundwater extraction) आणि जलाशयांचा कमी झालेला साठा (reservoir depletion) अप्रत्यक्षपणे योगदान देतात.

जागतिक परिणाम (Global Impacts)

- किनारपट्टीवरील पूर आणि वादळी लाटा (Coastal Flooding and Storm Surges): उच्च मूलभूत समुद्र पातळीमुळे चक्रीवादळे आणि हरिकेनची तीव्रता वाढते.
- विस्थापन आणि स्थलांतर (Displacement and Migration): सखल बेटे (उदा. मालदीव, किरिबाती) आणि महानगरे (उदा. जकार्ता, मियामी, ढाका) अस्तित्वाच्या धोक्याचा सामना करत आहेत.
- परिसंस्थेचे नुकसान (Loss of Ecosystems): खारफुटी (Mangroves), पाणथळ जागा

(wetlands) आणि प्रवाळ बेटे (coral reefs) धोक्यात आहेत.

- आर्थिक परिणाम (Economic Impacts): बंदरे, मत्स्यव्यवसाय आणि किनारपट्टीच्या पायाभूत सुविधांचे नुकसान.

भारतीय संदर्भ (Indian Context)

- संवेदनशीलता (Vulnerability): भारताला ७,५०० किमीचा किनारा लाभलेला आहे, ज्यावर १७० दशलक्षाहून अधिक लोक अवलंबून आहेत.
- धोक्यात असलेले प्रदेश (At-Risk Regions): सुंदरबन, मुंबई, चेन्नई आणि कोची हे अत्यंत संवेदनशील आहेत.
- मत्स्यव्यवसाय आणि कृषी (Fisheries and Agriculture): समुद्र पाण्याने आत शिरकाव (Saltwater intrusion) केल्याने पश्चिम बंगाल आणि ओडिशा सारख्या राज्यांमध्ये भातशेती आणि पिण्याच्या पाण्याला धोका निर्माण होतो.
- आपत्तीची तीव्रता वाढणे (Disaster Intensification): चक्रीवादळे (उदा. फनी, अम्फान) उच्च समुद्र पातळीमुळे अधिक विनाश घडवतात.

आंतरराष्ट्रीय रूपरेखा (International Frameworks)

- पॅरिस करार (Paris Agreement - २०१५): जागतिक तापमानवाढ २°C पेक्षा खाली ठेवण्याचे उद्दिष्ट आहे, ज्यामुळे समुद्र पातळी वाढीचा धोका अप्रत्यक्षपणे कमी होतो.
- सेंदई रूपरेखा (Sendai Framework - २०१५-२०३०): आपत्ती जोखीम कमी करण्यावर लक्ष केंद्रित करते, यात किनारपट्टीची लवचिकता समाविष्ट आहे.
- संयुक्त राष्ट्र शाश्वत विकास उद्दिष्टे (SDGs): उद्दिष्टे १३ (हवामान कृती) आणि १४ (पाण्याखालील जीवन) समुद्र आणि हवामान लवचिकतेवर लक्ष केंद्रित करतात.

शमन आणि अनुकूलन धोरणे (Mitigation and Adaptation Strategies)

१. शमन (Mitigation - कमी करणे):

- हरितगृह वायूंचे उत्सर्जन कमी करणे.
- वनीकरण आणि पाणथळ जागा संवर्धनाद्वारे कार्बन सिंक (carbon sinks) वाढवणे.

२. अनुकूलन (Adaptation - जुळवून घेणे):

- किनारपट्टी संरक्षण (Coastal Protection): समुद्री भिंती (Sea walls), बंधारे (dikes), खारफुटीचे पुनर्संचयन (mangrove restoration).
- शहरी नियोजन (Urban Planning): हवामान-लवचिक पायाभूत सुविधा आणि झोनिंग कायदे.
- तातडीची सूचना प्रणाली (Early Warning Systems): आपत्तीची तयारी सुधारणे.
- समुदाय-आधारित अनुकूलन (Community-Based Adaptation): स्थानिक लोकांना ज्ञान आणि संसाधनांसह सक्षम करणे.

३. तांत्रिक उपाय (Technological Measures):

- समुद्र पातळीच्या प्रवृत्तींचे उपग्रहांद्वारे निरीक्षण (Satellite monitoring).
- शाश्वत निर्जलीकरण (desalination) आणि जल व्यवस्थापन पद्धती.

पुढील दिशा (Way Forward)

समुद्र पातळीतील वाढ ही एक हळू गतीची आपत्ती (slow-onset disaster) आहे, परंतु तिचे परिणाम अपरिवर्तनीय (irreversible) असू शकतात. यासाठी बहुआयामी दृष्टिकोन (multi-pronged approach) आवश्यक आहे:

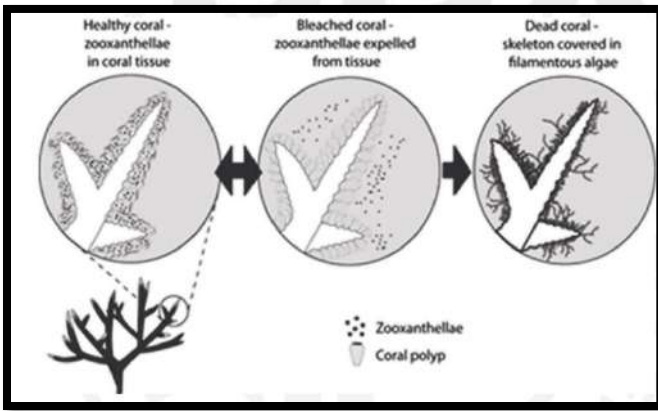
- आंतरराष्ट्रीय हवामान प्रतिबद्धता बळकट करणे.
- लवचिक किनारपट्टीच्या पायाभूत सुविधांमध्ये गुंतवणूक करणे.
- हवामान अनुकूलनाला विकासात्मक धोरणांमध्ये समाविष्ट करणे.
- आपत्ती जोखीम कमी करण्यासाठी हिंदी महासागर प्रदेशात प्रादेशिक सहकार्याला प्रोत्साहन देणे.

प्रवाळ (Corals) हे जेलीफिश या सागरी प्राण्यांच्या श्रेणीतील सजीव (polyps) आहेत.

प्रवाळ **प्रवाळ खडक (coral reefs)** बांधण्यासाठी जबाबदार असतात. **प्रवाळ खडक** म्हणजे असंख्य जिवंत तसेच मृत प्रवाळांच्या सिमेंटने बांधलेल्या, कॉम्पॅक्ट आणि ताठर (rigid) भव्य संरचना (massive structures) होत.

प्रवाळ सजीव पाण्याच्या पातळीच्या वर जगू शकत नाहीत आणि म्हणून ते नेहमी **समुद्र पातळीपर्यंत** किंवा **त्याखाली** आढळतात. **प्रवाळ सजीव** अनेकदा त्यांचे **सहजीवन भागीदार** असलेल्या **झूझॅथेली शेवाळासह (Zooxanthellae algae)** अस्तित्वात असतात. हे शेवाळ जिवंत प्रवाळांच्या **एकूण अन्न गरजांपैकी ६०%** पेक्षा जास्त पुरवते आणि प्रवाळांचे **उत्सर्जन** आणि **टाकाऊ पदार्थ (excreta and waste) पुनर्वापरित (recycle)** करते. या बदल्यात, प्रवाळ सजीव त्यांना त्यांच्या शरीरात **आश्रय (shelter)** देतात. या शेवाळाला **विविध रंग** असल्यामुळे प्रवाळ खडकांना **भव्य रंग** मिळतात. प्रवाळ खडकांमध्ये **उष्णकटिबंधीय पर्जन्यवनांपेक्षा (tropical rainforests)** जास्त **जैविक विविधता (diversity)** असल्याने त्यांना **महासागरांचे पर्जन्यवन (rainforests of the oceans)** असेही म्हणतात.

प्रवाळांच्या **पर्यावरणातील परिस्थिती बदलल्यामुळे, झूझॅथेली शेवाळ सहजीवन भागीदारी सोडून देते किंवा मरून जाते.** शेवाळामुळे **प्रवाळांचा रंग जातो** आणि या घटनेला **प्रवाळ विरंजन (Coral Bleaching)** म्हणून ओळखले जाते.



प्रवाळ सजीवांच्या वाढीसाठी आवश्यक परिस्थिती (Conditions for the Growth of Coral Polyps)

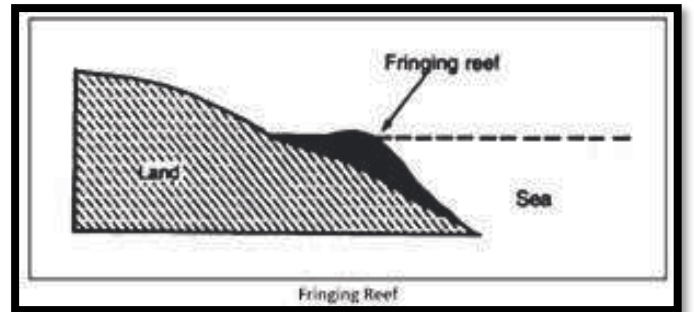
- त्यांना **२०°C ते २९°C** दरम्यानचे सरासरी वार्षिक तापमान (mean annual temperature) आवश्यक आहे. त्यामुळे प्रवाळ सजीव **२५° उत्तर ते २५° दक्षिण अक्षांशांदरम्यान**

मर्यादित असलेल्या **उष्णकटिबंधीय महासागरात (tropical oceans)** वाढतात.

- पुरेशा सूर्यप्रकाशाच्या** आणि **ऑक्सिजनच्या** कमतरतेमुळे प्रवाळ **जास्त खोल पाण्यात** (२०० ते २५० फुटांपेक्षा जास्त नाही) जगू शकत नाहीत.
- स्वच्छ, गाळमुक्त पाणी** (sediment free water) आवश्यक आहे, कारण **चिखलाचे पाणी** किंवा **गढूळ पाणी (turbid water)** प्रवाळ सजीवांचे **तोंड बंद करते** (clog the mouths), ज्यामुळे त्यांचा **मृत्यू** होतो.
- गोडे पाणी** देखील प्रवाळ सजीवांसाठी **हानिकारक** आहे, म्हणूनच ते **नदीमुखांच्या (river mouths)** क्षेत्रापासून दूर राहतात.
- महासागरीय **क्षारतेचे खूप उच्च प्रमाण** देखील हानिकारक आहे, कारण त्यांना अन्नासाठी **सोडियमएवजी कॅल्शियम कार्बोनेट** आवश्यक आहे. आवश्यक असलेली **आदर्श महासागरीय क्षारता २७ ते ३० हजारी भाग (‰)** दरम्यान असते.
- महासागर प्रवाह** आणि **लाटा** प्रवाळांसाठी **अनुकूल** आहेत, कारण ते **आवश्यक अन्न पुरवठा** आणि **महत्वाचे पोषक घटक (vital nutrients)** आणतात.
- विस्तृत पाणबुडी मंच** (Extensive Submarine Platforms) प्रवाळांच्या विकासासाठी **संवर्धनाचे मैदान (thriving grounds)** आहेत.
- किमान मानवी क्रियाकलाप, किंवा कमी प्रदूषण,** प्रवाळांसाठी **अनुकूल परिस्थिती** आहे.

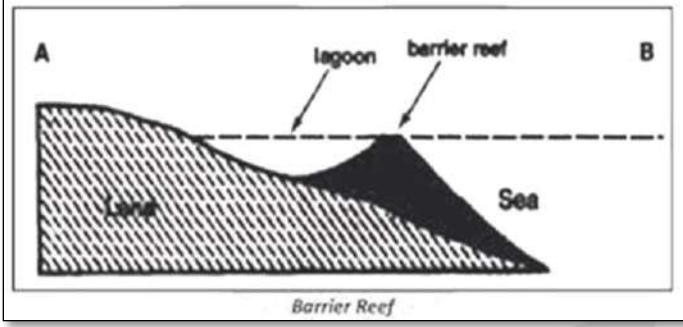
प्रवाळ खडकांचे प्रकार (Types of Coral Reefs)

- किनारी प्रवाळ खडक (Fringing Reefs):** हे **खंडीय कडांवर (continental margins)** किंवा **बेटांच्या बाजूने** विकसित होतात. ते थेट **किनारपट्टीला (coast line)** जोडलेले असतात. उदा. बहामास, कॅरिबियन बेटे इत्यादी.

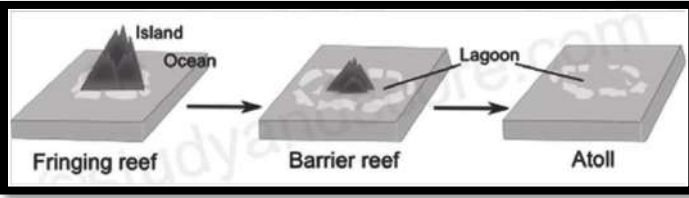


- तटबंध प्रवाळ खडक (Barrier Reef):** हे **किनारपट्टीच्या मंचांपासून दूर,** परंतु **किनारपट्टीला समांतर** विकसित होतात. या प्रवाळ खडकांमध्ये आणि किनारपट्टीमध्ये **पाण्याने भरलेले अंतर** असते. या अंतराला **खाडी (Lagoon)** म्हणून ओळखले जाते. तटबंध प्रवाळ खडक **क्वचितच सतत (continuous)** आढळतात. कधीकधी, ते **अनेक ठिकाणी तुटलेले** असतात,

जिथे खाडी समुद्रात उघडते, ज्याला बोथ चॅनेल म्हणून ओळखले जाते आणि हे भरती-ओहोटीच्या मार्गातून (tidal inlets) तयार होतात.



३. अटोल (Atoll): अरुंद वाढणाऱ्या प्रवाळांची घोड्याच्या नालाच्या आकाराची (horseshoe shape) आणि पाम वृक्षांनी वेढलेली वलये यास अटोल म्हणतात. हे साधारणपणे एका बेटाभोवती (island atoll) आढळतात किंवा काहीवेळा त्यांच्या आत बेट नसते (true atoll). उदा. एलिस बेटावरील फुनाफुटी अटोल (Funafuti Atoll), मालदीवचे अटोल इत्यादी.



प्रवाळ विरंजन (Coral Bleaching)

वर नमूद केल्याप्रमाणे, प्रवाळ विरंजन म्हणजे प्रवाळ सजीव आणि झूझंथेली शेवाळ यांच्यातील सहजीवन भागीदारीचा अंत होणे, ज्यामुळे प्रवाळ खडकांचा रंग उडून जातो (decoloration) आणि परिणामी प्रवाळ सजीवांचा मृत्यू होतो.

तीव्रतेनुसार प्रवाळ विरंजनाचे प्रकार (Types of Coral Bleaching Based on Intensity)

१. विनाशकारी विरंजन (Catastrophic Bleaching): सुमारे ७०-९५% उथळ पाण्यातील प्रवाळ प्रतिकूलरित्या प्रभावित होतात. उदा. बहरीन, मालदीव, श्रीलंका, सिंगापूर आणि टांझानिया.
२. गंभीर विरंजन (Severe Bleaching): सुमारे ५० ते ७०% उथळ पाण्यातील प्रवाळ प्रभावित होतात. उदा. केनिया, सेशेल्स, जपान, थायलंड आणि व्हिएतनाम.
३. मध्यम विरंजन (Moderate Bleaching): सुमारे २० ते ५०% उथळ पाण्यातील प्रवाळ प्रतिकूलरित्या प्रभावित होतात. * अशा प्रकारच्या प्रवाळांमध्ये जलद पुनर्प्राप्ती (Quick recovery) शक्य आहे.

४. नगण्य विरंजन किंवा विरंजन नाही (Insignificant Bleaching or No Bleaching): दुर्दैवाने, असे प्रवाळ खडक अस्तित्वात नाहीत. सर्व प्रवाळ खडक मानववंशजन्य क्रियाकलापांमुळे कमी-अधिक प्रमाणात प्रतिकूलरित्या प्रभावित होतात.

प्रवाळ विरंजनाची कारणे (Causes of Coral Bleaching)

१. महासागराच्या तापमानात वाढ (Increase in Ocean Temperature): जागतिक तापमानवाढ, औद्योगिक सांडपाणी, शहरी सांडपाणी, जहाज वाहतूक, एल-निनो घटना इत्यादी विविध कारणांमुळे.
२. महासागराचे आम्लीकरण (Ocean Acidification).
३. हिमनद्या वितळल्यामुळे गोड्या पाण्याचा वाढलेला अंतर्वाह.
४. समुद्र पातळी वाढणे: वाढत्या समुद्र पातळीमुळे प्रवाळ जास्त खोल पाण्यात ढकलले जातात, जिथे शेवाळाच्या प्रकाशसंश्लेषणासाठी (photosynthesis) सूर्यप्रकाशाच्या उपलब्धतेअभावी त्यांचे जगणे कठीण होते.
५. प्रवाळ रोगांचा उद्रेक (Outbreak of coral diseases - epizootics).
६. वाढते शहरीकरण, जंगलतोड, प्रदूषण इत्यादींमुळे समुद्रात गाळाचे प्रमाण वाढणे (Increase in siltation).
७. शेतीतील क्रियाकलापांमध्ये कीटकनाशके (pesticides) आणि तणनाशकांचा (herbicides) वाढता वापर.
८. मायक्रोबीड्स (microbeads) असलेली सौंदर्य प्रसाधने (Cosmetics) समुद्रात वाहून जातात. असे मायक्रोबीड्स प्रवाळांचे तोंड बंद करतात, ज्यामुळे त्यांचा मृत्यू होतो.
९. जिप्समसाठी प्रवाळांचे मोठ्या प्रमाणात उत्खनन (mined heavily) केले जाते.

सागरी संसाधने (Marine Resources)

(A) जैविक संसाधने (Biotic Resources):

१. अन्न संसाधने (Food Resources): यात मासे, सागरी गवत (sea grass), शेवाळ (algae), समुद्री तण (seaweed) इत्यादींचा समावेश आहे.
२. अन्न नसलेली संसाधने (Non-food Resources): प्रवाळ.

(B) अजैविक संसाधने (Abiotic Resources):

१. खनिज संसाधने (Mineral Resources):
 - (i) धातू (Metals): पॉलीमेटॅलिक गाठी (Polymetallic nodules): हे महासागराच्या पाण्यात विरघळलेल्या स्वरूपात असतात. उदा. सोने, जस्त, युरेनियम, थोरियम इत्यादी. प्लेसर डिपॉझिट्स (Placer deposits): हे खंडीय शेल्फ (continental shelf), खंडीय उतार आणि

महासागर तळावर जमा होतात. ते सामान्यतः खंडांवर वाहणाऱ्या नद्यांद्वारे आणले जातात. उदा. झिरकॉन, मोनाझाइट, मॅग्नेटाइट, प्लॅटिनम, सल्फर इत्यादी.

(ii) अधातू (Nonmetals): यात मुख्यतः विविध मीठ आणि बांधकाम साहित्य (construction materials) जसे की दगड (gravel) आणि वाळू (sand) यांचा समावेश होतो.

२. ऊर्जा संसाधने (Energy Resources):

(i) नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत (Renewable Energy Sources): यात भरती-ओहोटी ऊर्जा (tidal energy), महासागरीय औष्णिक ऊर्जा (ocean thermal energy) आणि महासागर लाट ऊर्जा (ocean wave energy) यांचा समावेश होतो. समुद्रातील पवन ऊर्जा आणि तरंगणारे अणु प्रकल्प (floating nuclear plants) देखील प्रयोगाधीन आहेत.

(ii) अपारंपरिक ऊर्जा स्रोत (Non-renewable Energy Sources): यात पेट्रोलियम आणि नैसर्गिक वायू यांचा समावेश होतो.

PRAYAAS

वातावरण (Atmosphere)

वातावरण हे जाड वायुरूप आवरण (thick gaseous envelope) आहे, जे पृथ्वीला चारी बाजूंनी वेढून टाकते आणि गुरुत्वाकर्षण बळामुळे (gravitational force) पृथ्वीच्या पृष्ठभागाशी जोडलेले आहे. समुद्रसपाटीपासून वातावरणाची उंची १६ ते २९,००० किमी दरम्यान अंदाजित केली जाते. परंतु वातावरणाचा ९७% भाग २९ किमी उंचीपर्यंत आहे.

वातावरणाची रचना (Composition of Atmosphere)

वातावरण खालील घटकांनी बनलेले आहे:

- वायू (Gases):
 - नायट्रोजन (Nitrogen): ७८%²
 - ऑक्सिजन (Oxygen): २१%³
 - आर्गॉन (Argon): ०.९३%⁴
 - कार्बन डायऑक्साइड (Carbon Dioxide): ०.०३%
- बाष्प (Water Vapour):
 - वातावरणाच्या एकूण घनफळाच्या ०-५% पर्यंत असते आणि यापैकी ९०% बाष्प ५ किमी उंचीपर्यंत आढळते, जे विविध हवामान घटनांशी (weather phenomena) संबंधित आहे.
- कण (Particulates):
 - यात धुळीचे कण (dust particles), मिठाचे कण (salt particles), परागकण (pollen grains), धूर (smoke), ज्वालामुखीची राख (volcanic ash) इत्यादींचा समावेश होतो.

वातावरणाची संरचना (Structure of Atmosphere)

तापमान आणि हवेचा दाब या वैशिष्ट्यांच्या आधारावर, वातावरणाचे चार थर आहेत:

१. तपांबर (Troposphere)

- हा वातावरणाचा सर्वात खालचा थर आहे.
- जवळजवळ सर्व हवामान घटना (उदा. धुके, ढग, दव, दंव, पर्जन्यमान, वीज पडणे इत्यादी) या थराशी संबंधित आहेत.
- येथे, उंची वाढल्याने तापमान कमी होते (दर १००० मीटरला 6.5°C या दराने, ज्याला सामान्य न्हास दर - Normal Lapse Rate म्हणतात).
- विषुववृत्तापासून ध्रुवांकडे तपांबराची उंची कमी होते.

- विषुववृत्तावर तपांबराची सरासरी उंची सुमारे १६ किमी असते.
- ध्रुवांवर ती सुमारे ६ ते ८ किमी असते.
- उन्हाळ्यात याची उंची वाढते, तर हिवाळ्यात ती कमी होते.
- तपांबराच्या वरच्या मर्यादिला तपस्तब्धी (Tropopause) म्हणतात. तपस्तब्धीची उंची तपांबरातील फरकानुसार बदलते.

२. स्थितांबर (Stratosphere)

- हा थर तपांबराच्या अगदी वर स्थित आहे.
- स्थितांबराची सरासरी वरची मर्यादा ५० किमी आहे.
- येथे ओझोनच्या उपस्थितीमुळे (due to presence of ozone) तापमान हळूहळू वरच्या दिशेने वाढते.
- ओझोनचा थर स्थितांबराच्या खालच्या मर्यादेवर उपस्थित असतो.
- ओझोनचा थर हानिकारक अल्ट्राव्हायोलेट किरणे शोषून घेतो, ज्यामुळे ते पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर पोहोचण्यापासून थांबतात. या प्रक्रियेत, ओझोनचा थर गरम होतो आणि परिणामी स्थितांबरही गरम होते.
- स्थितांबर प्रमुख हवामान घटनांपासून मुक्त आहे. परंतु खालच्या स्थितांबरात अल्पशक्तीचे वारे (feeble winds) आणि सिरस ढगांचे (cirrus clouds) अभिसरण होते.
- स्थितांबराच्या वरच्या मर्यादिला स्तबध सीमा (Stratopause) म्हणतात.⁵

३. मध्यांबर (Mesosphere)

- हा थर ५० ते ८० किमी दरम्यान पसरलेला आहे.
- येथे उंची वाढल्याने हवेचे तापमान पुन्हा कमी होते.
- मध्यांबराच्या वरच्या मर्यादिला मध्यस्तब्धी (Mesopause) म्हणतात.⁶

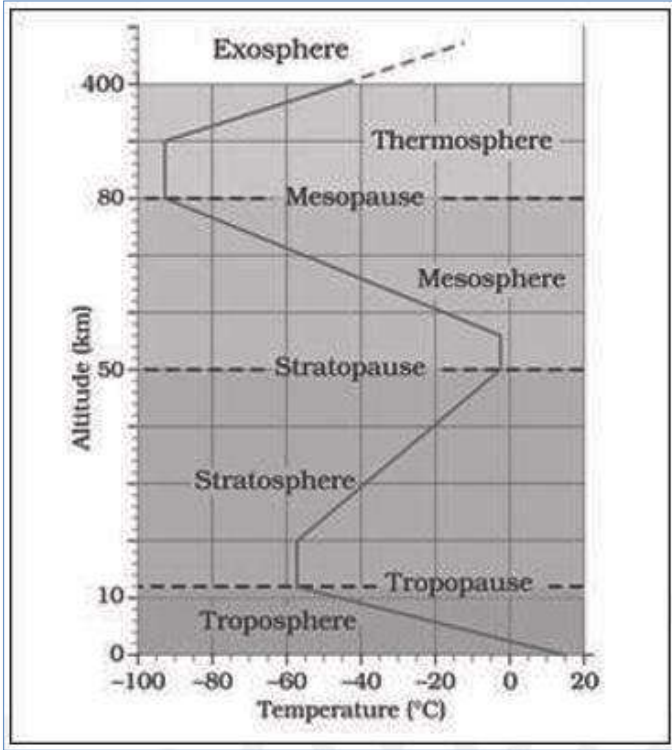
४. उष्णांबर (Thermosphere)

- हा थर मध्यस्तब्धीच्या पलीकडे स्थित आहे आणि वातावरणाची बाह्य मर्यादा बनवतो.
- येथे, उंची वाढल्याने तापमान वेगाने वाढते.
- अत्यंत कमी घनता आणि कमी गुरुत्वाकर्षण बळामुळे वायू खूप हलके (very light) होतात, म्हणूनच उष्णांबरात उष्णता जाणवत नाही.
- याचे दोन थर आहेत:

(अ) आयनांबर (Ionosphere):

- हा थर ८० ते ६४० किमी पर्यंत पसरलेला आहे.

- या वातावरणीय थरात अनेक आयनिक थर (ionic layers) आहेत.
- सूर्याच्या किरणोत्सर्गामुळे (radiation) या थरातील वायू आयनीभूत (ionised) होतात; म्हणूनच या थराला आयनांबर म्हणतात.
- हा थर उपग्रह दळणवळण (satellite communication) आणि रेडिओ दळणवळणामध्ये (radio communication) खूप महत्त्वाची भूमिका बजावतो.



(ब) बाह्यांबर (Exosphere):

- हा वातावरणाचा सर्वात बाहेरील थर (outermost layer) आहे.
- वायूंची तीव्रता अत्यंत कमी होते आणि तापमान खूप जास्त होते.

वातावरणाची रासायनिक रचना (Chemical Composition of the Atmosphere)

१. समरूपता थर (Homosphere)

- हा वातावरणाचा खालचा भाग आहे आणि समुद्रसपाटीपासून ९० किमी उंचीपर्यंत पसरलेला आहे.
- विविध वायूंच्या प्रमाणाच्या एकरूपतेमुळे (homogeneity of the proportion) याला

समरूपता थर म्हणतात. (नायट्रोजन ७८% आणि ऑक्सिजन २१%).

- संरचनेनुसार, समरूपता थराचे तपांबर, स्थितांबर आणि मध्यांबर यामध्ये विभाजन केले जाते.

२. विषमरूपता थर (Heterosphere)

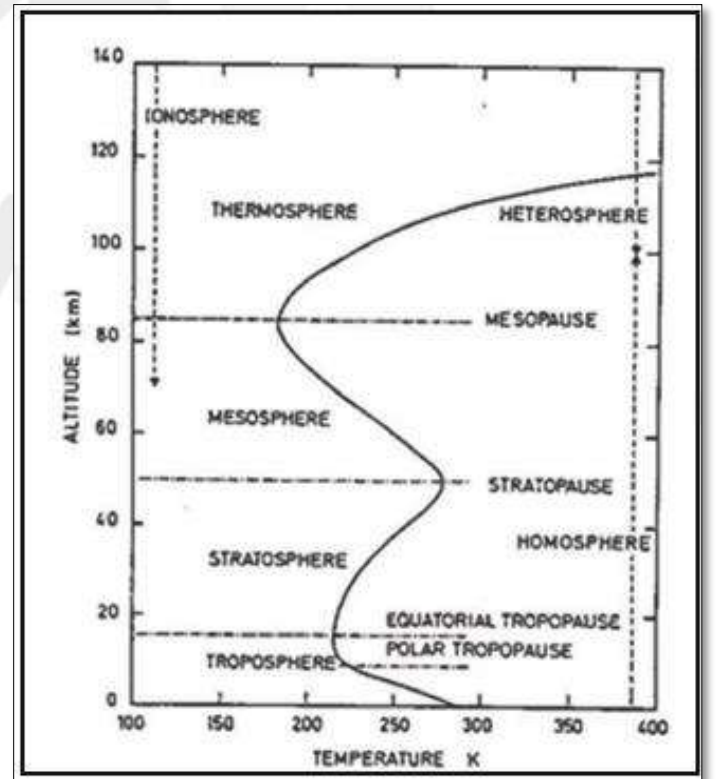
- हा थर ९० किमी ते १०,००० किमी पर्यंत पसरलेला आहे.
- विशिष्ट वायूंचे प्राबल्य (dominance) आणि त्यांच्या भौतिक गुणधर्मानुसार याचे पुढे विविध थरांमध्ये विभाजन केले जाते:

(i) आण्विक नायट्रोजन थर (Molecular Nitrogen Layer): ९० ते २०० किमी

(ii) अणु ऑक्सिजन थर (Atomic Oxygen Layer): २०० ते १,१०० किमी

(iii) हेलियम थर (Helium Layer): १,१०० किमी ते ३,५०० किमी

(iv) अणु हायड्रोजन थर (Atomic Hydrogen Layer): ३,५०० किमी ते वातावरणाच्या सर्वात वरच्या मर्यादेपर्यंत.



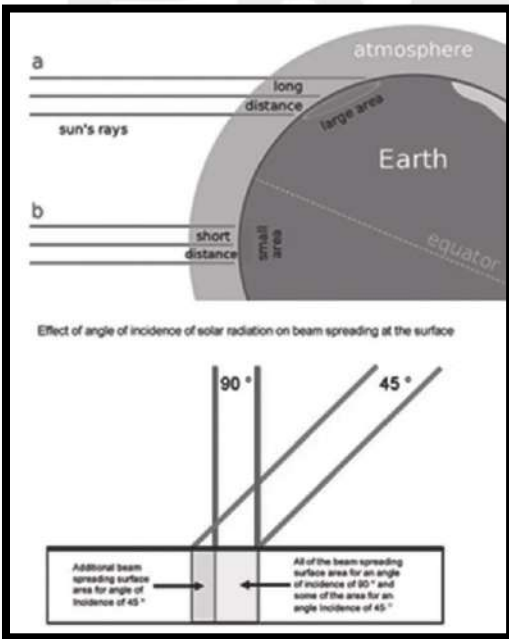
पृथ्वीला उष्णता ऊर्जा तीन मूलभूत स्रोतांकडून मिळते: सौर विकिरण (solar radiation), गुरुत्वाकर्षण (gravity) आणि पृथ्वीच्या आतून येणारे अंतर्गतजन्म बळे (endogenic forces). यापैकी, सौर विकिरण हे पृथ्वीच्या उष्णता ऊर्जेचे सर्वात महत्त्वाचे स्रोत आहे.

सूर्याकडून पृथ्वी आणि तिच्या वातावरणाद्वारे प्राप्त होणारी तेजस्वी ऊर्जा (radiant energy) यास सूर्याचे तापमान (Insolation) म्हणतात. पृथ्वीला मिळणारी सौर ऊर्जा सर्व ठिकाणी सारखी नसते. सौर ऊर्जेच्या या भिन्न प्राप्तीमुळे (differential reception) पृथ्वीचा पृष्ठभाग वेगवेगळ्या प्रमाणात तापतो, ज्यामुळे विविध दाब पट्टे (pressure belts) तयार होतात आणि परिणामी वाऱ्यांचे अभिसरण होते.

सूर्याच्या तापमानाचे वितरण (Distribution of Insolation)

पृथ्वीच्या आकारामुळे (shape), सर्व ठिकाणी मिळणारे सूर्याचे तापमान सारखे नसते.

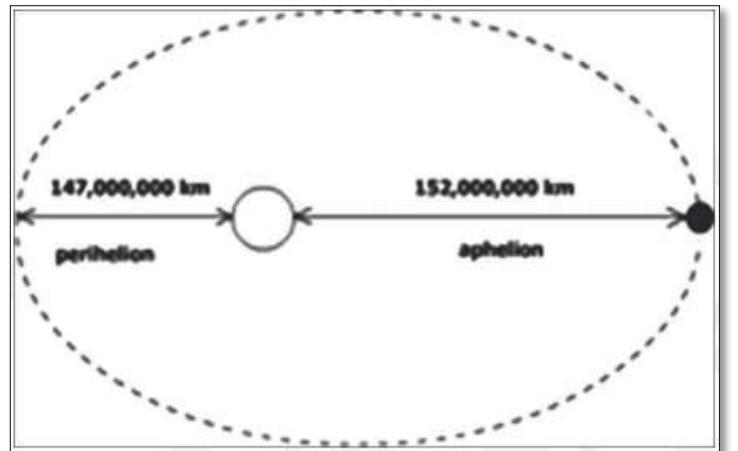
- ध्रुवांवर मिळणारे सूर्याचे तापमान विषुववृत्तावर मिळणाऱ्या तापमानाच्या केवळ ४०% असते.
 - मिळणाऱ्या सूर्याच्या तापमानाच्या प्रमाणाच्या आधारावर पृथ्वीचे तीन पट्ट्यांमध्ये विभाजन केले आहे:
१. कमी अक्षांश किंवा उष्णकटिबंधीय पट्टा (Low Latitude or Tropical Zone): हा कर्कवृत्त आणि मकरवृत्ताच्या दरम्यान पसरलेला आहे. सर्व ठिकाणी वर्षातून दोनदा डोक्यावर सूर्य (overhead sun) असतो आणि प्रत्येक ठिकाणी वर्षातून दोनदा कमाल आणि किमान सूर्याचे तापमान मिळते.



२. मध्य अक्षांश पट्टा (Middle Latitude Zone): हा दोन्ही गोलार्धांमध्ये उष्ण कटिबंध आणि ध्रुवीय वृत्तांच्या दरम्यान, म्हणजे २५° ते ६६° अक्षांशांदरम्यान पसरलेला आहे. या पट्ट्यात वर्षातून एकदा कमाल आणि एकदा किमान सूर्याचे तापमान मिळते. * वर्षाच्या कोणत्याही वेळी सूर्याचे तापमान शून्य नसते. कोणत्याही ठिकाणी डोक्यावर सूर्य नसतो.
३. ध्रुवीय पट्टा (Polar Zone): हा दोन्ही गोलार्धांमध्ये ६६° पासून ध्रुवांपर्यंत पसरलेला आहे. प्रत्येक ठिकाणी वर्षातून एकदा कमाल आणि एकदा किमान सूर्याचे तापमान मिळते. कोणत्याही ठिकाणी डोक्यावर सूर्य नसतो. थेट सूर्यकिरणे अनुपस्थित असल्यामुळे काहीवेळा सूर्याचे तापमान शून्य होते.

सूर्याच्या तापमानाच्या वितरणावर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting the Distribution of Insolation)

१. अक्षांश (Latitudes): अक्षांश पृथ्वीच्या पृष्ठभागाशी सूर्यकिरणांचा कोन निश्चित करतो. कमी अक्षांशाजवळ (विषुववृत्ताजवळ) सूर्यकिरणे जवळजवळ उभी (vertical) असतात आणि कोन काटकोन असतो, तर अक्षांश वाढल्यास (ध्रुवांकडे जाताना) पृथ्वीच्या पृष्ठभागाशी सूर्यकिरणांनी केलेला कोन कमी होऊ लागतो. उभे किरण पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या किमान क्षेत्रावर पसरतात आणि ते किमान क्षेत्र तापवतात, त्यामुळे प्रति एकक क्षेत्रफळात प्राप्त होणारी ऊर्जा वाढते. याउलट, तिरकस किरणे (oblique rays) पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या मोठ्या क्षेत्रावर पसरतात आणि त्यामुळे प्रति एकक क्षेत्रफळात प्राप्त होणाऱ्या ऊर्जेचे प्रमाण कमी होते. तसेच, तिरकस किरणांना उभ्या किरणांपेक्षा जाड वातावरणातून जावे लागते. या प्रवासादरम्यान, परावर्तन (reflection), विकिरण (scattering) आणि शोषणामुळे (absorption) सौर ऊर्जेचे प्रमाण कमी होते.



२. **दिवसाची लांबी (Length of the Day):** लांब दिवस सूर्यप्रकाशासाठी जास्त कालावधी उपलब्ध करतात. थोडक्यात, दिवस जितका लांब, तितके जास्त सूर्याचे तापमान मिळते. उन्हाळी संक्रांतीमध्ये (summer solstice) विषुववृत्तापासून उत्तर ध्रुवाकडे आणि हिवाळी संक्रांतीमध्ये (winter solstice) विषुववृत्तापासून दक्षिण ध्रुवाकडे दिवसाची लांबी वाढत असूनही, सूर्यकिरणांचा कोन कमी होत असल्यामुळे जमिनीच्या पृष्ठभागावर ध्रुवाकडे मिळणाऱ्या सूर्याच्या तापमानाचे प्रमाण लक्षणीयरीत्या कमी होते.
३. **पृथ्वी आणि सूर्य यांच्यातील अंतर (Distance Between the Earth and the Sun):** अपसूर्य स्थिती (Aphelion) (सूर्य आणि पृथ्वीमधील सर्वात दूरचे अंतर) आणि उपसूर्य स्थिती (Perihelion) (सूर्य आणि पृथ्वीमधील सर्वात जवळचे अंतर) सूर्याच्या तापमानाचे प्रमाण निश्चित करतात. ही स्थिती सूर्याच्या तापमानाच्या प्रमाणावर ७% पर्यंत परिणाम करू शकते.
४. **सूर्य डाग (Sun Spots):** सूर्य डागांदरम्यान, सूर्यापासून उत्सर्जित होणारी ऊर्जा वाढते. त्यामुळे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर मिळणाऱ्या सूर्याच्या तापमानाचे प्रमाणही वाढते. दर ११ व्या वर्षी सूर्य डागांची संख्या कमाल असते.
५. **वातावरणाचा परिणाम (Effect of the Atmosphere):** वातावरणातून जाताना, सूर्यकिरणे वातावरणातील वायू आणि धूळ कणांमुळे शोषली जातात, विखुरली जातात आणि परावर्तित होतात, ज्यामुळे सूर्याच्या तापमानाचे एकूण प्रमाण बदलते.

पृथ्वी आणि वातावरणाचे उष्णता अंदाजपत्रक (Heat Budget of the Earth and Atmosphere)

उष्णता अंदाजपत्रक (Heat Budget) म्हणजे पृथ्वीने शोषून घेतलेली लघु तरंग विकिरणाच्या (short wave radiations) स्वरूपातील आवक उष्णता आणि दीर्घ तरंग विकिरणाच्या (long wave radiation) स्वरूपात बाहेर जाणारी बहिर्गत उष्णता यांच्यातील परिपूर्ण संतुलन होय. जर हे संतुलन बिघडले, तर पृथ्वी प्रत्येक वर्षागणिक प्रगतीपथावर गरम किंवा थंड होत जाईल.

पृथ्वीचे सर्वसमावेशक उष्णता अंदाजपत्रक खालीलप्रमाणे विभागले गेले आहे:

१. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाचे उष्णता अंदाजपत्रक (Heat Budget of the Earth Surface)

(अ) आवक सौर विकिरण (Incoming Solar Radiation):

- पृथ्वीला तिची बहुतेक ऊर्जा सूर्याकडून लघु सौर विकिरणांच्या स्वरूपात मिळते.
- समजा, पृथ्वीच्या पृष्ठभागाकडे १०० एकक सौर विकिरण उत्सर्जित झाले.

- यापैकी ३५ एकक विकिरण अंतराळात परत पाठवले जाते:
 - धूळ कणांद्वारे विकिरण (Scattering by dust particle): ६ एकक
 - ढगांमधून परावर्तन (Reflection from the clouds): २७ एकक
 - जमिनीच्या पृष्ठभागावरून परावर्तन (Reflection from the ground surface): २ एकक
- उर्वरित ६५ एकक हे प्रभावी विकिरण (effective radiation) बनते, जे पृथ्वी आणि वातावरणावर पडते.
- या ६५ एककांपैकी, १४ एकक वातावरणातील वायूंद्वारे शोषले जातात.
- त्यामुळे पृथ्वीच्या पृष्ठभागाला केवळ उर्वरित ५१ एकक मिळतात आणि या ५१ एककांचे विभाजन खालीलप्रमाणे होते:
 - थेट सौर विकिरण (Direct Solar Radiation): ३४ एकक
 - विस्तृत दिवसाचा प्रकाश (Diffuse Daylight): १७ एकक

(ब) बहिर्गत पार्थिव विकिरण (Outgoing Terrestrial Radiation):

- बहिर्गत पार्थिव विकिरण हे दीर्घ तरंग विकिरणाच्या स्वरूपात असते आणि याला प्रभावी विकिरण असेही म्हणतात. हे वातावरणाच्या खालच्या भागाला गरम करण्यास मदत करते.
- पृथ्वीच्या पृष्ठभागाला मिळालेल्या एकूण ५१ एककांपैकी,
 - २३ एकक थेट दीर्घ तरंग बहिर्गत पार्थिव विकिरणाद्वारे गमावले जातात.
 - ९ एकक अभिसरण (convection) आणि अशांतता (turbulence) यावर खर्च होतात.
 - उर्वरित १९ एकक बाष्पीभवनाद्वारे (evaporation) पाठवले जातात.
- अशा प्रकारे, आवक विकिरण बहिर्गत विकिरणाने संतुलित होते आणि पृथ्वीच्या पृष्ठभागाचे उष्णता संतुलन साधले जाते.

२. वातावरणाचे उष्णता अंदाजपत्रक (Heat Budget of the Atmosphere)

(अ) वातावरणाद्वारे प्राप्त ऊर्जा (Energy Received by Atmosphere):

वातावरण खालील मार्गांनी ऊर्जा प्राप्त करते:

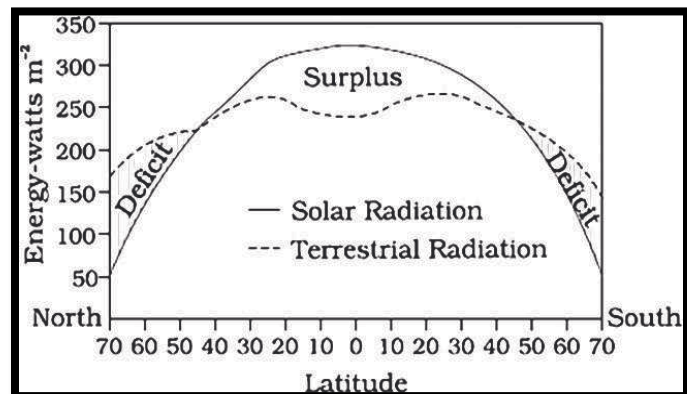
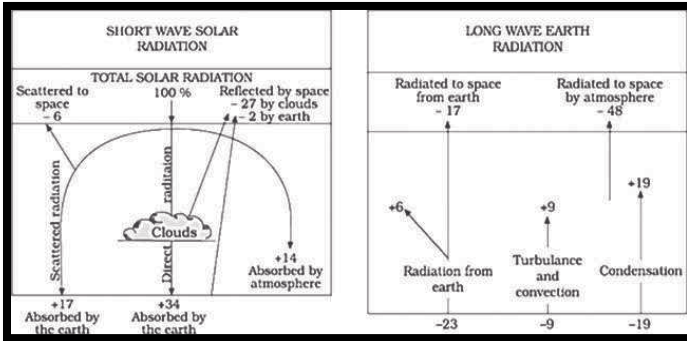
- आवक सौर विकिरणाचे शोषण (Absorption of incoming solar radiation): १४ एकक
- बाष्पीभवनाद्वारे (Through evaporation): १९ एकक
- अभिसरण आणि अशांततेद्वारे (Through convection and turbulence): ९ एकक
- दीर्घ तरंग पार्थिव विकिरणांपैकी (Out of 23 units of longwave terrestrial radiations): ६ एकक वातावरणाद्वारे शोषले जातात.
- अशा प्रकारे, वातावरणाला एकूण ४८ एकक ऊर्जा मिळते.
- वातावरण या संपूर्ण ४८ एकक ऊर्जेचे विकिरणाद्वारे (through radiation) अंतराळात (into the space) विसर्जन (loses) करते.
- अशा प्रकारे, मिळवलेली ऊर्जा गमावलेल्या ऊर्जेने संतुलित केली जाते आणि वातावरणाचे उष्णता संतुलन साधले जाते.
- परंतु हरितगृह वायूमुळे (greenhouse gases) मानववंशजन्य क्रियाकलाप वातावरणाची ऊर्जा धारण करण्याची क्षमता वाढवत आहेत. यामुळे वातावरणाद्वारे प्राप्त ऊर्जा वातावरणाद्वारे गमावलेल्या ऊर्जेपेक्षा जास्त होते. यामुळे जागतिक तापमानवाढ (Global Warming) ही घटना घडते.

निव्वळ विकिरण आणि अक्षांशीय उष्णता संतुलन (Net Radiation and Latitudinal Heat Balance)

- निव्वळ विकिरण (Net Radiation) म्हणजे सर्व आवक सौर ऊर्जा आणि बहिर्गत पार्थिव ऊर्जा यांच्यातील फरक होय.
- उष्णता अंदाजपत्रकानुसार, सैद्धांतिकरित्या (theoretically) ते शून्य असते.
- परंतु प्रत्यक्षात काही ठिकाणी आवक सौर ऊर्जा बहिर्गत पार्थिव ऊर्जेपेक्षा जास्त असते (ऊर्जा अधिशेष क्षेत्रे - Energy surplus regions) आणि काही ठिकाणी आवक सौर ऊर्जा बहिर्गत पार्थिव ऊर्जेपेक्षा कमी असते (ऊर्जा तुटवडा क्षेत्रे - Energy deficit regions).

विषुववृत्तापासून ध्रुवांकडे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील निव्वळ विकिरणाचे वितरण दर्शवते की:

१. २०° उत्तर आणि २०° दक्षिण पट्ट्यादरम्यान मोठी ऊर्जा अधिशेष क्षेत्रे आहेत.
२. कमी अक्षांशांच्या ऊर्जा अधिशेष क्षेत्रांमधून मध्य अक्षांशांकडे निव्वळ विकिरण वेगाने कमी होते.
३. दोन्ही गोलार्धांमध्ये सुमारे ७०° अक्षांशाजवळ निव्वळ विकिरण जवळजवळ शून्य होते.
४. ध्रुवीय प्रदेश हे बारमाही ऊर्जा तुटवड्याचे क्षेत्र (perennial energy deficit) आहेत.



उष्णता संतुलन साधण्यासाठी, ऊर्जा अधिशेष क्षेत्रांमधून उष्णता तुटवडा क्षेत्रांमध्ये ऊर्जेचे वाहतूक (transport) होणे आवश्यक आहे. याला उष्णतेचे मध्यान्हातील वहन (meridional transport of heat) म्हणून ओळखले जाते. आणि हे महासागर प्रवाह आणि वाऱ्यांचे अभिसरण याद्वारे साधले जाते.

शहरी उष्णता द्वीप परिणाम

(Urban Heat Island - UHI)

प्रस्तावना (Introduction)

- शहरी उष्णता द्वीप परिणाम (UHI) म्हणजे मानवी क्रियाकलाप आणि जमिनीच्या वापराच्या बदलांमुळे (land-use changes) शहरी भागांमध्ये आसपासच्या ग्रामीण भागांपेक्षा (rural regions) जास्त तापमान जाणवण्याची घटना होय.
- IPCC नुसार, UHI शहरांचे तापमान दिवसा १-३°C आणि रात्री १२°C पर्यंत वाढवू शकते, ज्यामुळे हवामान बदलाचे परिणाम अधिक तीव्र होतात, विशेषतः महानगरांमध्ये.

UHI ची कारणे (Causes of UHI)

- पृष्ठभाग बदल (Surface Modification):
 - नैसर्गिक वनस्पतींची जागा डांबर (asphalt), काँक्रीट आणि इमारतींनी घेणे, जे उष्णता शोषून घेतात आणि धरून ठेवतात.
- कमी झालेले वनस्पती आवरण (Reduced Vegetation Cover):
 - वृक्षांचे आच्छादन (tree canopy) गमावल्यामुळे सावली आणि बाष्पोत्सर्जन शीतकरण (evapotranspiration cooling) कमी होते.
- मानववंशजन्य उष्णता विसर्जन (Anthropogenic Heat Release):
 - वाहने, उद्योग आणि एअर कंडिशनरमधून बाहेर पडणारी उष्णता.
- वायू प्रदूषण आणि हरितगृह वायू (Air Pollution & Greenhouse Gases):
 - धुके (Smog) आणि लटकलेले कण (suspended particles) बाहेर जाणारे दीर्घ-तरंग विकिरण अडकवतात.
- शहरी रूपरेषा (Urban Morphology):
 - उंच इमारती आणि अरुंद रस्ते एक "दऱ्यासारखा परिणाम" (canyon effect) तयार करतात, ज्यामुळे उष्णतेचे विसर्जन (dissipation) मर्यादित होते.

UHI चे परिणाम (Impacts of UHI)

पर्यावरणीय (Environmental)

- स्थानिक हवामान बदलणे आणि शीतकरणासाठी ऊर्जेची मागणी वाढणे.
- तापमान व्युत्क्रमणामुळे (temperature inversion) हवेच्या गुणवत्तेचा ऱ्हास (degradation of air quality).
- शहरी परिसंस्थेमध्ये (urban ecosystems) जैवविविधता कमी होणे.

सामाजिक (Social)

- उष्णतेची संबंधित आजारांचे (उदा. उष्णता आघात - heat strokes, हृदय व रक्तवाहिन्यासंबंधी समस्या - cardiovascular issues) प्रमाण वाढणे.
- दुर्बल शहरी लोकसंख्येची (marginalized urban populations) संवेदनशीलता अधिक तीव्र होणे.

आर्थिक (Economic)

- एअर कंडिशनिंगच्या मागणीमुळे वीज बिलांमध्ये वाढ होणे.
- शहरी पाणी आणि वीज पुरवठ्यावर ताण पडणे.

भारतीय संदर्भ (Indian Context)

- दिल्ली, मुंबई, चेन्नई, बेंगळुरू येथे UHI ची लक्षणीय तीव्रता नोंदवली जाते.
- उदाहरणार्थ: २०२१ च्या एका अभ्यासात असे आढळले की दिल्लीचे मध्यवर्ती व्यावसायिक क्षेत्र (central business districts) आसपासच्या ग्रामीण भागापेक्षा ७°C पर्यंत अधिक गरम होते.
- वाढत्या UHI मुळे उष्णतेच्या लाटा (heat waves) अधिक तीव्र होतात, जे हवामान बदलामुळे आधीच मोठी चिंता बनली आहे.

शमन आणि अनुकूलन धोरणे (Mitigation and Adaptation Strategies)

१. शहरी हरितीकरण (Urban Greening)

- हिरवीगार जागा, टेरेस गार्डन्स (rooftop gardens) आणि वृक्षांचे आच्छादन वाढवणे.
- शहरी पाणथळ जागांचे (urban wetlands) संरक्षण आणि पुनरुज्जीवन.

२. थंड आणि परावर्तित पृष्ठभाग (Cool and Reflective Surfaces)

- थंड छत (cool roofs), परावर्तित रंग (reflective paints) आणि प्रवेश्य फरसबंदीचा (permeable pavements) वापर करणे.

३. शहरी नियोजन आणि डिझाइन (Urban Planning and Design)

- रुंद रस्ते, हरित पट्टे (green belts) आणि हवामान-संवेदनशील विभागणी (climate-sensitive zoning).

- उभ्या बागा (Vertical gardens) आणि शाश्वत इमारत संहिता (sustainable building codes).

४. तांत्रिक उपाय (Technological Solutions)

- हवामान मॉडेलिंगसह (climate modeling) स्मार्ट सिटी डिझाइन.
- UHI क्षेत्रांचा नकाशा तयार करण्यासाठी GIS आणि रिमोट सेन्सिंगचा वापर.

५. धोरणात्मक उपाय (Policy Measures)

- राष्ट्रीय शीतकरण कृती योजना (National Cooling Action Plan - २०१९) चा उद्देश शीतकरणाची मागणी कमी करणे आणि निष्क्रिय शीतकरणाला (passive cooling) प्रोत्साहन देणे आहे.
- स्मार्ट सिटी मिशन (Smart Cities Mission) आणि AMRUT मध्ये UHI शमनाचे एकत्रीकरण करणे.

PRAYAAS

सामान्यतः, सूर्याचे तापमान (insolation) पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील तापमानाचे वितरण निश्चित करते. तथापि, सूर्याचे तापमान हे आवक सौर विकिरण (incoming solar radiation) दर्शवते, तर तापमान प्रत्यक्षात उष्णता किंवा थंडपणाची तीव्रता दर्शवते.

वातावरणाचे तापमान नियंत्रित करणारे घटक (Factors Governing the Temperature of the Atmosphere)

- थेट सूर्याच्या तापमानामुळे वातावरणाचे गरम होणे (Heating by direct insolation)
- वहन (Conduction)
- पार्थिव विकिरण (Terrestrial Radiation)
- अभिसरण (Convection)

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील तापमानाचे क्षैतिज वितरण नियंत्रित करणारे घटक

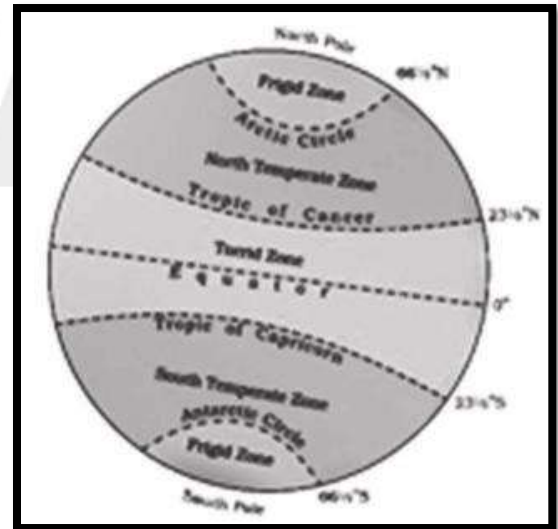
(Factors Controlling the Horizontal Distribution of Temperature)

- अक्षांश (Latitudes):** अक्षांश थेट सूर्याच्या तापमानाचे प्रमाण आणि तापमान निश्चित करतात. त्यामुळे विषुववृत्तावर तापमान जास्त असते आणि ध्रुवांकडे जाऊ लागल्यावर ते कमी होते.
- समुद्रसपाटीपासूनची उंची (Altitude):** उंची वाढल्याने तापमान कमी होते. सामान्यतः १००० मीटर उंची वाढल्यास तापमान ६.५°C ने कमी होते, याला सामान्य न्हास दर (Normal Lapse Rate) म्हणतात. उदाहरणार्थ: इक्वाडोरची राजधानी क्विटो (Quito) विषुववृत्ताजवळ असूनही, उंचीमुळे तिथे बर्फवृष्टी होते.
- किनारपट्टीपासूनचे अंतर (Distance from the Coast):** सागरी वातावरण (marine environment) हवामानाची परिस्थिती नियंत्रित करते, कारण भूभागीय (land) आणि सागरी वाऱ्यांमुळे (sea breeze) किनारपट्टीच्या भागातील आणि महासागरांचे तापमान मिश्रित होते. त्यामुळे किनारपट्टीच्या वातावरणाजवळ तापमानाची दैनिक कक्षा (daily range of temperature) किमान असते, परंतु आपण खंडाच्या आत (inside the continent) जसजसे जातो, तसतसे तापमानाची दैनिक कक्षा वाढते. उदाहरणार्थ: चेन्नई आणि बंगळूर जवळपास एकाच अक्षांशावर आहेत, परंतु चेन्नईपेक्षा बंगळूरमध्ये तापमानाची दैनिक कक्षा जास्त आहे.
- जमीन आणि पाण्याच्या पृष्ठभागाचे स्वरूप (Nature of Land and Water):** समान प्रमाणात सूर्याचे तापमान मिळाल्यानंतरही, पाण्यापेक्षा जमीन लवकर गरम आणि लवकर थंड होते.
- जमिनीच्या उताराचे स्वरूप (Nature of Ground Slope):** सूर्याच्या दिशेने असलेले जमिनीचे उतार (facing

the sun) जास्त सूर्याचे तापमान प्राप्त करतात, तर आश्रय असलेले उतार (sheltered slopes) कमी तापमान प्राप्त करतात. उदाहरणार्थ: हिमालयाच्या उत्तर उतारांपेक्षा दक्षिण उतारांवर तापमान जास्त असते, कारण त्यांना जास्त थेट सूर्याचे तापमान मिळते.

- पृथ्वीच्या पृष्ठभागाचे स्वरूप (Nature of Earth Surface):** पृथ्वीच्या पृष्ठभागाचे स्वरूप, म्हणजेच रंग, वनस्पती आणि जमिनीच्या वापराचे नमुने, तिची परावर्तन क्षमता (reflectivity) निश्चित करतात. जमिनीच्या पृष्ठभागाद्वारे सौर विकिरणाचे परावर्तन होण्याला अल्बेडो (Albedo) म्हणतात. परावर्तन क्षमता जितकी जास्त, तापमान तितके कमी. उदाहरणार्थ: बर्फाच्छादित पृष्ठभागाची परावर्तन क्षमता वनप्रदेशांपेक्षा (forest lands) जास्त असते.
- प्रचलित वारे (Prevailing Winds):** वारे तापमानाचे वितरण करण्यास मदत करतात आणि शेजारच्या किनारपट्टीच्या भागांमध्ये महासागरांचा समशीतोष्ण परिणाम (moderating effects) आणतात (समुद्राकडून येणारे आणि जमिनीकडून येणारे वारे - offshore and onshore winds).
- कमी अक्षांशांकडून जास्त अक्षांशांकडे वाहणारे वारे जास्त अक्षांशांचे तापमान वाढवतात.
- महासागर प्रवाह (Ocean Currents):** महासागर प्रवाहाच्या स्वरूपानुसार किनारपट्टीच्या भागातील तापमान वाढते किंवा कमी होते. उदाहरणार्थ: उष्ण उत्तर अटलांटिक अपवहनामुळे नॉर्वेजियन किनारपट्टीचे तापमान वाढते.

अक्षांशांवर आधारित तापमान पट्टे (Temperature Zones)



Based on Latitudes)

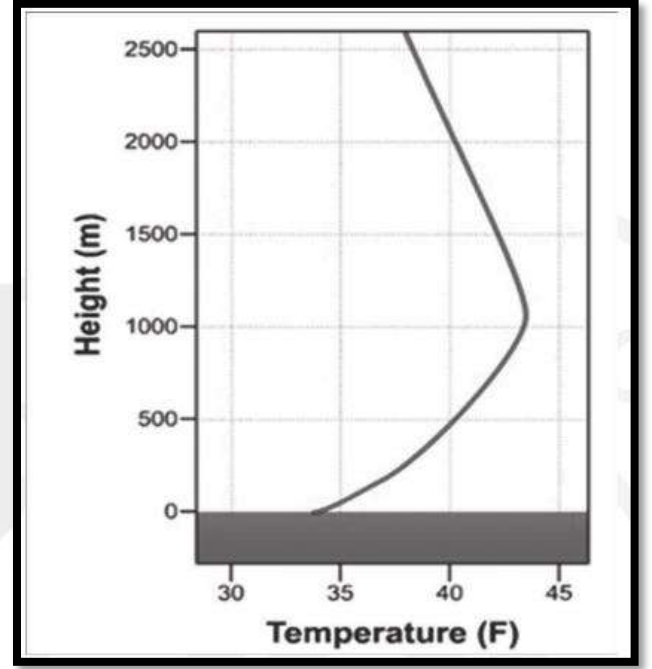
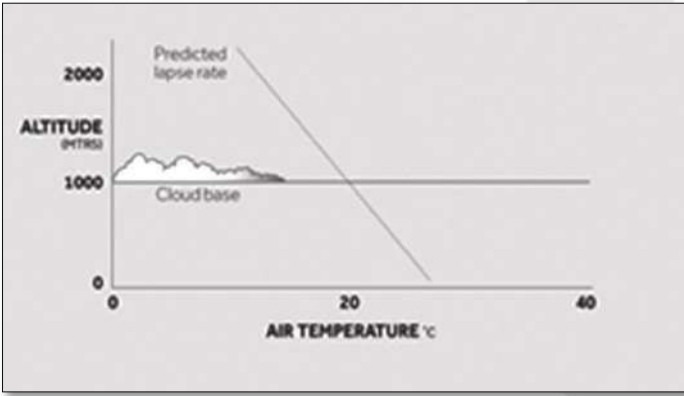
या घटकांवर आधारित, पृथ्वीचे अक्षांशांच्या आधारावर तीन तापमान पट्ट्यांमध्ये विभाजन केले आहे:

- उष्णकटिबंधीय पट्टा/उष्ण पट्टा (Tropical Zone/Torrid Zone):** हा कर्कवृत्त आणि मकरवृत्ताच्या दरम्यान पसरलेला

आहे. सूर्यकिरणे जवळजवळ उभी असतात. त्यामुळे येथे सर्वाधिक सूर्याचे तापमान मिळते आणि वर्षभर उच्च तापमान असते.

२. **समशीतोष्ण पट्टा (Temperate Zone):** हा दोन्ही गोलार्धांमध्ये २३.५ ते ६६ अक्षांशांदरम्यान पसरलेला आहे. या प्रदेशात दिवस आणि रात्रीचा कालावधी जास्त असतो, परंतु सूर्यकिरणे कधीही उभी नसतात; त्यामुळे येथील तापमान उष्णकटिबंधीय पट्ट्यापेक्षा कमी असते.
३. **शीत पट्टा/ध्रुवीय पट्टा (Frigid Zone/Polar Zone):** हा दोन्ही ध्रुवांपर्यंत ६६ च्या पलीकडे पसरलेला आहे. सूर्यकिरणे कधीही उभी नसतात आणि दिवस आणि रात्रीचा कालावधी २४ तासांपेक्षा जास्त असतो. या प्रदेशात सर्वात कमी सूर्याचे तापमान मिळते आणि म्हणूनच या पट्ट्यात तापमान सर्वात कमी असते.

कालावधीचे असते, कारण दिवसा पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून उष्णतेचे विकिरण झाल्याने थंड हवा गरम होते, जे लवकर नाहीसे होते आणि तापमान व्युत्क्रमण देखील नाहीसे होते. तापमान व्युत्क्रमण प्रक्रियेदरम्यान, उष्ण हवा थंड हवेच्या वर असते. उष्ण हवा हलकी असल्याने वर जाते आणि थंड हवा जड असल्याने खाली उतरते. यामुळे वातावरणाची स्थिरता (atmospheric stability) आणि स्वच्छ आकाश तयार होते.



तापमानाचे उभे वितरण (Vertical Distribution of Temperature)

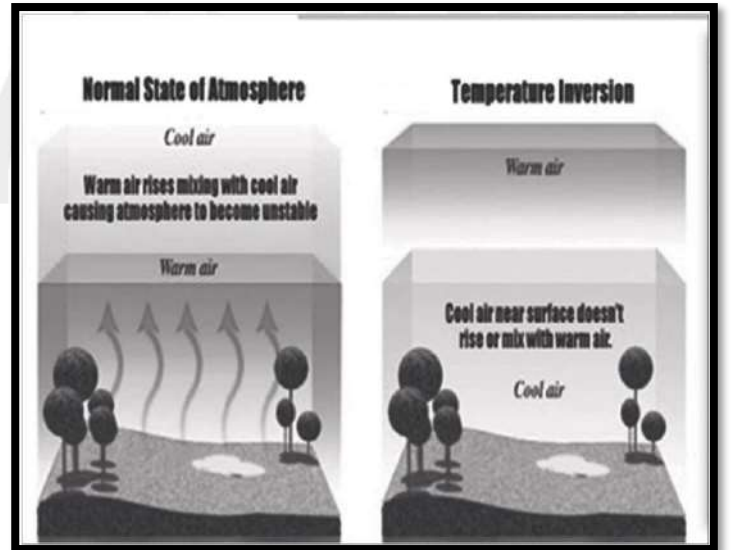
१. सामान्य न्हास दर (Normal Lapse Rate):

उंची वाढल्याने तापमान कमी होणे यास सामान्य न्हास दर म्हणतात. सामान्यतः तो १००० मीटरसाठी ६.५°C असतो. वाहन, विकिरण आणि अभिसरण प्रक्रियेद्वारे वातावरणाला पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून उष्णता मिळते. उंची वाढल्याने, वातावरण विरळ (thinner) होते, ज्यामुळे तापमान कमी होते. थोडक्यात, विरळ वातावरणात, वाहन, विकिरण आणि अभिसरणाची तीव्रता कमी होते; त्यामुळे वरच्या वातावरणात उंची वाढल्याने कमी तापमान नोंदवले जाते.

थोडक्यात, सामान्य न्हास दराच्या प्रक्रियेत, थंड हवा उष्ण हवेच्या वर असते. उष्ण हवा हलकी असल्याने वर जाण्याचा प्रयत्न करते, तर थंड हवा जड असल्याने खाली उतरण्याचा प्रयत्न करते. यामुळे वातावरणाची अस्थिरता (atmospheric instability) निर्माण होते, ज्यामुळे वादळे, पर्जन्यमान, ढगाळ हवामान इत्यादी होते.

२. तापमान व्युत्क्रमण (Temperature Inversion):

उंची वाढल्याने तापमान वाढणे यास तापमान व्युत्क्रमण म्हणतात. याला नकारात्मक न्हास दर (negative lapse rate) असेही म्हणतात. सामान्यतः, ते पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळ किंवा तपांबरात जास्त उंचीवर घडते. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळील तापमानाचे व्युत्क्रमण खूप कमी



तापमान व्युत्क्रमणाचे प्रकार (Types of Temperature Inversion)

१. नॉन-एडव्हेक्शनल व्युत्क्रमण (Non-advective Inversion)

(स्थिर वातावरणीय परिस्थितीमुळे)

(अ) भू-पृष्ठभाग व्युत्क्रमण / विकिरण व्युत्क्रमण (Ground Surface Inversion / Radiation Inversion): हे मध्य आणि उच्च अक्षांशांच्या बर्फाच्छादित प्रदेशात लांब, थंड हिवाळी रात्रींमध्ये (long cold winter nights) होते.

- कारण: जमिनीतून बहिर्गत पार्थिव विकिरणाद्वारे (outgoing terrestrial radiation) उष्णता वेगाने बाहेर पडल्यामुळे भू-पृष्ठभाग अति-थंड (excessive cooling) होतो.

यासाठी आवश्यक परिस्थिती:

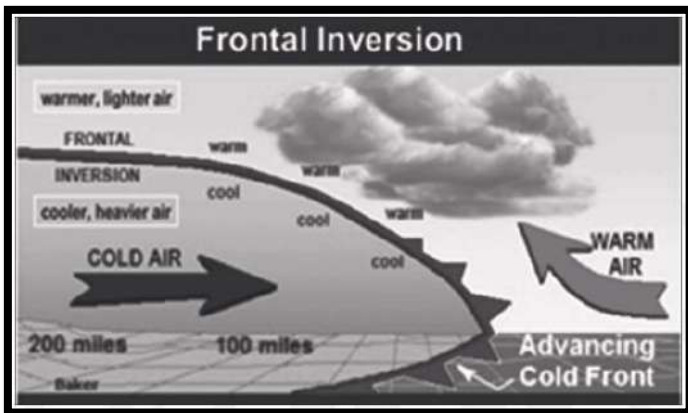
- लांब हिवाळी रात्री: जेणेकरून बहिर्गत पार्थिव विकिरणाचे प्रमाण आवक सौर विकिरणापेक्षा जास्त असेल.
- ढग नसलेले आणि स्वच्छ आकाश: जेणेकरून बहिर्गत पार्थिव विकिरण कोणत्याही अडथळ्याशिवाय थेट अंतराळात जाईल. तसेच, ढगांमधून पुनःविकिरण होणार नाही.
- भू-पृष्ठभागाजवळ कोरडी हवा (Dry air): ओलसर हवा थंड झाल्यास पर्जन्यमान (precipitation) होईल.
- हवेची मंद हालचाल (Slow movement of air): जेणेकरून हवेच्या वेगवेगळ्या थरांमध्ये उष्णतेचे संक्रमण (transfer) आणि मिश्रण होणार नाही.
- उघडा भू-पृष्ठभाग (No covered ground surface).

(ब) वरचे वातावरणीय व्युत्क्रमण (Upper Atmospheric Inversion): हे तपांबर आणि स्थितांबराच्या वरच्या थरात आढळते, जिथे ओझोनच्या उपस्थितीमुळे उंची वाढल्याने तापमान वाढते.

२. ऍडव्हेक्शनल व्युत्क्रमण / गतिशील व्युत्क्रमण (Advectional Inversion / Dynamic Inversion)

(हवेच्या क्षैतिज किंवा उभ्या हालचालीमुळे)

(अ) वाताग्र किंवा चक्रीवादळी व्युत्क्रमण (Frontal or Cyclonic Inversion): हे समशीतोष्ण प्रदेशात समशीतोष्ण चक्रीवादळांमुळे (temperate cyclones) होते.

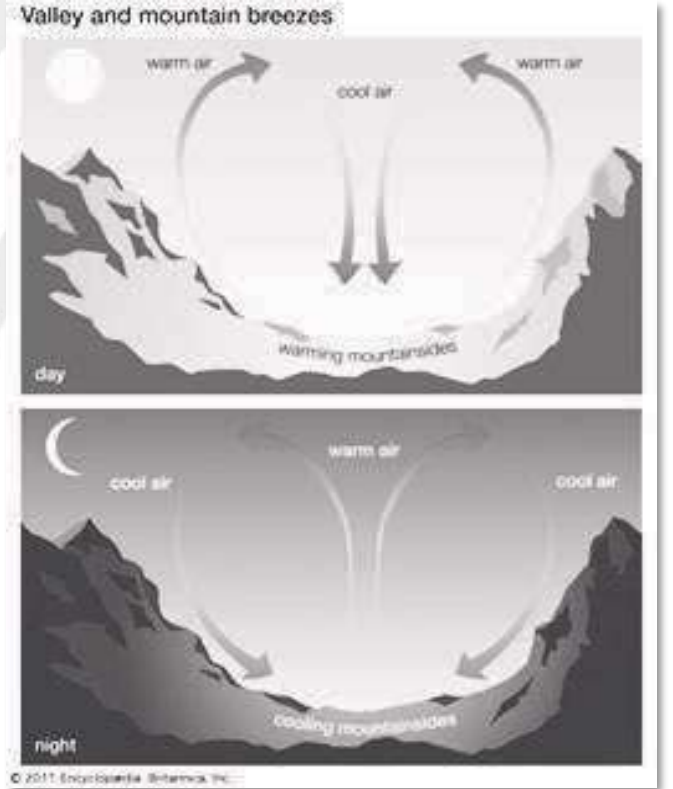


- कारण: समशीतोष्ण चक्रीवादळांच्या निर्मितीदरम्यान, थंड ध्रुवीय हवेमुळे उष्ण हवा वर ढकलली जाते, ज्यामुळे तापमान व्युत्क्रमणाची परिस्थिती निर्माण होते.

(ब) दरी व्युत्क्रमण (Valley Inversion): हे डोंगराळ दऱ्यांमध्ये विकिरण आणि हवेच्या उभ्या हालचालीमुळे होते.

प्रक्रिया:

- हिवाळी रात्रींमध्ये, पार्थिव विकिरणाद्वारे उष्णतेच्या जलद न्हासामुळे दरीच्या वरच्या भागाचे तापमान खूप कमी होते.
- दुसरीकडे, दरीच्या तळभागाचे (valley floor) तापमान तुलनेने कमी दराने उष्णता गमावल्यामुळे जास्त कमी होत नाही आणि हवा तेथे उष्ण राहते.
- ही उष्ण हवा हलकी असल्याने डोंगराच्या शिखराकडे वर जाऊ लागते, तर डोंगराच्या शिखरावरील थंड हवा जड असल्याने दरीकडे खाली उतरू लागते.
- अशा प्रकारे थंड हवेच्या वर उष्ण हवा जमा होते आणि तापमान व्युत्क्रमण होते.

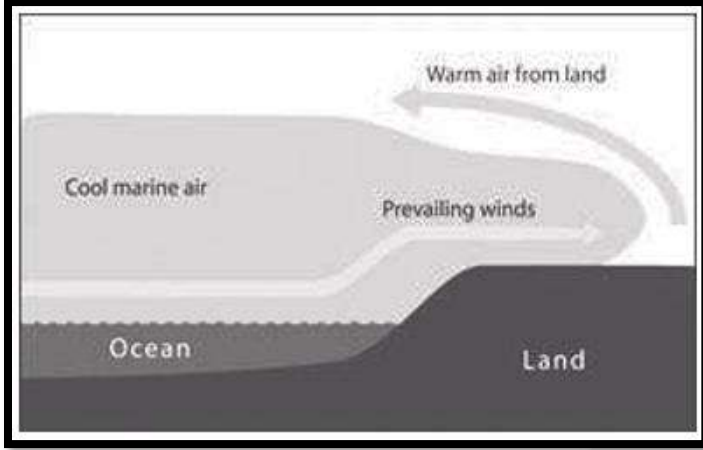


(क) पृष्ठभाग व्युत्क्रमण (Surface Inversion): हे तेव्हा होते जेव्हा उष्ण हवा थंड हवेच्या क्षेत्रावर जमा होते किंवा थंड हवा उष्ण हवेच्या क्षेत्रात प्रवेश करते.

- **प्रक्रिया: पहिली हवा (उष्ण हवा)** हलकी असल्याने **वर ढकलली** जाते.
- असे व्युत्क्रमण सामान्यतः **किनारपट्टीच्या भागात** (coastal areas) आणि **बेटांवर** (islands) होते.

तापमान व्युत्क्रमणाचे महत्त्व (Significance of Temperature Inversion)

तापमान व्युत्क्रमण अनेक पर्यावरणीय आणि मानवी क्रियाकलापांवर परिणाम करते:

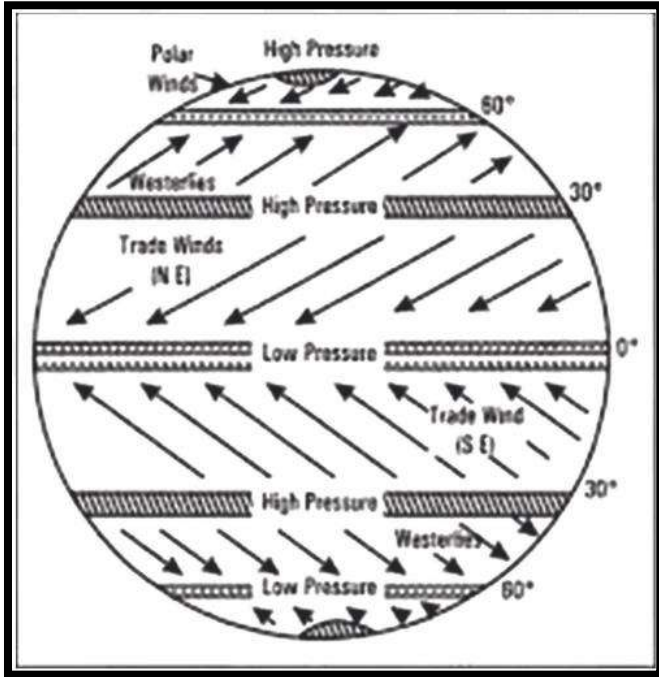


६. **दळणवळणात अडथळा (Obstruction to Navigation):** दाट धुके नौकानयनात (navigation) अडथळा आणते.
७. **प्रदूषण (Pollution):** तापमान व्युत्क्रमणामुळे धूळ कण जमिनीच्या पृष्ठभागाजवळ वातावरणात बाहेर पडण्यापासून थांबतात. यामुळे दिल्लीसारख्या समशीतोष्ण शहरांमध्ये गंभीर प्रदूषणाची समस्या निर्माण झाली आहे.
८. **शहरी धुरके (Urban Smog):** तापमान व्युत्क्रमणादरम्यान तयार झालेले धुके धुराशी (smoke) मिसळल्यावर हानिकारक शहरी धुरके (smog) तयार होते.

१. **धुके निर्मिती (Fog Formation):** थंड हवेच्या वर उष्ण हवा असल्यामुळे, उष्ण हवा खालून थंड होते आणि धुके (fog) तयार होते.
२. **दंव निर्मिती (Frost Formation):** जेव्हा उष्ण हवा थंड हवेमुळे थंड होते आणि तिचे सांद्रीभवन (condensation) गोठणबिंदूच्या (freezing point) खालील तापमानावर होते, तेव्हा दंव (frost) तयार होते.
३. **पिकांवर परिणाम (Effect on Crops):** दंव निर्मिती पिकांसाठी प्रतिकूल (unfavourable) आहे. धुके कॉफी आणि गहू (wheat) यांसारख्या पिकांसाठी अनुकूल आहे, कारण ते त्यांना थेट सूर्यप्रकाशापासून वाचवते. उदा. अरेबियातील येमेन हिल्स येथील कॉफीची झाडे.
४. **दरीतील समस्या (Valley Problems):** दरी व्युत्क्रमण दरीच्या तळभागात तीव्र दंव (severe frost) तयार होण्यास जबाबदार असते, ज्यामुळे फळांच्या बागा, भाज्या आणि शेतीचे पीक यांचे मोठे नुकसान होते; म्हणूनच हे क्षेत्र मानवी वस्ती तसेच शेतीसाठी योग्य नसते.
५. **वातावरणीय स्थिरता आणि वाळवंट (Atmospheric Stability and Desert):** तापमान व्युत्क्रमणामुळे तयार होणारी वातावरणीय स्थिरता पर्जन्यमानास प्रतिबंध करते आणि कोरड्या परिस्थितीस प्रोत्साहन देते, परिणामी प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती (anti-cyclonic conditions) निर्माण होते. उदाहरणार्थ: २०° ते ३०° अक्षांशांदरम्यान असलेल्या खंडांच्या पश्चिम भागावर तापमान व्युत्क्रमण होते.

हवेचा दाब आणि वातावरणीय अभिसरण (Air Pressure and Atmospheric Circulation)

हवेचा दाब (Air Pressure) म्हणजे समुद्रसपाटीवर प्रति एकक क्षेत्रावरील हवेच्या स्तंभाच्या वस्तुमानाचे एकूण वजन होय. उंची वाढल्याने हवेची घनता कमी होते, त्यामुळे समुद्रसपाटीवर हवेचा दाब जास्तीत जास्त असतो. थोडक्यात, उंची वाढल्यास हवेचा दाब कमी होतो. समुद्रसपाटीवरील समान दाब असलेल्या ठिकाणांना जोडणाऱ्या रेषांना समदाब रेषा (Isobars) म्हणतात.



हवेच्या दाबाचे क्षैतिज वितरण आणि दाब पट्टे (Horizontal Distribution of Air Pressure and Pressure Belts)

निर्मितीच्या पद्धतीच्या आधारावर, दाब पट्ट्यांचे दोन श्रेणींमध्ये विभाजन केले जाते:

(A) उष्णतेमुळे प्रेरित दाब पट्टे (Thermally Induced Pressure Belts)

(पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या भिन्न तापमानवाढीमुळे तयार झालेले)

१. **विषुववृत्तीय कमी दाबाचा पट्टा (Equatorial Low-Pressure Belt):** हा ५° उत्तर आणि ५° दक्षिण अक्षांशांदरम्यान स्थित आहे. वर्षभर सूर्याकडून थेट लंबरूप सूर्याचे तापमान (direct perpendicular insolation) मिळाल्याने विषुववृत्ताजवळ कमी दाबाचा पट्टा तयार होतो. विषुववृत्ताजवळ असलेल्या उच्च तापमानामुळे, हवा उष्ण होते. ही उष्ण हवा प्रसरण पावते, हलकी होते आणि परिणामी वर जाते, ज्यामुळे कमी दाब निर्माण होतो. हा पट्टा ईशान्य (North-East) आणि आग्नेय (South-East) व्यापारी वाऱ्यांचे अभिसरण क्षेत्र

(zone of convergence) आहे. या पट्ट्यात हवेची उभी हालचाल होते आणि क्षैतिज हालचाल खूप शांत असते; म्हणून या पट्ट्याला डोलड्रम्स (doldrums) असेही म्हणतात.

२. **ध्रुवीय उच्च दाबाचा पट्टा (Polar High-Pressure Belt):** हा पट्टा संपूर्णपणे ध्रुवांजवळ स्थित आहे. वर्षभर प्रचलित असलेल्या अति-कमी तापमानामुळे येथे उच्च दाब अस्तित्वात असतो.

(B) गतिमानतेमुळे प्रेरित दाब पट्टे (Dynamically Induced Pressure Belts)

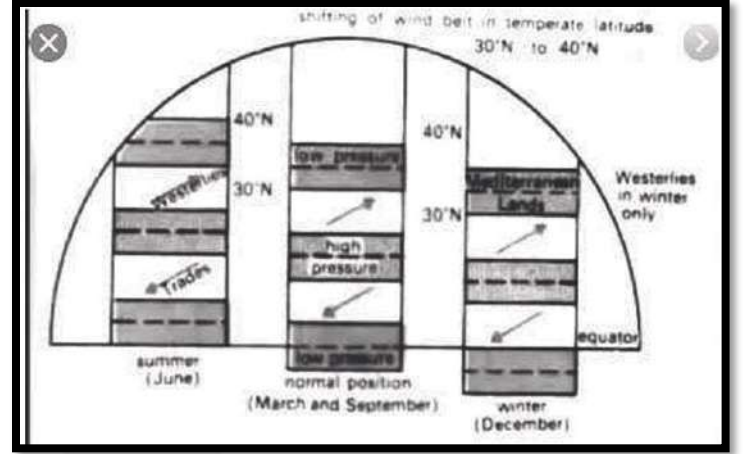
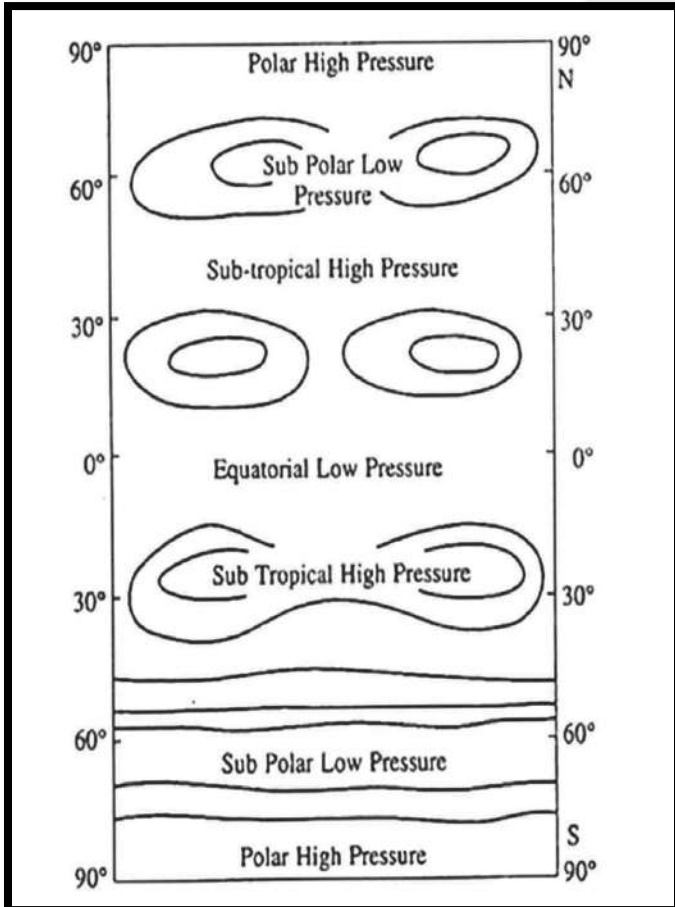
(पृथ्वीचे परिवलन आणि वाऱ्यांच्या खाली उतरण्यामुळे तयार झालेले)

१. **उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाचा पट्टा (Subtropical High-Pressure Belt):** हा पट्टा दोन्ही गोलार्धामध्ये २५ ते ३५ दरम्यान पसरलेला आहे. या पट्ट्याच्या वरच्या उंचीवर वाऱ्यांचे रूपांतरण (conversion of winds) झाल्यामुळे हवा जास्त उंचीवरून खाली उतरते (subsidence of air). वाऱ्यांच्या या खाली उतरण्यामुळे उच्च दाब निर्माण होतो. या क्षेत्रात प्रति-चक्रीवादळी (anti-cyclonic) परिस्थिती असते, ज्यामुळे वातावरणीय स्थिरता (atmospheric stability) आणि कोरडेपणा (aridity) निर्माण होतो. जगातील गरम वाळवंट याच उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या पट्ट्याच्या प्रदेशात आहेत. या पट्ट्याला अश्व अक्षांश (horse latitudes) असेही म्हणतात. आदर्शपणे, हा पट्टा सलग असावा, परंतु तो अनेक उच्च दाब केंद्रांमध्ये (high-pressure centres) विभागलेला आहे.
२. **उप-ध्रुवीय कमी दाबाचा पट्टा (Subpolar Low-Pressure Belt):** हा पट्टा दोन्ही गोलार्धामध्ये ६० ते ६५ अक्षांशांदरम्यान स्थित आहे. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या परिवलनामुळे (rotation), या क्षेत्रातून हवा बाहेरच्या दिशेने पसरते, ज्यामुळे कमी दाब निर्माण होतो. दक्षिण गोलार्धात पाण्याचे जास्त प्राबल्य असल्यामुळे हा पट्टा नियमित आहे, परंतु उत्तर गोलार्धात तो विभागलेला आहे.

दाब पट्ट्यांचे हंगामी स्थलांतर (Seasonal Shifting of Pressure Belts)

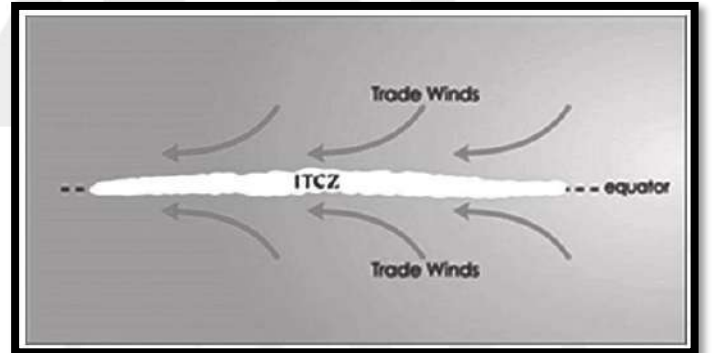
उन्हाळी आणि हिवाळी संक्रांतीच्या (solstice) घटनेमुळे, सूर्य वर्षभर त्याची भासमान स्थिती (apparent position) बदलतो आणि त्यामुळे ध्रुवीय उच्च दाबाचा पट्टा वगळता सर्व दाब पट्ट्यांची स्थिती सूर्याच्या उत्तर आणि दक्षिण दिशेकडील स्थलांतरासह (northward and southward migration) बदलते. उदाहरणार्थ: उत्तर गोलार्धात उन्हाळ्यादरम्यान, विषुववृत्तीय कमी दाबाचा पट्टा उत्तर दिशेकडे १० ते २० पर्यंत सरकतो.

दाब पट्ट्यांच्या हंगामी स्थलांतरामुळे अद्वितीय भूमध्य सागरी हवामान (unique Mediterranean climatic region) निर्माण होते. भूमध्य सागरी हवामान क्षेत्र ३० ते ४५ अक्षांशांमध्ये दोन्ही गोलार्धांमध्ये स्थित आहे. या हवामानाचे एक अद्वितीय वैशिष्ट्य म्हणजे हिवाळी पर्जन्यमान (winter rainfall), जे जगातील इतर कोणत्याही हवामान क्षेत्रात आढळत नाही. उत्तर गोलार्धात उन्हाळ्यादरम्यान, उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाचा पट्टा उत्तर दिशेकडे सरकतो आणि नेमका भूमध्य सागरी हवामान क्षेत्रावर स्थित होतो. यामुळे प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती निर्माण होते आणि या प्रदेशात उन्हाळी पर्जन्यमान थांबवले जाते. उत्तर गोलार्धात हिवाळ्यादरम्यान, दाब पट्टे दक्षिण दिशेकडे सरकतात. परिणामी, भूमध्य सागरी हवामान क्षेत्रावर असलेली प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती देखील कमी होते. हिवाळ्यात, पश्चिमी वारे (westerlies) भूमध्य सागरी प्रदेशाकडे वाहू लागतात, असे करताना ते ओलावा घेऊन जातात आणि या प्रदेशात पाऊस देतात. त्याचप्रमाणे, दाब पट्ट्यांच्या हंगामी स्थलांतरामुळे ITCZ (Intertropical Convergence Zone) चे स्थलांतर होते, ज्याचा मान्सूनवर मोठा प्रभाव पडतो (स्वतंत्रपणे स्पष्ट केले जाईल).



कोरिओलिस बल आणि वाऱ्याची दिशा (Coriolis Force and Direction of Wind)

वारे उच्च-दाब क्षेत्रांकडून कमी-दाब क्षेत्रांकडे वाहतात. कोणत्याही दोन ठिकाणांमधील दाबाच्या फरकाला दाब प्रवणता (pressure gradient) म्हणतात. हवेची हालचाल या दाब प्रवणतेचे अनुसरण करते. दाब प्रवणतेचे अनुसरण करत असताना, पृथ्वीच्या परिवलनामुळे वाऱ्यांची दिशा बदलते, जी कोरिओलिस बलाद्वारे (Coriolis force) निश्चित केली जाते. कोरिओलिस बलाला विक्षेपण बल (deflection force) असेही म्हणतात. हे फेरेलच्या नियमावर (Ferrell's law) आधारित आहे. कोरिओलिस बलाच्या प्रभावामुळे, उत्तर गोलार्धात (Northern Hemisphere) सर्व वारे उजवीकडे वळतात. तर दक्षिण गोलार्धात (Southern Hemisphere) ते डावीकडे वळतात.



कोरिओलिस बलाची वैशिष्ट्ये (Characteristic Features of Coriolis Force)

१. कोरिओलिस बल स्वतः बल नाही, तर ते केवळ पृथ्वीच्या परिवलन गतीचा (rotational movement) एक परिणाम आहे.
२. कोरिओलिस बल फक्त हालचाल करत असलेल्या (in motion) वस्तूंवर परिणाम करते.
३. कोरिओलिस बल केवळ दिशेवर परिणाम करते, वेगावर नाही.

४. कोरिओलिस बलाचे परिमाण (Magnitude) खालील सूत्राचा वापर करून निश्चित केले जाते: $2mw(\sin\theta)$, जेथे, 'm' म्हणजे हालचाल करत असलेल्या वस्तूचे वस्तुमान, 'w' म्हणजे वस्तूचा वेग, 'θ' म्हणजे अक्षांश होय.
५. त्यामुळे, कोरिओलिस बलाचे परिमाण वाऱ्याच्या वेगावर अवलंबून असते: वाऱ्याचा वेग जितका जास्त, विक्षेपण (deflection) तितके जास्त.
६. तसेच, परिमाण अक्षांशावर अवलंबून असते. विषुववृत्ताजवळ (Equator) ते किमान असते (कारण $\sin 0 = 0$). तर ध्रुवांजवळ (Pole) ते कमाल असते (कारण $\sin 90 = 1$). टीप: दिलेल्या नोट्समध्ये 'Near equator, it is maximum (as $\sin\theta=0$) while near pole it is zero (as $\sin 90=1$)' ही माहिती चुकीची आहे. $2mw(\sin\theta)$ नुसार, $\sin 0=0$ असल्याने विषुववृत्तावर बल शून्य आणि $\sin 90=1$ असल्याने ध्रुवांवर कमाल असते.

वाऱ्यांचे वर्गीकरण (Classification of Winds)

वाऱ्यांचे प्रामुख्याने **तीन विस्तृत श्रेणींमध्ये** वर्गीकरण केले जाते:

(A) कायम वारे / प्रचलित वारे / ग्रहीय वारे / अपरिवर्तनीय वारे / प्राथमिक अभिसरण (Permanent/Planetary Winds):

(कारण ते वर्षभर दिशा न बदलता वाहतात.)

१. व्यापारी वारे (Trade Winds)
२. पश्चिमी वारे (Westerlies)
३. ध्रुवीय वारे (Easterlies or Polar Winds)

(B) द्वितीय वारे / हंगामी वारे / परिवर्तनशील वारे / द्वितीय अभिसरण (Secondary/Seasonal Winds):

(कारण ते हंगामानुसार त्यांची दिशा बदलतात.)

१. मान्सून वारे (Monsoon Winds)
२. हवेचा दाब (Air Masses)
३. चक्रीवादळे (Cyclones)
४. प्रति-चक्रीवादळे (Anticyclones)

(C) तृतीय अभिसरण / स्थानिक वारे (Tertiary Circulation / Local Winds):

(ते स्थानिक पातळीवर आणि फक्त काही दिवसांसाठी वाहतात.)

१. भूमी आणि सागरी वारे (Land and Sea Breeze)
२. पर्वत आणि दरी वारे (Mountain and Valley Breeze)
३. चिनूक आणि फोन (Chinook and Foehn)
४. हर्मटन (Harmattan)
५. सिरोक्को (Sirocco)
६. मिस्ट्राल (Mistral)
७. बोरा (Bora)

८. बर्फाचे वादळ (Blizzard)

कायम वारे (Permanent Winds)

या वाऱ्यांची दिशा वर्षभर **कमी-अधिक प्रमाणात सारखी** असते. ते **दाब पट्ट्यांशी** (pressure belts) जवळून संबंधित आहेत. त्यांचे पुढील उपविभाजन खालीलप्रमाणे आहे:

१. **उष्णकटिबंधातील वारे (Winds in the Tropics):** हे वारे ३० उत्तर आणि ३० दक्षिण अक्षांशांदरम्यान स्थित आहेत. येथे, वारे उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या पट्ट्याकडून विषुववृत्तीय कमी दाबाच्या पट्ट्याकडे वाहतात. हे वारे विषुववृत्ताजवळ एकत्र येतात आणि शांत डोलड्रम (doldrum) पट्टा तयार करतात, जिथे हवेची फक्त उभी हालचाल होते. हवेच्या सततच्या उभ्या हालचालीमुळे, हवामान अनेकदा चक्रीवादळे, हरिकेन, अभिसरणीय पर्जन्यमान (convective rainfall) इत्यादी वातावरणीय अडथळ्यांमुळे विस्कळीत होते. ईशान्य (North-East) आणि आग्नेय (South-East) व्यापारी वाऱ्यांचे भेटण्याचे ठिकाण आंतर-उष्णकटिबंधीय अभिसरण क्षेत्र (Intertropical Convergence Zone - ITCZ) किंवा आंतर-उष्णकटिबंधीय वाताग्र म्हणूनही ओळखले जाते.

२. **अश्व अक्षांश आणि पश्चिमी वारे (Horse Latitudes and Westerlies):** पश्चिमी वारे हे उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या पट्ट्याकडून उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या पट्ट्याकडे वाहणारे कायम वारे आहेत. व्यापारी वारे आणि पश्चिमी वारे या दोघांच्या उगम क्षेत्राला अश्व अक्षांश म्हणतात, जो उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाचा पट्टा आहे. पश्चिमी वाऱ्यांचा ध्रुवांकडून येणाऱ्या थंड वाऱ्यांशी सामना होतो, ज्यामुळे ध्रुवीय वाताग्र (polar front) तयार होते आणि तेथे समशीतोष्ण चक्रीवादळे (temperate cyclones) उद्भवतात. चक्रीवादळे पश्चिमी वाऱ्यांसह पूर्वेकडील दिशेने (easterly direction) वाहतात. उत्तर गोलार्धात जमिनीचे प्राबल्य (dominance) असल्यामुळे, पश्चिमी वारे कमी प्रभावी असतात, परंतु दक्षिण गोलार्धात जमिनीचा अडथळा नसल्यामुळे त्यांचा वेग वाढतो. दक्षिण गोलार्धात, ४०°, ५०° आणि ६०° अक्षांशांजवळ त्यांना अनुक्रमे रोअरिंग फोर्टीज (Roaring 40s), फ्युरियस फिफ्टीज (Furious 50s) आणि स्ट्रायकिंग सिक्सटीज (Striking 60s) म्हणतात. उत्तरेकडील कोणताही जलाशय ओलांडताना, पश्चिमी वारे ओलावा शोषून घेतात आणि पूर्वेकडील प्रदेशात पर्जन्यमान घडवतात. याचे उत्तम उदाहरण म्हणजे उत्तर आणि वायव्य भारतात दिसणारे पश्चिमी विक्षोभ (western disturbances), ज्यामुळे डिसेंबर, जानेवारी महिन्यात बर्फवृष्टी आणि हिवाळी पर्जन्यमान होते.

३. **ध्रुवीय वारे / पूर्वेकडील वारे (Polar Winds / Easterlies):** हे थंड वारे ध्रुवीय उच्च दाबाच्या क्षेत्राकडून उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या क्षेत्राकडे वाहतात. हिवाळ्यात उच्च दाब तीव्र

झाल्यामुळे ते अधिक सक्रिय होतात, पश्चिमी वाऱ्यांशी त्यांचा सामना होतो आणि ते समशीतोष्ण चक्रीवादळांना जन्म देतात.

वातावरणाचे त्रि-कोषीय मध्यान्ह अभिसरण (Tricellular Meridional Circulation of the Atmosphere)

त्रि-कोषीय मॉडेल (Tri-cellular model) यावर जोर देते की प्रत्येक रेखांशावर (longitude) हवेचे कोषीय अभिसरण (cellular circulation) होते. या मॉडेलमध्ये, पृष्ठभागावरील वारे उच्च-दाब क्षेत्रांकडून कमी-दाब क्षेत्रांकडे वाहतात, परंतु वरच्या वातावरणात हवेच्या अभिसरणाची दिशा पृष्ठभागावरील वाऱ्यांच्या दिशेच्या विरुद्ध असते. या मॉडेलमध्ये तीन कोष (cells) आहेत:

१. उष्णकटिबंधीय कोष / हॅडली कोष (Tropical Cell / Hadley Cell)

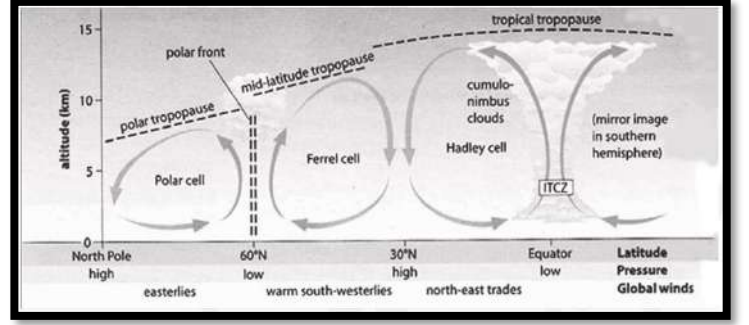
:विषुववृत्तावर उच्च तापमान असल्यामुळे, हवा वर चढते. विषुववृत्तावरील तपांबरात ८ ते १२ किमी उंचीवर पोहोचल्यानंतर, हवा उत्तर आणि दक्षिण दिशेला (ध्रुवाकडे) विचलित (diverges) होते. वर चढलेल्या हवेमुळे निर्माण झालेली पोकळी भरून काढण्यासाठी, उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या क्षेत्राकडून विषुववृत्तीय कमी दाबाच्या क्षेत्राकडे पृष्ठभागावरील वारे वाहू लागतात. या पृष्ठभागावरील वाऱ्यांना व्यापारी वारे म्हणतात. वरच्या वातावरणात ध्रुवाकडे जाताना (ज्याला प्रति-व्यापारी वारे (anti-trade) म्हणतात), हवा आपली ऊर्जा गमावते आणि उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या क्षेत्रावर खाली उतरू लागते. अशा प्रकारे हवेच्या अभिसरणाचा एक संपूर्ण मध्यान्ह कोष तयार होतो.

२. मध्य-अक्षांश कोष / फेरल कोष (Mid-latitude Cell / Ferrel Cell)

: पृथ्वीच्या परिवलनामुळे उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या पट्ट्याजवळ हवा वर चढते. तपांबरात ५ ते ८ किमी उंचीवर पोहोचल्यानंतर, ती उत्तर आणि दक्षिण दिशेला विचलित होते. ही पोकळी भरण्यासाठी, उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या क्षेत्राकडून तसेच ध्रुवीय उच्च दाबाच्या क्षेत्राकडून या उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या क्षेत्राकडे वारे वाहू लागतात, ज्यामुळे अनुक्रमे पश्चिमी वारे आणि पूर्वेकडील वारे तयार होतात. अशा प्रकारे हवेच्या अभिसरणाचा दुसरा कोष तयार होतो.

३. ध्रुवीय कोष (Polar Cell)

: उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या क्षेत्रावरून वर चढलेली हवा ध्रुवाकडे सरकू लागते आणि कमी तापमान आणि उच्च दाबामुळे ती शेवटी ध्रुवांभोवती खाली उतरते. ही खाली उतरणारी हवा पूर्वेकडील वाऱ्यांच्या (easterlies) स्वरूपात पोकळी भरण्यासाठी उप-ध्रुवीय कमी दाबाच्या पट्ट्याकडे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर वाहते. अशा प्रकारे हवेच्या अभिसरणाचा तिसरा कोष तयार होतो.

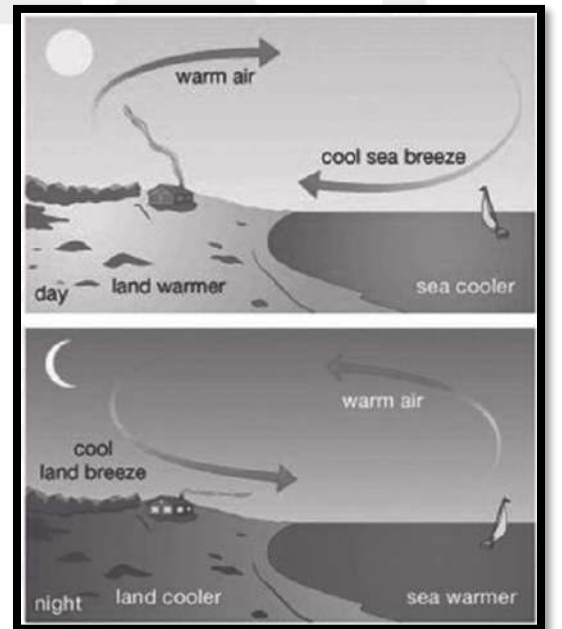


स्थानिक वारे (Local Winds)

स्थानिक वारे हे विशिष्ट प्रदेशांमध्ये लहान कालावधीसाठी वाहणारे प्रादेशिक वारे असतात.

१. भूमी आणि सागरी वारे (Land and Sea Breeze)

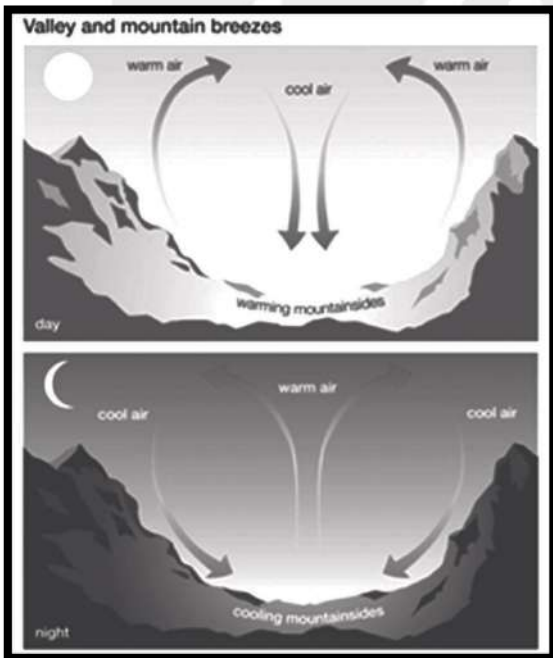
भूमी आणि सागरी वारे हे दैनंदिन वारे (diurnal winds) आहेत, जे त्यांचे चक्र २४ तासांच्या कालावधीत पूर्ण करतात. ते जमीन आणि पाण्याच्या भिन्न तापमानामुळे (differential heating and cooling) उद्भवतात. आपल्याला माहित आहे की पाणी आणि जमिनीच्या तुलनेत जमीन लवकर गरम आणि लवकर थंड होते. दिवसा, किनारपट्टीच्या भागात जमीन पाण्याच्या पृष्ठभागापेक्षा जास्त उष्ण असते. या जमिनीच्या क्षेत्रावर कमी दाब (low pressure) असतो, तर पाण्याच्या पृष्ठभागावर उच्च दाब (high pressure) असतो. परिणामी, वारा उच्च दाबाकडून कमी दाबाकडे, म्हणजेच जलाशयांकडून किनारपट्टीच्या भागाकडे वाहू लागतो, याला सागरी वारा (Sea Breeze) म्हणतात. रात्रीच्या वेळी ही स्थिती उलट होते, कारण पाणी आणि जमिनीच्या तुलनेत जमीन लवकर थंड होते. त्यामुळे जमिनीच्या पृष्ठभागावर आसपासच्या जलाशयाच्या



तुलनेत उच्च दाब असतो. या परिस्थितीत, वारा जमिनीकडून पाण्याकडे वाहू लागतो, याला भूमी वारा (Land Breeze) म्हणतात. भूमी आणि सागरी वारे तापमान ५C ते १०C ने कमी करून किनारपट्टीच्या भागांमध्ये समशीतोष्ण परिणाम (moderating effect) आणतात. उष्णकटिबंधीय प्रदेशात ते ५० ते ६५ किमी पर्यंत अंतर्देशीय (inland) पोहोचू शकतात. किनारपट्टीच्या भागाजवळचे प्रदूषण कमी करण्याची त्यांच्यात मोठी क्षमता आहे. ते प्रदूषक (pollutants) त्यांच्यासोबत घेऊन जातात आणि अंतर्देशीय प्रदेशात त्यांचे पुनर्वितरण करतात. हे वारे उन्हाळ्याच्या हंगामात सर्वात जास्त सक्रिय असतात.

२. पर्वतीय (कॅटाबॅटिक) आणि दरी (एँनाबॅटिक) वारे (Mountain - Katabatic and Valley - Anabatic Breeze):

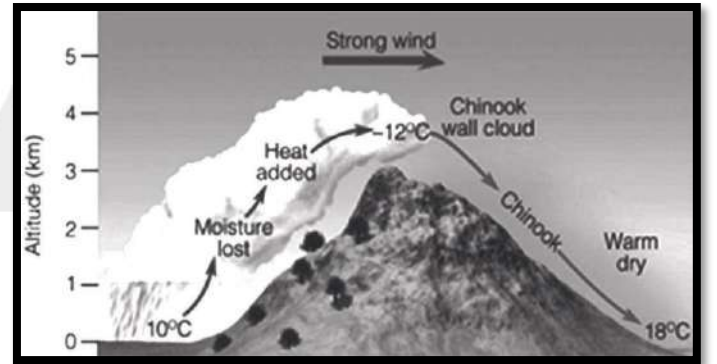
दिवसा, पर्वताचे शिखर (mountain tops) दरीच्या तळापेक्षा लवकर सूर्याचे तापमान (insolation) प्राप्त करतात आणि लवकर गरम होतात. त्यामुळे दरीच्या तळाशी उच्च दाब असतो, तर पर्वताच्या शिखरावर कमी दाब असतो. परिणामी, वारा दरीच्या तळाकडून पर्वताच्या शिखराकडे वाहू लागतो, याला दरी वारा (Valley Breeze) म्हणतात. रात्रीच्या वेळी, दरीच्या तळापेक्षा पर्वताचे शिखर लवकर उष्णता (energy) उत्सर्जित करते आणि लवकर थंड होते. यामुळे पर्वताच्या शिखरावर उच्च दाब निर्माण होतो, तर दरीच्या तळाशी कमी दाब असतो. परिणामी, वारा पर्वताच्या शिखराकडून दरीच्या तळाकडे वाहू लागतो, याला पर्वतीय वारा (Mountain Breeze) किंवा पर्वत उतारावरील वारा (down valley breeze) म्हणतात.



३. चिनूक आणि फोन (Chinook and Foehn)

पर्वताच्या वातविन्मुख बाजूवर (leeward side) वाहणाऱ्या उष्ण आणि कोरड्या स्थानिक वाऱ्यांना अमेरिकेत (USA) चिनूक (Chinook) आणि स्वित्झर्लंडमध्ये फोन (Foehn) म्हणतात.

- **चिनूक (Chinook):** अमेरिकेत, हे वारे रॉकी पर्वतरांगांच्या पश्चिम उतारावरून वर चढतात आणि पश्चिम उतारांवर पर्जन्यमान देतात. रॉकी पर्वतरांगा ओलांडल्यानंतर, हे वारे पूर्वेकडील उतारावरून खाली उतरतात. या काळात ते उष्ण आणि कोरडे होतात. **फोन (Foehn):** स्विस आल्प्समध्ये अशीच प्रक्रिया घडते, जिथे प्रथम वारा दक्षिणी उतारांवर चढतो आणि नंतर उत्तरी उतारांवर खाली उतरतो. हे वारे हिवाळ्यामध्ये अधिक सामान्य असतात या वाऱ्यांच्या आगमनामुळे प्रदेशाचे तापमान सुमारे ४C ने वाढते. यामुळे जमिनीवर असलेला बर्फ वितळतो; म्हणून त्यांना 'स्नो ईटर्स' (Snow Eaters - बर्फ खाणारे) असेही म्हणतात. हे वारे हिरवीगार कुरणे (green pastures) उघडतात आणि गव्हाची लवकर पेरणी (early sowing) शक्य करतात. यामुळे, बाजारात इतर स्पर्धकांपेक्षा गहू लवकर उपलब्ध होतो. स्वित्झर्लंडमध्ये या वाऱ्यांना 'हवामान मरुद्यान' (climatic oasis) असेही म्हणतात, कारण ते केवळ वसंत ऋतूतील गव्हाची लवकर पेरणीच नाही, तर द्राक्षांना पिकण्यास (ripening of grapes) मदत करतात आणि शरद ऋतूतील दंव (autumn frost) टाळतात.



४. हरमॅटन (Harmattan)

सहारा वाळवंटाच्या पूर्व भागात ईशान्य आणि पूर्व दिशेकडून पश्चिमेकडे वाहणाऱ्या उष्ण आणि कोरड्या स्थानिक वाऱ्यांना हरमॅटन (Harmattan) म्हणतात. हे अत्यंत कोरडे वारे आहेत आणि वाहताना वाळवंटातील वाळू घेऊन जातात. साधारणपणे, आफ्रिकेचा पश्चिम किनारा उष्ण आणि दमट असतो आणि त्यामुळे हवामान अतिशय अप्रिय (unpleasant) असते. आफ्रिकेच्या पश्चिम किनारपट्टीवर असलेली उच्च आर्द्रता (high humidity) मानवी आरोग्यासाठी हानिकारक असते. अति-कोरड्या (hyperacid) हरमॅटनच्या आगमनामुळे जास्तीची

आर्द्रता शोषली जाते, ज्यामुळे हवामान अचानक कोरडे आणि आल्हाददायक (pleasant) होते. थोडक्यात, या वाऱ्याच्या आगमनामुळे या प्रदेशात जीवन शक्य होते; म्हणून त्यांना गिनीमध्ये 'डॉक्टर' (DOCTOR) असेही म्हणतात. काहीवेळा हरमॅटन आपल्यासोबत धूळ वादळे (dust storms) घेऊन येतात. समान वारे (Similar Winds) ऑस्ट्रेलियातील व्हिक्टोरिया प्रांतात अशाच उष्ण, कोरड्या, अतिशय जोरदार आणि धुळीने भरलेल्या वाऱ्यांना ब्रिक फील्डर (brick fielder), अमेरिकेच्या ग्रेट प्लेन्समध्ये ब्लॅकरोलर (blackroller), न्यूझीलंडमध्ये नॉर्वेस्टर (Norwester) आणि पर्शियामध्ये शामल (Shamal) म्हणतात.

५. सिरोकको (Sirocco)

हा एक उष्ण, कोरडा आणि धूळयुक्त वारा आहे, जो सहारा वाळवंटातून केवळ एकाच दिशेने वाहतो. भूमध्य समुद्र (Mediterranean sea) ओलांडताना, तो ओलावा शोषून घेतो आणि आल्प्सच्या दक्षिणी उतारांवर, विशेषतः इटली आणि स्पेनमध्ये पर्जन्यमान देतो. सहारा वाळवंटावरून वाहताना सिरोककोने उचललेल्या लाल वाळूमुळे, या पावसाला 'रक्त वर्षाव' (blood showers) म्हणतात. हा पाऊस शेती आणि फळांच्या पिकांसाठी अतिशय हानिकारक असतो. याला स्थानिक पातळीवर इजिप्तमध्ये 'खमसिन' (Khamsin), लिबियामध्ये 'गिब्ली' (Gibli), ट्युनिशियामध्ये 'चिल्ली' (Chilli) आणि अरबी वाळवंटात 'सिमूम' (Simoom) म्हणतात.

६. मिस्ट्राल (Mistral)

हा वारा फ्रान्स आणि स्पेनमध्ये वायव्येकडून आग्नेयेकडे वाहतो. ते हिवाळ्याच्या हंगामात सर्वात जास्त सक्रिय असतात. आर्क्टिक सर्कलजवळ त्यांच्या उत्पत्तीमुळे, ते खूप थंड आणि वादळी (stormy) स्वरूपाचे असतात; वारंवार हवाई वाहतुकीवर (air traffic)

प्रतिकूल परिणाम करतात.

७. बोरा (Bora)

हे ऍड्रियाटिक समुद्राच्या किनाऱ्याजवळ वाहणारे अतिशय थंड आणि कोरडे ईशान्येकडील वारे आहेत. ते आल्प्सच्या दक्षिणी उतारांपर्यंत, म्हणजेच उत्तर इटलीपर्यंत पोहोचू शकतात. ते थंड असले तरी, ऍड्रियाटिक समुद्रावरून येताना ते ओलावा शोषून घेतल्यामुळे तुलनेने दमट असतात.

८. बर्फाचे वादळ (Blizzard)

हे एक हिंसक, वादळी, थंड आणि ध्रुवीय वारा आहे, जो कोरड्या बर्फाने भरलेला असतो. हे उत्तर आणि दक्षिण ध्रुवीय प्रदेशात (polar regions) प्रचलित आहे. हे सायबेरिया, कॅनडा आणि अलास्कामध्ये शेकडो किलोमीटर पर्यंत वाहते. या वाऱ्यांच्या आगमनानंतर दृश्यमानता (visibility)

लक्षणीयरीत्या कमी होते. बर्फाच्या वादळांचा सरासरी वेग ८०-९६ किमी/तास असतो. त्यांना दक्षिण अमेरिकेत 'नॉर्थर' (norther) आणि सायबेरियात 'बुरान' (Burran) असेही म्हणतात.

अटलांटिक मेरिडोनल ओव्हरटर्निंग सर्कुलेशन (AMOC)

प्रस्तावना (Introduction)

- अटलांटिक मेरिडोनल ओव्हरटर्निंग सर्कुलेशन (AMOC) ही महासागर प्रवाहांची एक मोठी प्रणाली आहे, जी उष्ण, खारट पाणी उष्णकटिबंधातून उत्तर अटलांटिकमध्ये वाहून नेते आणि थंड, खोल पाणी दक्षिण दिशेने परत आणते.
- पृथ्वीच्या हवामानाचे नियमन (regulating Earth's climate) करणारा हा जागतिक थर्मोहेलाइन अभिसरणाचा (global thermohaline circulation - 'ocean conveyor belt') एक महत्त्वाचा घटक आहे.
- NASA AMOC ला "महासागराचा कन्हेयर बेल्ट" (conveyor belt of the oceans) म्हणते आणि IPCC हवामान बदलामुळे ते कमकुवत होत असल्याचा इशारा देते.

AMOC कसे कार्य करते (How AMOC Works)

- गल्फ स्ट्रीमद्वारे (Gulf Stream) उष्ण पृष्ठभागावरील पाणी उत्तर दिशेने सरकते.
- थंड झाल्यावर, पाणी अधिक घन (denser) होते, ग्रीनलँड आणि आईसलँडजवळ खाली बुडते (sinks) आणि खोल थंड प्रवाहांच्या (deep cold currents) रूपात दक्षिण दिशेने वाहते.
- हे ओव्हरटर्निंग अभिसरण (overturning circulation) उष्णता, कार्बन आणि पोषक तत्वांचे जागतिक स्तरावर पुनर्वितरण करते.

AMOC चे महत्त्व (Importance of AMOC)

- हवामान नियमन (Climate Regulation): हे उष्णकटिबंध आणि उच्च अक्षांश यांच्यात उष्णता संतुलित करते, ज्यामुळे मान्सून प्रणालीवर परिणाम होतो.
- कार्बन विलगन (Carbon Sequestration): वातावरणातील CO₂ चे खोल महासागर थरांमध्ये साठवण (Stores) करते.

- सागरी उत्पादकता (Marine Productivity): मत्स्यपालनासाठी (fisheries) महत्त्वपूर्ण असलेल्या पोषक तत्वांच्या अभिसरणास (nutrient circulation) समर्थन देते.
- हवामान स्वरूप (Weather Patterns): उत्तर अटलांटिक आणि उष्णकटिबंधातील पर्जन्यमान आणि वादळांच्या क्रियाकलापांना स्थिर करते.

AMOC ला असलेले धोके (Threats to AMOC)

- जागतिक तापमानवाढ (Global Warming):
 - ग्रीनलँड आणि आर्क्टिकमधील बर्फ वितळल्यामुळे गोडे पाणी (freshwater) जोडले जाते, ज्यामुळे क्षारता (salinity) आणि घनता कमी होते आणि पाणी खाली बुडण्याची यंत्रणा (sinking mechanism) कमकुवत होते.
- वाढलेले पर्जन्यमान (Increased Rainfall):
 - उत्तर अटलांटिकमध्ये जास्त गोड्या पाण्याचा प्रवाह झाल्यामुळे पाण्याची घनता कमी होते.
- महासागर तापमानवाढ (Ocean Warming):
 - जास्त उष्ण पाण्यामुळे स्तरीकरण (stratification) कमी होते, ज्यामुळे ओव्हरटर्निंग अभिसरण मंदावते.

AMOC कमकुवत होणे/कोसळण्याचे परिणाम (Consequences of AMOC Weakening/Collapse)

जागतिक (Global)

- अधिक तीव्र हवामान (More extreme weather): उत्तर अमेरिकेत वादळे, आफ्रिका आणि आशियामध्ये दुष्काळ.
- समुद्र पातळी वाढणे (Sea Level Rise): AMOC मंदावल्याने यूपस पूर्व किनारपट्टीवर समुद्र पातळी वाढते.
- अस्थिरता (Possible shutdown): संभाव्य पूर्ण बंदमुळे मागील हिमयुगाप्रमाणे (last Ice Age) जागतिक हवामान अस्थिर होऊ शकते.

भारतासाठी (For India)

- मान्सून विस्कळीत होणे (Monsoon Disruption): कमकुवत AMOC मुळे भारत आणि

साहेल प्रदेशात (Sahel region) पर्जन्यमान कमी होऊ शकते.

- जास्त उष्णतेच्या लाटा (More Heat Waves): बदललेल्या अभिसरणामुळे दक्षिण आशियातील तापमानवाढ तीव्र होऊ शकते.
- चक्रीवादळ तीव्र होणे (Cyclone Intensification): उष्ण हिंदी महासागर उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे अधिक मजबूत करू शकतो.

आंतरराष्ट्रीय निष्कर्ष (International Findings)

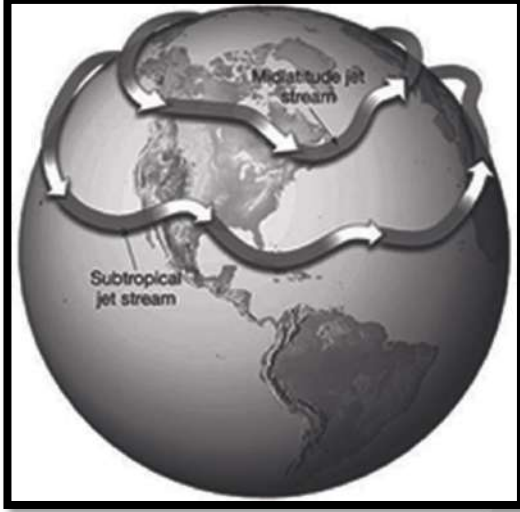
- IPCC AR6 (२०२१): AMOC २० व्या शतकाच्या मध्यापासून कमकुवत झाले आहे, याचा उच्च आत्मविश्वास आहे.
- नेचर (२०२१) अभ्यास: AMOC हजारो वर्षांतील सर्वात कमकुवत स्थितीत आहे.
- अंदाज (Projections): २१०० पूर्वी पूर्णपणे कोसळण्याची शक्यता नसली तरी, सततच्या तापमानवाढीमुळे AMOC टिपिंग पॉइंट्स (tipping points) च्या पलीकडे जाऊ शकते.

पुढील वाटचाल (Way Forward)

- शमन (Mitigation):
 - हरितगृह वायू उत्सर्जनात आक्रमकपणे कपात करणे.
 - आर्क्टिक आणि ग्रीनलँडमधील बर्फाच्या थरांचे संरक्षण करणे.
- अनुकूलन (Adaptation):
 - तीव्र हवामानासाठी प्रारंभिक चेतावणी प्रणाली (early-warning systems) मजबूत करणे.
 - दक्षिण आशियासारख्या असुरक्षित प्रदेशांमध्ये लवचिकता (resilience) निर्माण करणे.
- संशोधन आणि देखरेख (Research & Monitoring):
 - महासागर निरीक्षण प्रणालीचा (ocean observation systems) विस्तार करणे (उदा. अटलांटिकमधील \$२६.५^{\circ}\$ उत्तर येथे RAPID array).
 - UN महासागर विज्ञान दशकामध्ये (२०२१-२०३०) आंतरराष्ट्रीय सहकार्य करणे.

जेट प्रवाह (Jet Stream)

तपांबराच्या वरच्या मर्यादित (upper limit of troposphere) काहीशे किलोमीटर रुंदीच्या अरुंद पट्ट्यात वेगाने फिरणाऱ्या आणि शक्तिशाली असलेल्या परिध्रुवीय पश्चिमी हवेच्या अभिसरणाला (circumpolar westerly air circulation) जेट प्रवाह (Jet Stream) म्हणतात.



जेट प्रवाहाची वैशिष्ट्ये (Properties of Jet Streams)

- ते ध्रुव आणि २० अक्षांशांदरम्यान मर्यादित आहेत.
- जमिनीच्या पृष्ठभागापासून त्यांची उंची ५ ते १४ किमी दरम्यान असते.
- त्यांच्या प्रवाहाची दिशा पश्चिम ते पूर्व असते.
- त्यांची लांबी हजारो किलोमीटर, रुंदी काहीशे किलोमीटर आणि खोली काही किलोमीटर असते.
- जेट प्रवाहाचा किमान वेग १०८ किमी/तास असतो. ते हिवाळ्याच्या हंगामात मजबूत होतात आणि त्यांचा कमाल वेग ४८० किमी/तास पर्यंत पोहोचतो.
- ते वळतात आणि शिखर (crests) व द्रोणी (troughs) विकसित करतात, ज्यांना रॉसबी लाटा (Rossby waves) म्हणतात. जेट प्रवाहाच्या सरळ मार्गाचे लहरी (wavy) आणि वळणदार मार्गात रूपांतर होण्याच्या कालावधीला जेट प्रवाहाचे इंडेक्स चक्र (index cycle) म्हणतात.
- दाब पट्ट्यांच्या हंगामी स्थलांतरामुळे जेट प्रवाहाचा विस्तार अरुंद होतो.

जेट प्रवाहाचे प्रकार (Types of Jet Streams)

- ध्रुवीय वाताग्र जेट प्रवाह / मध्य-अक्षांश जेट प्रवाह (Polar Front Jet Stream / Mid-altitude Jet Stream)
- उप-उष्णकटिबंधीय पश्चिमी जेट प्रवाह (Subtropical Westerly Jet Stream)

- उष्णकटिबंधीय पूर्वी जेट प्रवाह (Tropical Easterly Jet Stream)
- ध्रुवीय रात्र जेट प्रवाह (Polar Night Jet Stream)
- स्थानिक जेट प्रवाह (Local Jet Stream)

जेट प्रवाहाचे महत्त्व (Significance of Jet Stream)

- ते समशीतोष्ण चक्रीवादळांशी (temperate cyclones) संबंधित आहेत. समशीतोष्ण चक्रीवादळांची तीव्रता जास्त-कमी प्रमाणात जेट प्रवाहांद्वारे निश्चित केली जाते.
- ते स्थानिक हवामानाची परिस्थिती बदलतात.
- उप-उष्णकटिबंधीय पश्चिमी जेट प्रवाह मान्सूनच्या निर्मितीमध्ये महत्त्वाची भूमिका (pivotal role) बजावतो.
- ध्रुवीय भोवरा (Polar vortex) घटना जेट प्रवाहाच्या इंडेक्स चक्राशी जोडलेली आहे.
- हवाई प्रवासात जेट प्रवाह मोठी भूमिका बजावतात.

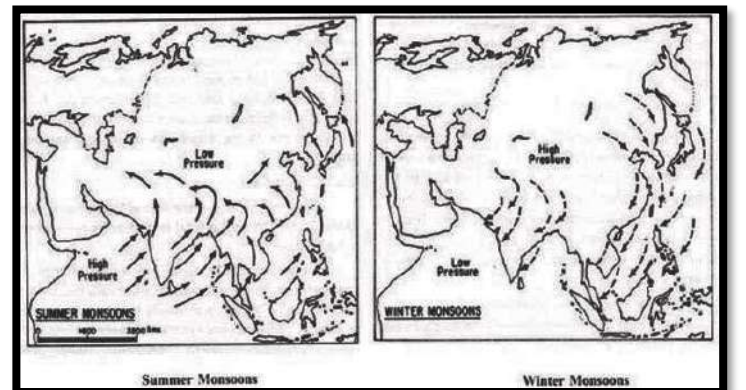
मान्सून (Monsoon)

मान्सून म्हणजे वाऱ्याच्या दिशेतील हंगामी उलटफेर (seasonal reversal of wind direction) होय. खंड आणि महासागरांचे भिन्न तापमान (Differential heating) हे त्याच्या उत्पत्तीचे मुख्य कारण आहे. मान्सूनचे वारे नैऋत्य मान्सून (South-West Monsoon) आणि ईशान्य मान्सून (North-East Monsoon) मध्ये विभागले जातात.

मान्सूनची उत्पत्ती आणि कार्यप्रणाली (Origin and Mechanism of Monsoon)

१. थर्मल हीटिंग सिद्धांत (Thermal Heating Theory)

- हा सिद्धांत हॅलेने १८८६ मध्ये सादर केला होता.
- या सिद्धांतानुसार, जमीन आणि समुद्राच्या भिन्न तापमानामुळे मान्सून होतो.
 - उत्तर गोलार्धात उन्हाळ्यादरम्यान, भारतीय उपखंडात तापमान खूप जास्त असते, ज्यामुळे कमी दाबाचे क्षेत्र (low-pressure area) तयार होते. त्याच वेळी, दक्षिण



गोलार्धात हिवाळा असतो, ज्यामुळे उच्च दाबाचे क्षेत्र (high pressure area) तयार होते.

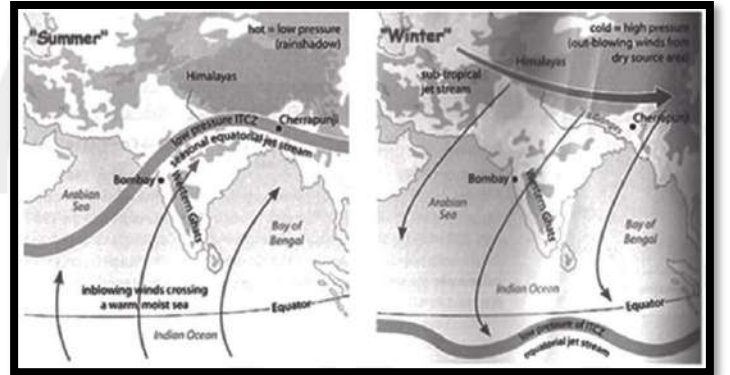
- दाब प्रवणतेमुळे (pressure gradient), वारा उच्च दाबाकडून कमी दाबाकडे वाहू लागतो. विषुववृत्त ओलांडल्यानंतर कोरिओलिस बलामुळे, ते त्यांच्या उजवीकडे वळतात. हा वारा नैऋत्य दिशेने भारतीय द्वीपकल्पावरून प्रवास करतो, याला नैऋत्य मान्सून म्हणतात.
- उत्तर गोलार्धात हिवाळ्यादरम्यान, ही स्थिती उलट होते, ज्यामुळे भारतीय उपखंडात उच्च दाबाचे क्षेत्र तयार होते आणि दक्षिण गोलार्धात कमी दाबाचे क्षेत्र तयार होते. दाब प्रवणतेमुळे, वारा उच्च दाबाकडून कमी दाबाकडे वाहू लागतो. कोरिओलिस बलामुळे, उत्तर गोलार्धातील वाऱ्यांना ईशान्य दिशा (north-easterly direction) मिळते. याला ईशान्य मान्सून म्हणतात.

२. गतिमान संकल्पना (Dynamic Concept)

- ही संकल्पना फ्लोन यांनी दिली आहे. या संकल्पनेनुसार, भारतीय मान्सून हा व्यापारी वाऱ्यांचा बदल (modification of trade winds) आहे. दाब पट्ट्यांच्या हंगामी स्थलांतरामुळे, ITCZ (आंतर-उष्णकटिबंधीय अभिसरण क्षेत्र) देखील स्थलांतरित होते. उन्हाळ्यादरम्यान, ITCZ उत्तर भारतीय मैदानावर स्थित होते, त्यामुळे दक्षिण गोलार्धातील व्यापारी वाऱ्यांनी ITCZ पर्यंत पोहोचण्यासाठी विषुववृत्त ओलांडणे आवश्यक असते. परंतु विषुववृत्त ओलांडल्यानंतर, कोरिओलिस बलामुळे, ते त्यांच्या उजवीकडे वळतात आणि यातून नैऋत्य मान्सून तयार होतो. त्याचप्रमाणे, हिवाळ्यादरम्यान ITCZ विषुववृत्ताच्या खाली सरकते आणि ईशान्य व्यापारी वाऱ्यांनी विषुववृत्त ओलांडावे लागते. हे ईशान्य व्यापारी वारे ईशान्य मान्सून आहेत. टीप: तथापि, वरील दोन्ही सिद्धांत मान्सूनची कार्यप्रणाली पूर्णपणे समजून घेण्यास मदत करत नाहीत.
- मे महिन्यातच भारतीय द्वीपकल्पावर कमी दाबाचे क्षेत्र प्रचलित असते. त्यामुळे मे महिन्यात ITCZ भारतीय द्वीपकल्पावर स्थित होते. परंतु मान्सूनची सुरुवात जूनच्या पहिल्या आठवड्यात होते. केवळ या विसंगतीचे स्पष्टीकरण वरील दोन्ही सिद्धांतांनी दिले नाही. तसेच, कमी दाबाच्या क्षेत्राचा विकास हळूहळू होतो आणि ITCZ चे स्थलांतरही उत्तरेकडे हळूहळू होते. त्यामुळे भारतीय उपखंडात मान्सूनचा विकास हळूहळू व्हायला हवा. याउलट, मान्सूनचा अचानक स्फोट (sudden burst) होतो, ज्याचे स्पष्टीकरण या सिद्धांतांनी दिले नाही. जेट प्रवाह सिद्धांताने या प्रश्नाचे स्पष्टीकरण दिले आहे.

३. जेट प्रवाह सिद्धांत (Jet Streams Theory)

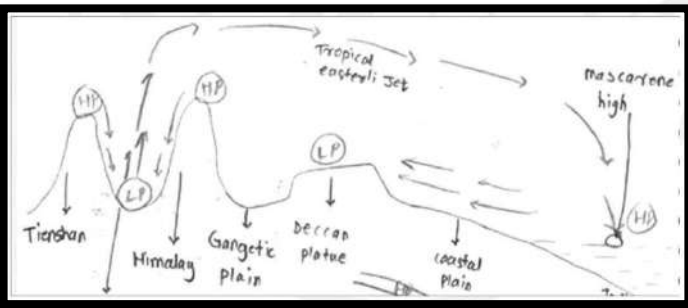
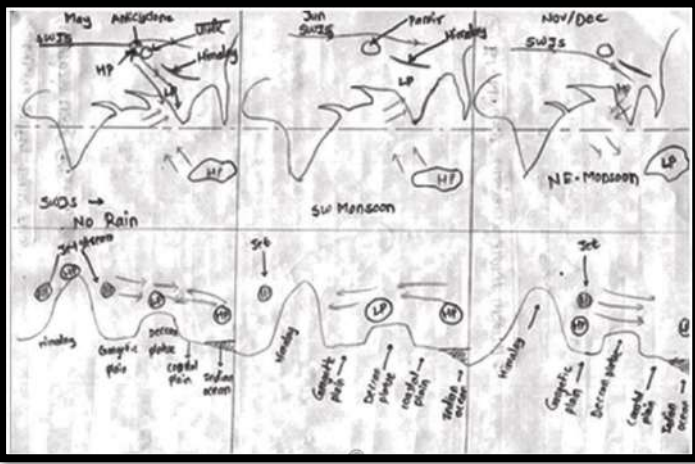
- उप-उष्णकटिबंधीय जेट प्रवाहाची (STWJ) स्थिती मान्सूनच्या कार्यप्रणालीवर परिणाम करते. हिवाळ्यादरम्यान, STWJ दक्षिण दिशेने सरकतो. हिमालयामुळे तो दोन भागांमध्ये विभागला जातो आणि एक शाखा गंगेच्या मैदानावरून (हिमालयाच्या दक्षिणेस) आणि दुसरी तिबेटवरून (हिमालयाच्या उत्तरेस) वाहते. हिवाळ्यामुळे, भारतीय उपखंडात उच्च दाब असतो, तर दक्षिण गोलार्धात कमी दाब असतो. गंगेच्या मैदानावर STWJ ची उपस्थिती या उच्च दाबाला अधिक तीव्र करते. परिणामी, वारा ईशान्य दिशेकडून दक्षिण गोलार्धाकडे वाहू लागतो. हाच ईशान्य मान्सून आहे. हिवाळी संक्रांतीनंतर, सूर्य कर्कवृत्ताकडे सरकू लागतो. यासोबतच, STWJ देखील उत्तर दिशेकडे सरकू लागतो. यामुळे STWJ ची दक्षिणी शाखा कमकुवत होते. मे महिन्यात, सूर्य बरोबर १५ ते २० अक्षांशांवर असतो. कमकुवत झाली असली तरी, STWJ ची शाखा गंगेच्या मैदानावरून पूर्णपणे अनुपस्थित नसते. ही शाखा वरच्या तपांबरात उच्च दाबाचा पट्टा तयार करते आणि पृष्ठभागावरून हवेला वर जाण्यापासून (upward movement) प्रतिबंध करते. यामुळे पृष्ठभागावर कमी दाबाचे क्षेत्र तयार होण्यास अडथळा येतो; त्यामुळे मान्सून अजून सक्रिय होत नाही. जूनच्या सुरुवातीस, STWJ पूर्णपणे हिमालयाच्या उत्तरेकडे सरकतो आणि वरच्या तपांबरातून उच्च दाब काढून टाकला जातो. यामुळे समुद्राकडून जमिनीकडे वाऱ्याची तीव्र हालचाल होते आणि यालाच मान्सूनचा अचानक स्फोट (sudden burst of monsoon) म्हणतात.



मान्सूनमध्ये तिबेटच्या पठाराची भूमिका (Role of Tibetan Plateau in Monsoon)

तिबेटचे पठार मान्सूनची शक्ती निश्चित करण्यात अतिशय महत्त्वाची भूमिका बजावते. तिबेट दक्षिणेला हिमालय आणि उत्तरेला तिअनशान (Tianshan) या उंच पर्वतरांगांनी वेढलेले आहे. त्यामुळे तिबेटच्या पठारावर आसपासच्या पर्वतरांगांच्या तुलनेत कमी दाब असतो. तिबेटचे पठार उष्णता स्रोत (heat source) म्हणून कार्य करते. त्याच्यावरील हवा आसपासच्या पर्वतरांगांपेक्षा जास्त गरम होते. ही उष्ण हवा वर चढते आणि दक्षिण दिशेने पसरते. ही हवा ३० दक्षिण आणि ७० पूर्व येथे हिंदी महासागरावर (Indian Ocean)

खाली उतरते (sinks), याला मास्करेन हाय (Mascarene High) म्हणतात. वाऱ्याच्या या हालचालीला उष्णकटिबंधीय पूर्वी जेट प्रवाह (tropical easterly jet) म्हणतात. हा जेट मान्सूनच्या पावसाला भारतीय उपखंडाकडे ढकलतो आणि नैऋत्य मान्सूनची तीव्रता वाढवतो.



एल निनो आणि मान्सूनवरील त्याचा परिणाम (El Nino and its Impact on Monsoon)

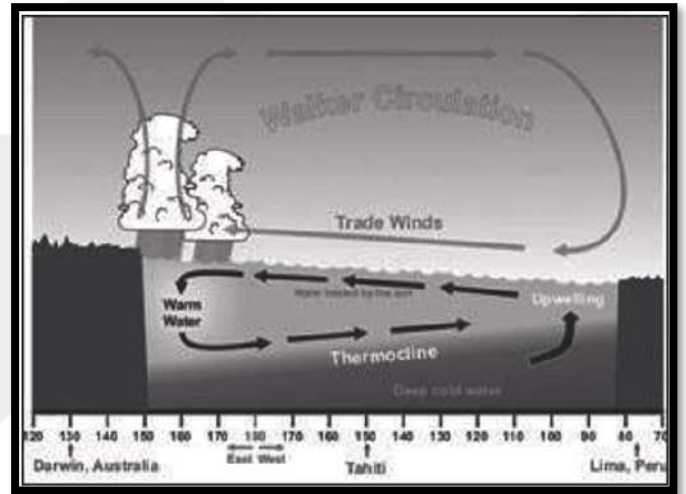
एल निनो (El Nino) म्हणजे प्रति-विषुववृत्तीय पॅसिफिक प्रवाहाचा (counter equatorial Pacific current) पेरूच्या किनारपट्टीकडे विस्तार होणे होय. या घटनेत, उष्ण प्रति-विषुववृत्तीय पॅसिफिक प्रवाह थंड पेरू प्रवाहाची / हम्बोल्ट प्रवाहाची जागा घेतो. ही घटना सामान्यतः ख्रिसमसच्या काळात घडते. म्हणून याला 'ख्रिस्त बालक' (Christ child) किंवा 'बाल येशू' (baby Jesus) असेही म्हणतात.

एल निनो ३-७ वर्षांच्या चक्रात येतो.

सामान्य परिस्थिती (Normal Conditions)

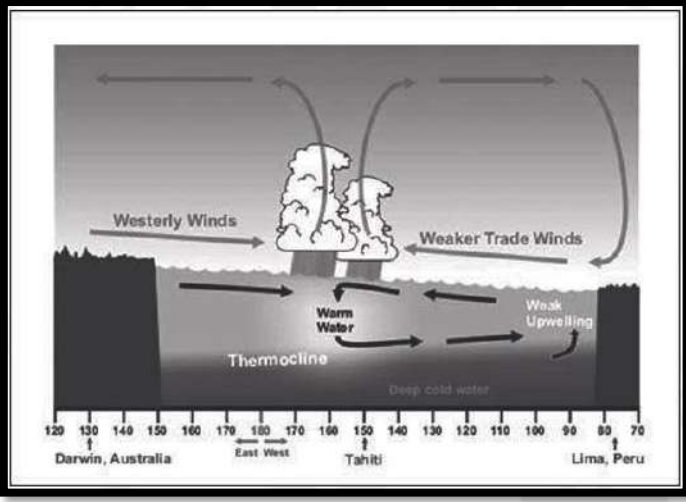
सामान्य परिस्थितीत, पूर्वी व्यापारी वारे (easterly trade winds) विषुववृत्ताकडे वाहताना उष्ण पाणी पेरूच्या किनारपट्टीपासून ऑस्ट्रेलिया आणि इंडोनेशियाकडे ढकलतात. यामुळे पश्चिम पॅसिफिक किनारपट्टीजवळ उष्ण पाण्याचा साठा

होतो आणि पेरूच्या किनारपट्टीजवळ अपवेलिंगमुळे (upwelling) थंड पाणी पृष्ठभागावर येते. त्यामुळे पश्चिम पॅसिफिकमध्ये पूर्व पॅसिफिकपेक्षा कमी दाब असतो. ही दाब प्रवणता उष्णकटिबंधीय वाऱ्यांचे पूर्व ते पश्चिम अभिसरण (circulation) निर्माण करते, ज्याला वॉकर अभिसरण (Walker Circulation) म्हणतात. वॉकर अभिसरण हे हवेच्या अभिसरणाचे एक अभिसारणीय कोष (convective cell) आहे. वॉकर अभिसरणांमुळे, वरतून हवा खाली उतरल्यामुळे विषुववृत्तीय पूर्व पॅसिफिक महासागराजवळ उच्च दाब अधिक तीव्र होतो. हे वॉकर अभिसरण हिंदी महासागरातील मान्सून वाऱ्यांना पुढे ढकलते.



एल निनो परिस्थिती (El-Nino Conditions)

एल निनो परिस्थिती पूर्वी व्यापारी वाऱ्यांची शक्ती कमी करते आणि पेरूच्या किनारपट्टीला गरम करते, ज्यामुळे अपवेलिंग थांबते. दाब प्रणाली उलट होते (pressure system gets reversed) आणि त्याचप्रमाणे वॉकर अभिसरण देखील उलट होते. दाब प्रवणतेतील अशा बदलांना आणि वॉकर अभिसरणाच्या उलट्या स्थितीला दक्षिणी दोलन (Southern Oscillation) म्हणतात. दक्षिणी दोलन नेहमी एल निनो घटनांशी संबंधित असते. या एकत्रित घटनेला ENSO परिणाम (El Nino Southern Oscillation) म्हणतात. [Image showing the changes in pressure and wind direction across the Pacific during El Nino compared to normal conditions] या परिणामादरम्यान, समुद्राच्या पृष्ठभागावर विषुववृत्तीय पश्चिमी वाऱ्यांचा (equatorial westerlies) विकास झाल्यामुळे वॉकर अभिसरण कमकुवत होते. हे पश्चिमी वारे हिंदी महासागरावर विकसित झालेल्या मान्सून वाऱ्यांना खेचून (suck) घेतात आणि परिणामी भारतीय उपखंडातील मान्सून कमकुवत होतो.



दक्षिणी दोलनची मुख्य अडचण अशी आहे की त्याचा कालावधी निश्चित नाही आणि त्याचा कालावधी २ ते ५ वर्षांपर्यंत बदलतो. दक्षिणी दोलनची तीव्रता मोजण्यासाठी विविध निर्देशांक वापरले जातात, परंतु सर्वात जास्त वापरला जाणारा निर्देशांक म्हणजे दक्षिणी दोलन निर्देशांक (SOI). हा पॅसिफिक महासागराचे प्रतिनिधित्व करणाऱ्या ताहिती आणि हिंदी महासागराचे प्रतिनिधित्व करणाऱ्या पोर्ट डार्विन यांच्यातील दाबाचा फरक असतो. सकारात्मक दक्षिणी दोलन निर्देशांक (Positive SOI) म्हणजे ताहितीचा दाब पोर्ट डार्विनपेक्षा जास्त आहे, ज्यामुळे भारत आणि हिंदी महासागरावर चांगला मान्सून पाऊस येतो. नकारात्मक दक्षिणी दोलन निर्देशांक (Negative SOI) म्हणजे पोर्ट डार्विनचा दाब ताहितीपेक्षा जास्त आहे आणि यामुळे भारतीय उपखंडात कमी पाऊस आणि खराब मान्सून येतो, जो एल निनोचे आगमन दर्शवतो.

एल निनोचे महत्त्व (Significance of El-Nino)

- सामान्य परिस्थितीत, हवा खाली उतरल्यामुळे आणि प्रतिचक्रीवादळी परिस्थितीमुळे पेरूच्या किनारपट्टीवर पाऊस पडत नाही. परंतु एल निनो उच्च दाबाची जागा कमी दाबाने घेतो, ज्यामुळे पेरूच्या किनारपट्टीवर पाऊस येतो.
- सामान्य परिस्थितीत, हवेच्या वर चढण्यामुळे पॅसिफिकच्या पश्चिम सीमांवर पाऊस पडतो. वॉकर अभिसरण उलटल्यामुळे ही स्थिती उलट होते आणि विषुववृत्तीय पॅसिफिकच्या पश्चिम सीमांवर पाऊस पडत नाही.
- एल निनो परिस्थितीत, हिंदी महासागरातून उद्धवणारे वारे पॅसिफिककडे खेचले जातात, ज्यामुळे भारतीय उपखंडात मान्सून कमकुवत होतो.
- सामान्य परिस्थितीत, पेरूच्या किनारपट्टीवर अपवेलिंगमुळे चांगले मासेमारी क्षेत्र (good fishing grounds) विकसित होते. पर्जन्यमानाचा अभाव आणि चांगले मासेमारी क्षेत्र या प्रदेशातील मत्स्यपालनाला प्रोत्साहन देतात. परंतु एल निनोदरम्यान

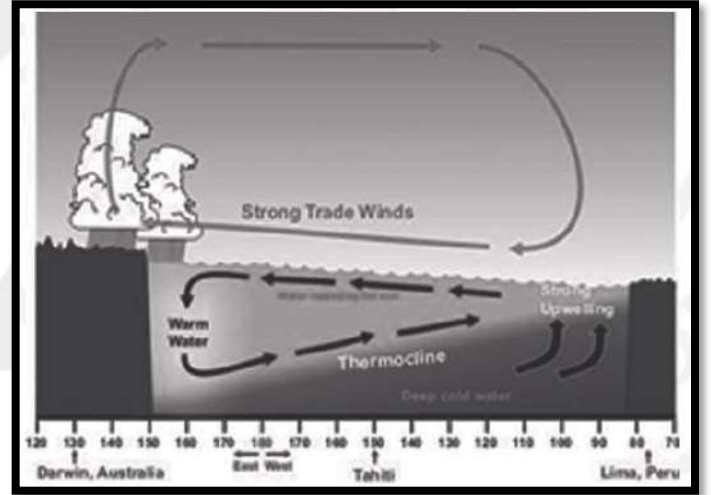
अपवेलिंग थांबते, ज्यामुळे मासेमारीवर परिणाम होतो. त्याच वेळी, पाऊस या प्रदेशात शेतीला प्रोत्साहन देतो.

- एल निनोच्या घटनांदरम्यान होणाऱ्या मुसळधार पावसामुळे दक्षिण अमेरिकेच्या पश्चिम किनारपट्टीवर वारंवार अचानक पूर (flash floods) आणि मलेरियाचा उद्रेक होतो.

- एल निनो भारतीय मान्सूनवर परिणाम करून दुष्काळ (droughts) आणतो असे मानले जाते; परंतु जेव्हा जेव्हा एल निनो येतो, तेव्हा मान्सूनवर परिणाम होतोच, असा कोणताही निश्चित नियम नाही. या दोन घटनांमधील गुंतागुंतीचा दुवा समजून घेण्यासाठी अधिक संशोधनाची गरज आहे.

ला निनो (La-Nina)

ला निनो (La-Nina) हा एल निनोचा प्रतिकरूप (counterpart) आहे. हे पूर्व विषुववृत्तीय पॅसिफिकमध्ये सामान्यपेक्षा थंड (cooler than normal) पृष्ठभाग सागरी तापमानाने वैशिष्ट्यीकृत आहे. थोडक्यात, ही सामान्य परिस्थितीची (normal conditions) तीव्रता (intensification) आहे. सामान्यतः, एल निनो नंतर ला निनो येतो, ज्यामुळे विस्कळीत झालेली परिस्थिती सामान्य होते. या स्थितीचे एल निनोच्या स्थितीच्या विरुद्ध परिणाम होतात.

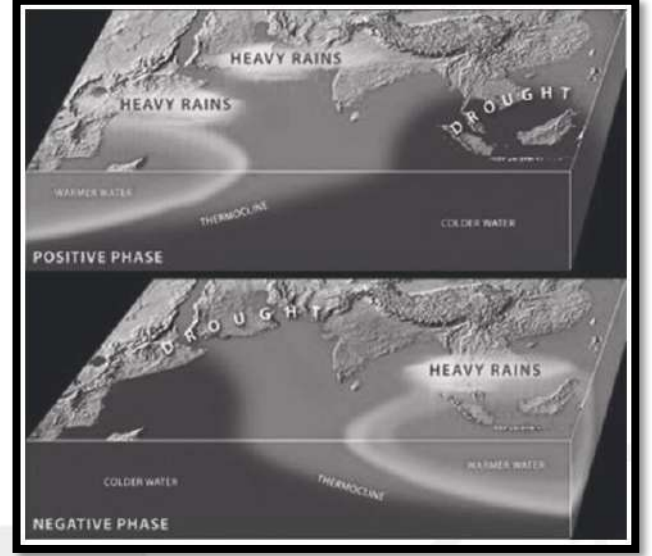


हिंदी महासागर द्विध्रुव (Indian Ocean Dipole/Indian Nino) आणि एल निनो

- जरी 'एन्सो' (ENSO) हा घटक पूर्वीच्या अनेक दुष्काळांचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी सांख्यिकीयदृष्ट्या प्रभावी ठरला असला, तरी अलीकडील दशकांमध्ये भारतीय उपखंडात एन्सो आणि मान्सूनचे संबंध कमकुवत झालेले दिसतात. उदा. १९९७ मध्ये जोरदार एन्सो असूनही भारतात दुष्काळ पडला नाही.
- तथापि, नंतर हे आढळून आले की, पॅसिफिक महासागरात ज्याप्रमाणे एन्सोची घटना घडते,

त्याचप्रमाणे हिंदी महासागरातही सागर-वातावरण (Ocean-Atmosphere) प्रणालीची 'सी-सॉ' प्रमाणे होणारी अशीच एक क्रिया कार्यरत आहे. ही घटना १९९९ मध्ये शोधली गेली आणि तिला हिंदी महासागर द्विध्रुव (Indian Ocean Dipole - IOD) असे नाव देण्यात आले.

- हिंदी महासागर द्विध्रुव (IOD) ची व्याख्या दोन क्षेत्रांमधील (किंवा ध्रुवांमधील, म्हणून द्विध्रुव) समुद्री पृष्ठभागाच्या तापमानातील फरकावरून केली जाते - अरबी समुद्रातील (पश्चिम हिंदी महासागर) पश्चिम ध्रुव आणि इंडोनेशियाच्या दक्षिणेकडील पूर्व हिंदी महासागरातील पूर्व ध्रुव.
- IOD ची निर्मिती हिंदी महासागराच्या विषुववृत्तीय प्रदेशात एप्रिल ते मे दरम्यान होते आणि ऑक्टोबरमध्ये ती सर्वोच्च पातळीवर पोहोचते.
- सकारात्मक IOD च्या वेळी हिंदी महासागरावरील वारे पूर्वेकडून पश्चिमेकडे (बंगालच्या उपसागराकडून अरबी समुद्राकडे) वाहतात. यामुळे अरबी समुद्र (आफ्रिकेच्या किनाऱ्याजवळील पश्चिम हिंदी महासागर) खूप गरम होतो आणि इंडोनेशियाच्या आसपासचा पूर्व हिंदी महासागर थंड व कोरडा बनतो.
- नकारात्मक द्विध्रुव वर्षात (Negative IOD) याच्या विपरीत परिस्थिती निर्माण होते, ज्यामुळे इंडोनेशियाचा भाग खूप उष्ण आणि अधिक पावसाचा बनतो.
- हे सिद्ध झाले आहे की, सकारात्मक IOD निर्देशांक बऱ्याचदा एन्सोचा प्रभाव कमी करतो, ज्यामुळे १९८३, १९९४ आणि १९९७ यांसारख्या एन्सो वर्षांमध्येही मान्सूनचा पाऊस वाढलेला दिसून येतो.
- पुढे, हे देखील दर्शविले गेले की IOD चे दोन ध्रुव - पूर्व ध्रुव (इंडोनेशियाच्या आसपास) आणि पश्चिम ध्रुव (आफ्रिकेच्या किनाऱ्याजवळ) - स्वतंत्रपणे आणि एकत्रितपणे भारतीय उपखंडातील मान्सूनच्या पावसाच्या प्रमाणावर परिणाम करतात.
- एन्सोप्रमाणेच, IOD चा वातावरणीय घटक नंतर शोधला गेला आणि त्याला विषुववृत्तीय हिंदी महासागर दोलन [Equatorial Indian Ocean Oscillation - EQUINOO] असे नाव देण्यात आले. [बंगालचा उपसागर आणि अरबी समुद्र यांच्यात उष्ण पाणी आणि वातावरणीय दाबाचे दोलन (उतार-चढाव)].
- सकारात्मक IOD (जेव्हा अरबी समुद्र बंगालच्या उपसागरापेक्षा अधिक उष्ण असतो) यामुळे अरबी समुद्रात नेहमीपेक्षा जास्त चक्रीवादळे निर्माण होतात.
- नकारात्मक IOD मुळे बंगालच्या उपसागरात नेहमीपेक्षा अधिक जोरदार चक्रीवादळ निर्मिती (Tropical Cyclones) होते. अरबी समुद्रातील चक्रीवादळ निर्मिती दडपली जाते/कमी होते.



एल निनो मोडोकी (El Nino Modoki)

- एल निनो मोडोकी ही उष्णकटिबंधीय पॅसिफिकमधील एक जोडलेली सागर-वातावरण घटना आहे.
- ही उष्णकटिबंधीय पॅसिफिकमधील दुसरी जोडलेली घटना, म्हणजेच एल निनो, याच्यापेक्षा वेगळी आहे.
- प्रचलित/पारंपारिक एल निनो मध्ये पूर्व विषुववृत्तीय पॅसिफिकमध्ये तीव्रपणे असामान्य तापमानवाढ दिसून येते.
- याउलट, एल निनो मोडोकी मध्ये मध्य उष्णकटिबंधीय पॅसिफिकमध्ये तीव्रपणे असामान्य तापमानवाढ आणि पूर्व व पश्चिम उष्णकटिबंधीय पॅसिफिकमध्ये थंडपणा असतो.
- एल निनो मोडोकी घटनेत मध्य विषुववृत्तीय पॅसिफिक हा असामान्यपणे उष्ण असतो आणि त्याच्या दोन्ही बाजूला (पश्चिम व पूर्व) असामान्यपणे थंड क्षेत्रे असतात.
- अशा प्रादेशिक/रिखांशात्मक फरकांमुळे उष्णकटिबंधीय पॅसिफिकमध्ये असामान्य द्वि-कोष वॉकर अभिसरण (two-cell Walker Circulation) निर्माण होते, ज्यामुळे मध्य पॅसिफिकमध्ये आर्द्रता/पाऊस अधिक असतो.

हवा राशी (Air Mass) म्हणजे हवेचा एक मोठा भाग (large body of air) होय, ज्याचे भौतिक गुणधर्म, विशेषतः तापमान, आर्द्रता सामग्री (moisture content) आणि न्हास दर (lapse rate), शेकडो किलोमीटरपर्यंत क्षैतिजरित्या (horizontally) कमी-अधिक प्रमाणात समान असतात.

हवा राशींची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Air Masses)

- उच्च समदाब दाब (High isobaric pressure).
- वरची हवा सतत खाली उतरत राहते (Upper air continues to descend).
- पर्जन्यमान नसते आणि ढगांची उपस्थिती दुर्मिळ असते.
- तुलनेने कमी आर्द्रता (Relatively low humidity).
- स्थिर हवा (Stable air).
- शेकडो किलोमीटरवर पसरलेली (Spread over hundreds of kilometres).
- हवेतील लहान उभा आणि क्षैतिज बदल (Small vertical and horizontal variation).

हवा राशींचे गुणधर्म निश्चित करणारे घटक (Factors Determining Properties of Air Masses)

- स्रोत क्षेत्राचे गुणधर्म (Properties of the source area).
- हवा राशीच्या हालचालीची दिशा (Direction of the movement of air mass).
- स्रोत क्षेत्रापासून दूर प्रवासादरम्यान झालेले बदल (Changes introduced during its journey).
- हवा राशीचे वय (Age of the air mass).

हवा राशींच्या निर्मितीसाठी आवश्यक अटी (Essential Conditions for the Formation of Air Mass)

- विस्तृत एकसंध पृथ्वीचा पृष्ठभाग (Extensive homogeneous earth surface).
- समान तापमान आणि आर्द्रतेची स्थिती (Uniform temperature and moisture conditions).
- जमिनीच्या पृष्ठभागाच्या किंवा महासागराच्या पृष्ठभागाच्या रूपात नियमित स्थलाकृति (Regular topography).
- हवेचे अभिसरण नसावे (No convergence of air - अपसरण (divergence) आवश्यक आहे).
- प्रचलित प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती (Prevailing anti-cyclonic conditions).

- दीर्घ कालावधीसाठी स्थिर वातावरणीय परिस्थिती (Stable atmospheric conditions for long period).

हवा राशींचे प्रमुख स्रोत प्रदेश (Major Source Regions of Air Masses)

या आवश्यक अटींवर आधारित, हवा राशींचे प्रमुख स्रोत प्रदेश खालीलप्रमाणे आहेत:

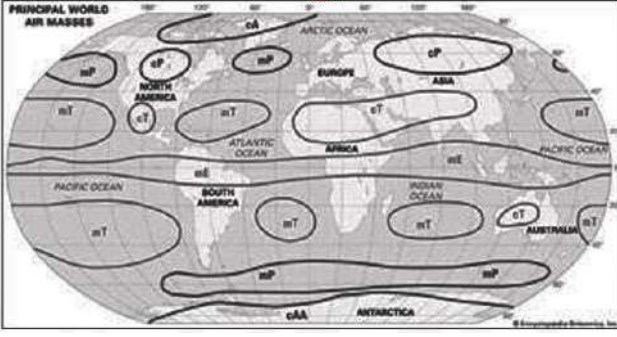
- ध्रुवीय महासागरीय क्षेत्र (Polar oceanic areas).
- ध्रुवीय आणि आर्क्टिक खंडीय क्षेत्र (Polar and Arctic continental areas).
- उष्णकटिबंधीय महासागरीय क्षेत्र (Tropical oceanic areas).
- उष्णकटिबंधीय खंडीय क्षेत्र (Tropical continental areas).
- विषुववृत्तीय प्रदेश (Equatorial regions).
- मान्सून जमीन (Monsoon lands).

हवा राशींचे वर्गीकरण (Classification of Air Masses)

(A) भौगोलिक वर्गीकरण (Geographical Classification)

हे स्रोत प्रदेशांच्या वैशिष्ट्यांवर आधारित आहे. स्रोत प्रदेशांच्या भौगोलिक स्थानानुसार त्यांचे पुढील विभाजन केले जाते:

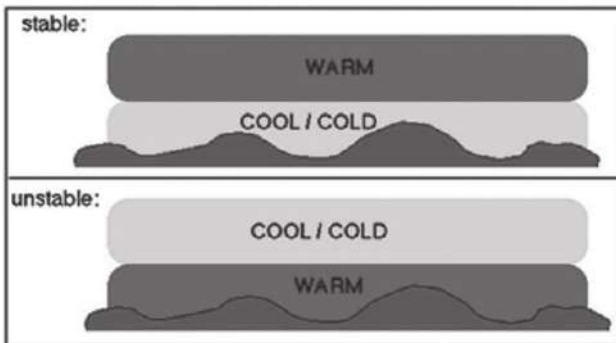
- ध्रुवीय हवा राशी (Polar air mass - P)
- उष्णकटिबंधीय हवा राशी (Tropical air mass - T)
 - स्रोत प्रदेशांच्या पृष्ठभागाच्या स्वरूपानुसार त्यांचे पुढील विभाजन केले जाते:
 - (i) खंडीय हवा राशी (Continental air masses - c)
 - (ii) सागरी हवा राशी (Maritime air masses - m)
 - या घटकांच्या संयोगाने हवा राशींचे चार मुख्य प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:
 - (i) खंडीय ध्रुवीय हवा राशी (Continental Polar air mass - cP)
 - (ii) सागरी ध्रुवीय हवा राशी (Maritime Polar air mass - mP)
 - (iii) खंडीय उष्णकटिबंधीय हवा राशी (Continental Tropical air mass - cT)
 - (iv) सागरी उष्णकटिबंधीय हवा राशी (Maritime Tropical air mass - mT)



(B) ऊष्मागतिकीय बदल आणि वर्गीकरण (Thermodynamic Modifications and Classification)

ऊष्मागतिकीय बदल (Thermodynamic modification) म्हणजे हवा राशी तिच्या स्रोत क्षेत्रापासून दूर वेगवेगळ्या पृष्ठभागांवरून जात असताना **खालून गरम होणे किंवा थंड होणे** होय.

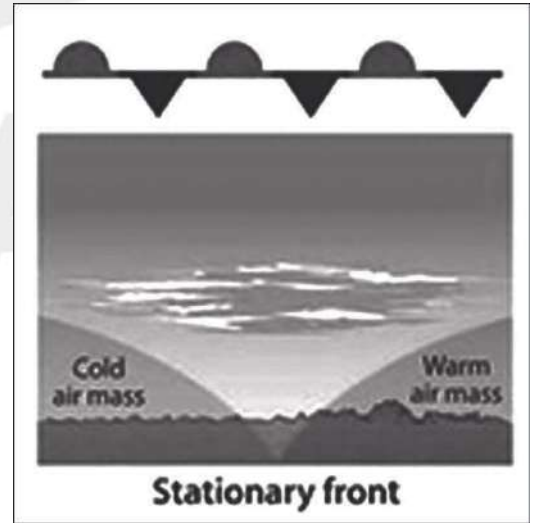
- असा बदल **चार घटकांवर** अवलंबून असतो:
 - हवा राशीची **प्रारंभिक वैशिष्ट्ये** (Initial characteristics).
 - ती ज्यावरून फिरते त्या **जमीन किंवा पाण्याच्या पृष्ठभागाचे स्वरूप**.
 - स्रोत प्रदेशापासून गंतव्यस्थानापर्यंत** हवा राशीने अनुसरण केलेला **मार्ग**.
 - विशिष्ट गंतव्यस्थानावर पोहोचण्यासाठी हवा राशीने घेतलेला **वेळ**.
- ऊष्मागतिकीय बदलांवर** आधारित, हवा राशींचे **स्थिर (stable)** आणि **अस्थिर (unstable)** हवा राशींमध्ये विभाजन केले जाते.
 - एखादी हवा राशी ज्या पृष्ठभागावरून जात आहे, त्याचे **तापमान हवा राशीच्या तापमानापेक्षा जास्त** असल्यास, ती **खालून गरम** होते आणि **अस्थिर (unstable - u)** होते.
 - याउलट, जेव्हा हवा राशी ज्या पृष्ठभागावरून फिरते, त्याचे **तापमान हवा राशीपेक्षा कमी** असते, तेव्हा ती **खालून थंड** होते आणि **स्थिर (stable)** होते.



- तसेच, **गंतव्य प्रदेशावर** आधारित, हवा राशींचे **उष्ण** आणि **थंड** हवा राशींमध्ये विभाजन केले जाते.
 - उष्ण हवा राशी (warm air mass - w)** म्हणजे ज्याचे तापमान **गंतव्यस्थानाच्या पृष्ठभागाच्या तापमानापेक्षा जास्त** असते.
 - तर **थंड हवा राशी (cold air mass - k)** म्हणजे जेव्हा तिचे तापमान **गंतव्यस्थानाच्या पृष्ठभागाच्या तापमानापेक्षा कमी** असते.

हवा राशींचा हवामानावर प्रभाव (Influence of Air Masses on Weather)

- त्या **महासागरातून खंडांवर वातावरणीय आर्द्रता** वाहून नेतात आणि **जमिनीच्या भागांवर पर्जन्यमान** घडवतात.
- समशीतोष्ण चक्रीवादळे** (Temperate cyclones) **भिन्न हवा राशींच्या संपर्क क्षेत्रात** (contact zone) **उद्भवतात**.
- स्थिर हवा राशींजवळ प्रति-चक्रीवादळी परिस्थिती** (anti-cyclonic conditions) निर्माण होते, ज्यामुळे **उष्ण** आणि **कोरडे हवामान** तयार होते.
- अस्थिर हवा राशींजवळ, उभ्या कात्रीमुळे** (vertical share) **वातावरणीय अडथळे** (atmospheric disturbances) निर्माण होतात.



वाताग्र (Fronts)

वाताग्र (Front) म्हणजे **त्रिमितीय उताराचे सीमांकन क्षेत्र** (three-dimensional sloping boundary zone) होय, जिथे **भिन्न भौतिक गुणधर्म असलेल्या दोन वेगवेगळ्या हवा राशी** (two different air masses) एकत्र येतात (converge). नवीन वाताग्र तयार होण्याच्या किंवा नष्ट होणाऱ्या वाताग्राला पुन्हा जिवंत करण्याच्या प्रक्रियेला **वाताग्र निर्मिती** म्हणतात. थोडक्यात, **दोन भिन्न हवा राशी एकत्र येणे** यात समाविष्ट आहे.

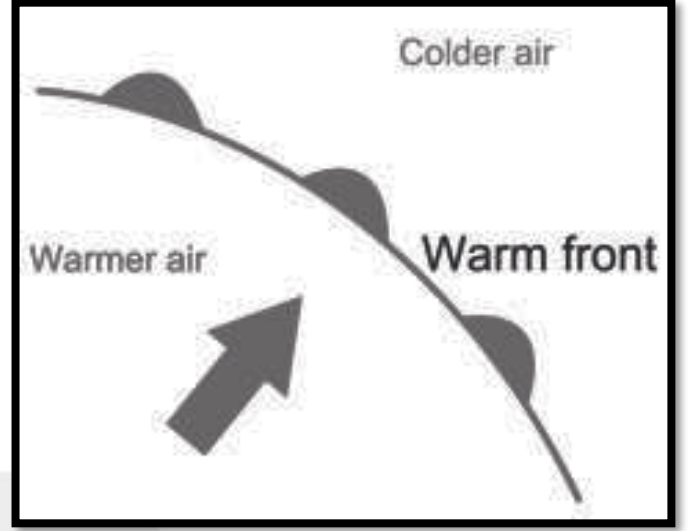
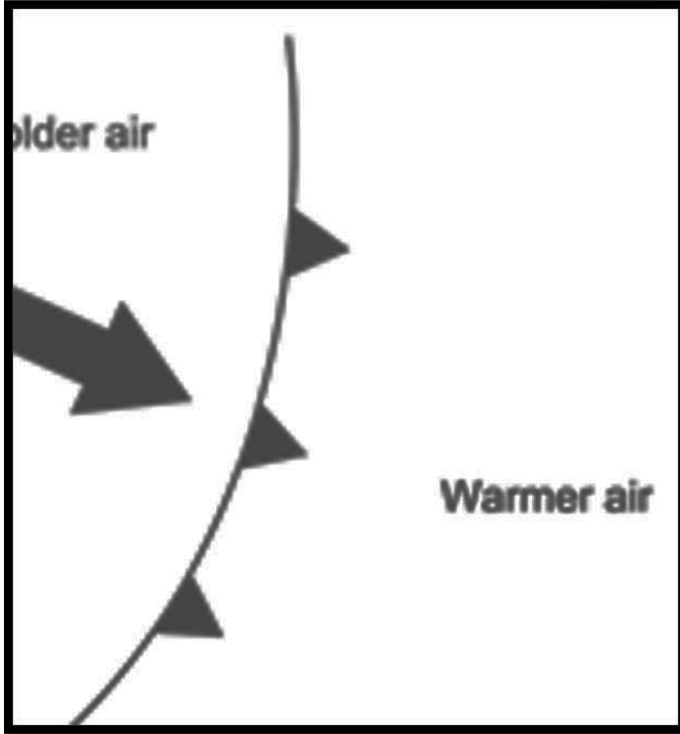
वाताग्राचे विघटन (dissipation) होणे यास वाताग्र विलोपन (Frontolysis) म्हणतात. यात एका हवा राशीवर दुसरी हवा राशी वर चढणे (overriding) समाविष्ट असते.

यामुळे क्युल्युलोनिम्बस ढग (Cumulonimbus clouds) तयार होतात.

वाताग्राचे प्रकार (Types of Fronts)

१. स्थिर वाताग्र (Stationary Front)

या वाताग्रामध्ये दोन भिन्न हवा राशी एकमेकांकडे कोणतीही हालचाल करत नाहीत, हे त्याचे वैशिष्ट्य आहे. हे वाताग्र हलत नाही. वाताग्राच्या दोन्ही बाजूंना वाऱ्याची गती वाताग्राला समांतर (parallel) असते.



३. उष्ण वाताग्र (Warm Front)

जेव्हा उष्ण हवा राशी पुढे सरकून थंड हवा राशीवरून सरकते (slides over), तेव्हा उष्ण वाताग्र तयार होते. उष्ण हवा राशी हलकी आणि सक्रिय असल्यामुळे, ती थंड हवा राशीवरून सहजपणे सरकते, ज्यामुळे मंद उताराचे वाताग्र (gentle sloped front) तयार होते. चिन्हांकन: थंड हवेकडे निर्देशित करणाऱ्या लाल अर्धवर्तुळांसह (red semi circle) एका जाड रेबेद्वारे उष्ण वाताग्र दर्शविले जाते.

हवेच्या मंद चढण्यामुळे (smooth ascendance) पाऊस सामान्यतः रिपरिप (drizzle) स्वरूपात पडतो. हा पाऊस मोठ्या क्षेत्रावर पसरलेला असतो आणि तो काही दिवस टिकतो. सामान्यतः सिरस, स्ट्रॅटस आणि निंबोस्ट्रॅटस (cirrus, stratus and nimbostratus) ढग दिसतात. क्युल्युलोनिम्बस ढग अनुपस्थित असतात. सिरोस्ट्रॅटस ढगांमुळे (Cirrostratus clouds) सूर्याभोवती प्रभामंडल (halo around the sun) तयार होते.

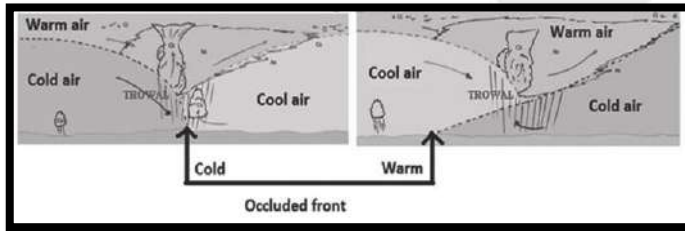
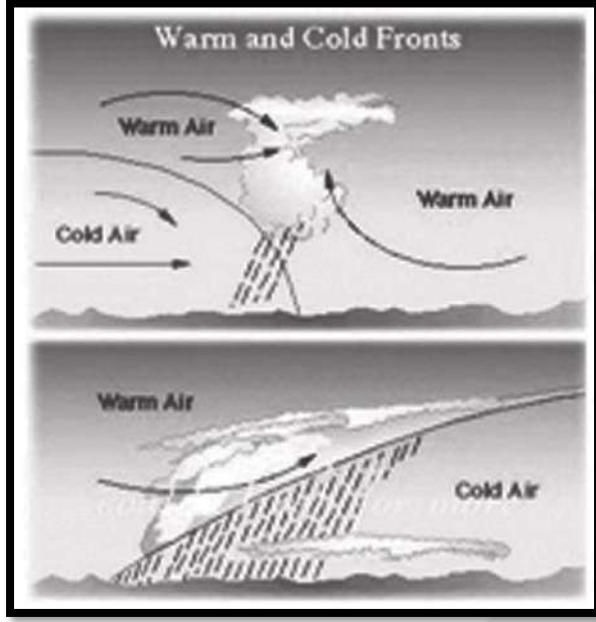
२. शीत वाताग्र (Cold Front)

जेव्हा थंड हवा राशी उष्ण हवा राशीची जागा घेते किंवा उष्ण हवा राशी मागे सरते आणि थंड हवा राशी पुढे सरकते, तेव्हा शीत वाताग्र तयार होते. या परिस्थितीत उष्ण हवा सक्रिय नसते, त्यामुळे थंड हवा उष्ण हवेला जोरदारपणे वर ढकलते, ज्यामुळे तीव्र उताराचे वाताग्र (steep sloped front) तयार होते. चिन्हांकन: उष्ण हवेकडे निर्देशित करणाऱ्या निळ्या त्रिकोणांसह (blue triangles) एका जाड रेबेद्वारे शीत वाताग्र दर्शविले जाते. हवेच्या जोरदार चढण्यामुळे (violent ascendance) शीत वाताग्राजवळ तीव्र वादळे येतात. यामुळे कमी कालावधीसाठी विजांच्या कडकडाटासह पाऊस (thunderous rainfall) पडतो. शीत वाताग्र कमी क्षेत्रावर पसरलेले असते; त्यामुळे पाऊस मर्यादित भागात केंद्रित असतो.

४. अधोविष्ट वाताग्र (Occluded Front)

अधोविष्ट वाताग्रामध्ये, उष्ण हवा वर ढकलली जाते आणि थंड हवा खाली असते. अधोविष्ट वाताग्र एकतर शीत वाताग्राच्या किंवा उष्ण वाताग्राच्या शेवटी प्राप्त होते. त्या परिस्थितीत त्यांना अनुक्रमे शीत वाताग्र अधोवेशन (cold front occlusion) आणि उष्ण वाताग्र अधोवेशन (warm front occlusion) म्हणतात. चिन्हांकन: ते वाताग्राच्या हालचालीच्या दिशेने निर्देशित केलेल्या आलटून पालटून येणाऱ्या त्रिकोण आणि अर्धवर्तुळांसह

(alternating triangles and semi-circles) एका जाड रेषेद्वारे दर्शविले जाते. ते जांभळ्या रंगात (purple colour) काढले जाते. अधोविष्ट वाताग्राजवळचे हवामान गुंतागुंतीचे (complex) असते. ते शीत वाताग्र प्रकार आणि उष्ण वाताग्र प्रकारच्या हवामानाचे मिश्रण दर्शवते.



चक्रीवादळे (Cyclones)

चक्रीवादळे म्हणजे उच्च दाबाने वेढलेले कमी दाबाचे केंद्र (centres of low-pressure surrounded by high-pressure) आणि ज्यामध्ये बाहेरून मध्यभागी असलेल्या कमी दाबाकडे बंद हवेचे अभिसरण (closed air circulation) असते. उत्तर गोलार्धात, हवा घड्याळाच्या काट्याच्या विरुद्ध दिशेने (anticlockwise) आतल्या बाजूला वाहते. दक्षिण गोलार्धात, हवा घड्याळाच्या काट्याच्या दिशेने (clockwise) आतल्या बाजूला वाहते. त्यांना वातावरणीय अडथळे (atmospheric disturbances) आणि द्वितीय अभिसरण (secondary circulations) असेही म्हणतात. त्यांचा आकार वर्तुळाकार ते लंबवर्तुळाकार ते V-आकारापर्यंत बदलतो. उत्पत्तीच्या स्थानानुसार, चक्रीवादळे दोन मुख्य प्रकारांमध्ये विभागली जातात:

उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे आणि बाह्य-उष्णकटिबंधीय किंवा समशीतोष्ण चक्रीवादळे. चक्रीवादळाच्या उत्पत्ती आणि विकासाच्या प्रक्रियेला चक्रीवादळ निर्मिती (cyclogenesis) म्हणतात. विकसित झालेल्या चक्रीवादळाच्या विघटनाला चक्रीवादळ विलोपन (cyclolysis) म्हणतात.

समशीतोष्ण चक्रीवादळे (Temperate Cyclones)

त्यांची निर्मिती विषुववृत्ताच्या उत्तर आणि दक्षिणेकडील ३५ ते ६५ दरम्यान होते. त्यांना बाह्य-उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे (extratropical cyclones), तरंग चक्रीवादळे (wave cyclones), प्रवासी अवदाब (travelling depressions) किंवा शीत-गाभा चक्रीवादळे (cold-core cyclones) असेही म्हणतात. दोन भिन्न हवा राशी (उष्ण, दमट आणि हलकी उष्णकटिबंधीय हवा राशी आणि थंड आणि घन ध्रुवीय हवा राशी) एकत्र आल्यामुळे (convergence) त्यांची निर्मिती होते. या दोन विरोधी हवा राशींच्या एकत्र येण्यामुळे ध्रुवीय वाताग्र (Polar front) तयार होते, जे समशीतोष्ण चक्रीवादळाच्या उत्पत्ती आणि विकासासाठी जबाबदार असते. त्यांच्या निर्मितीनंतर, ते पश्चिमी वाऱ्यांच्या (westerlies) प्रभावाखाली पूर्वेकडील दिशेने (easterly direction) सरकतात.

समशीतोष्ण चक्रीवादळाच्या निर्मितीचे टप्पे (Stages of Formation of Temperate Cyclone)

- समशीतोष्ण चक्रीवादळाच्या उत्पत्तीची संकल्पना ध्रुवीय वाताग्र सिद्धांताद्वारे (Polar Front Theory) स्पष्ट केली आहे (ज्याला वाताग्र सिद्धांत किंवा तरंग सिद्धांत किंवा बर्गन

सिद्धांत असेही म्हणतात), जो १९१८ मध्ये V. Bjerknes आणि J. Bjerknes यांनी दिला.

- पहिला टप्पा - प्रारंभिक टप्पा (Initial Stage):** ध्रुवांकडून येणारी थंड हवा राशी पूर्वी वाऱ्यांमुळे आणि उष्णकटिबंधातील उष्ण हवा राशी पश्चिमी वाऱ्यांमुळे एकमेकांजवळ ढकलली जातात. परंतु पहिल्या टप्प्यात, या भिन्न हवा राशींचे क्षैतिज मिश्रण होत नाही, कारण दोन्ही हवा राशी एकमेकांना समांतर सरकतात. यामुळे स्थिर वाताग्र (stationary front) तयार होते.
- दुसरा टप्पा - किशोर टप्पा / प्रारंभिक टप्पा (Juvenile Stage / Incipient Stage):** या टप्प्यात, ध्रुवीय पूर्वी वारे अधिक शक्तिशाली (forceful) होतात आणि शीत वाताग्र (cold front) तयार होते. थंड हवा उष्ण हवेला वर ढकलते आणि हळूहळू उचलण्यास (lifting) सुरुवात करते. दुसरीकडे, पूर्वेकडील विभागात, पश्चिमी वारे अधिक प्रभावी होतात आणि उष्ण हवा अधिक सक्रिय होऊन उष्ण वाताग्राला (warm front) जन्म देते. थोडक्यात, या टप्प्यात उष्ण आणि थंड हवा राशी एकमेकांच्या प्रदेशात प्रवेश करतात आणि तरंगासारखे वाताग्र (wave like front) तयार होते.
- तिसरा टप्पा - परिपक्व टप्पा (Mature Stage):** या टप्प्यात, चक्रीवादळ पूर्णपणे विकसित होते आणि समदाब रेषा (isobars) जवळजवळ वर्तुळाकार होतात. थंड पूर्वी वारे उष्ण हवेला आणखी वर ढकलतात, ज्यामुळे शीत आणि उष्ण वाताग्र एकमेकांच्या जवळ येतात.
- चौथा टप्पा - अधोविष्टेची चिन्हे (Signs of Occlusion):** शीत आणि उष्ण वाताग्र जवळजवळ एकमेकांना समांतर होतात. थंड हवेने उष्ण हवेला पूर्णपणे वर उचललेले (completely lifted) असते.
- पाचवा टप्पा - चक्रीवादळ विलोपनाची सुरुवात (Beginning of Cyclolysis):** चक्रीवादळाच्या अधोवेशनासह (occlusion), पुढे सरकणारे शीत वाताग्र उष्ण वाताग्राला पूर्णपणे मागे टाकते (overtakes) आणि अधोविष्ट वाताग्र (occluded front) तयार होते.
- सहावा टप्पा - विसर्जन टप्पा (Dissipation Stage):** या टप्प्यात, उष्ण क्षेत्र (warm sector) पूर्णपणे नाहीसे होते, अधोविष्ट वाताग्र नष्ट होते आणि चक्रीवादळ समाप्त होते.

समशीतोष्ण चक्रीवादळांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Temperate Cyclone)

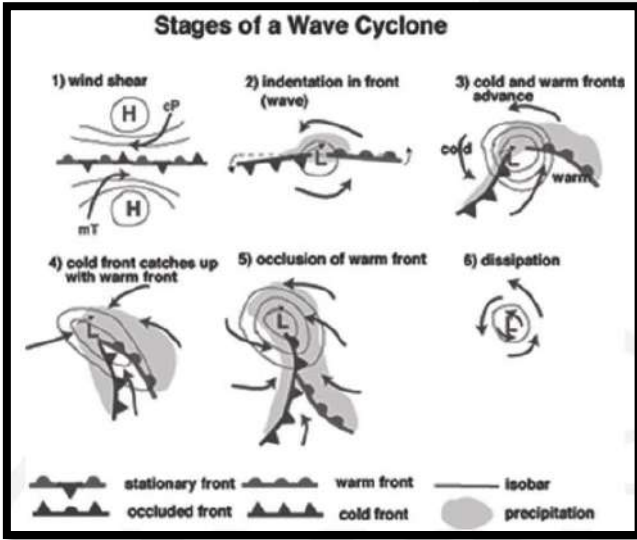
- त्यांचा आकार वर्तुळाकार, अर्ध-वर्तुळाकार, लंबवर्तुळाकार, लांबट (elongated) इत्यादी वेगवेगळा असतो.
- त्यांचा व्यास (diameter) १००० किमी ते १९०० किमी पर्यंत बदलतो.
- एका सरासरी चक्रीवादळाचा उभा विस्तार (vertical extent) सुमारे १० ते १२ किमी असतो.

४. ते पश्चिमी वाऱ्यांच्या प्रभावाखाली ३२-४८ किमी/तास च्या सरासरी वेगाने पूर्वेकडे सरकतात.
५. हिवाळ्यात थंड ध्रुवीय वारे मजबूत होत असल्यामुळे ते अधिक सक्रिय होतात.
६. चक्रीवादळाच्या वेगवेगळ्या भागांमध्ये वाऱ्याचे स्वरूप आणि दिशा यामध्ये बदल असतो.

खाली दाखवल्याप्रमाणे अंतराळातून पूर्णपणे विकसित समशीतोष्ण चक्रीवादळ दिसते.

समशीतोष्ण चक्रीवादळांशी संबंधित हवामान परिस्थिती (Weather Conditions Associated with Temperate Cyclones)

समशीतोष्ण चक्रीवादळांच्या वेगवेगळ्या टप्प्यांमध्ये हवामान कसे बदलते, याचे वर्णन खालीलप्रमाणे आहे:

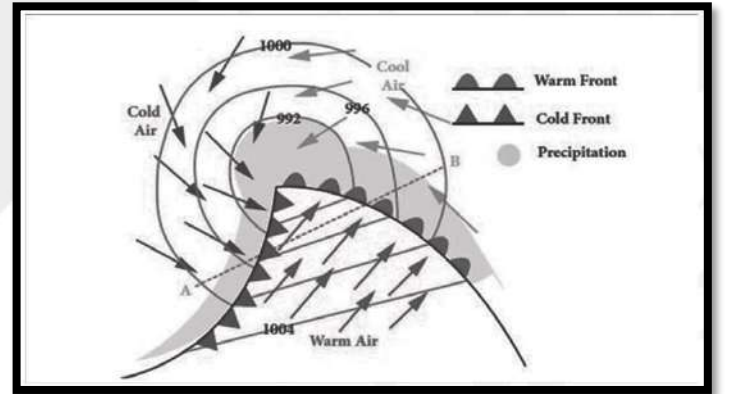


१. **चक्रीवादळाचे आगमन (Arrival of Cyclone):** जेव्हा चक्रीवादळे पश्चिमी वाऱ्यांच्या प्रभावाखाली पूर्वेकडे सरकण्यास सुरुवात करतात, तेव्हा त्यांच्या आगमनाची चिन्हे: वाऱ्याचा वेग मंदावतो (slowing down of wind velocity). हवेचा दाब कमी होतो (decrease in air pressure). सूर्य आणि चंद्राभोवती प्रभामंडल (halo) तयार होते. चक्रीवादळ जवळ येताच तापमान वाढू लागते आणि वाऱ्याची दिशा देखील ईशान्येकडून आग्नेयेकडे बदलते.
२. **उष्ण वाताग्राचे आगमन (Warm Front Arrival):** उष्ण वाताग्र आल्यावर, ढगांचे आवरण वाढते आणि आकाश गडद व जाड निंबोस्ट्रॅटस ढगांनी (nimbostratus clouds) भरून (overcast) जाते. जेव्हा पर्जन्यमान (precipitation) सुरू होते, तेव्हा ते मंद आणि हळूहळू स्वरूपाचे असते, परंतु जास्त कालावधीसाठी टिकते.

३. **उष्ण क्षेत्राचे आगमन (Arrival of Warm Sector):** मागील हवामानाच्या परिस्थितीत अचानक बदल (sudden change) होतो. वाऱ्याची दिशा दक्षिणेकडील (southerly) होते. आकाश ढगरहित आणि निरभ्र होते. तापमान वाढते आणि हवेचा दाब लक्षणीयरीत्या कमी होतो.

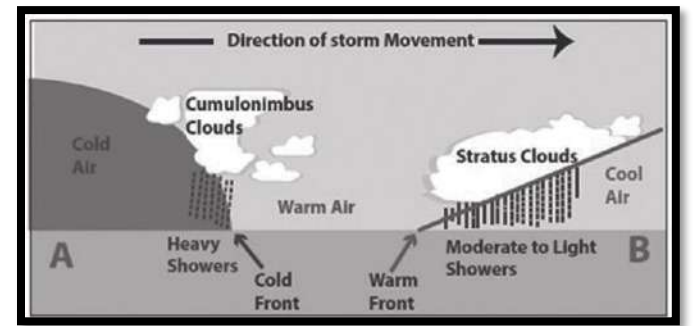
४. **शीत वाताग्राचे आगमन (Cold Front Arrival):** तापमानात स्पष्टपणे घट (marked decrease) होते. थंड हवा उष्ण हवेला ढकलते आणि आकाश निंबोस्ट्रॅटस ढगांनी आच्छादलेले असते. यामुळे मुसळधार सरींचा गडगडाट (heavy thunder of showers) होतो, परंतु तो फक्त काही तास टिकतो.

५. **थंड क्षेत्राचे आगमन (Arrival of Cold Sector):** याला चक्रीवादळाची शेपटी (tail of the cyclone) असेही म्हणतात. आकाश ढगरहित आणि निरभ्र होते. हवेच्या तापमानात तीव्र घट (sharp fall) होते आणि हवेच्या दाबात लक्षणीय वाढ (considerable rise) होते. वाऱ्याची दिशा पश्चिमेकडील (westerly) होते.



उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे (Tropical Cyclones)

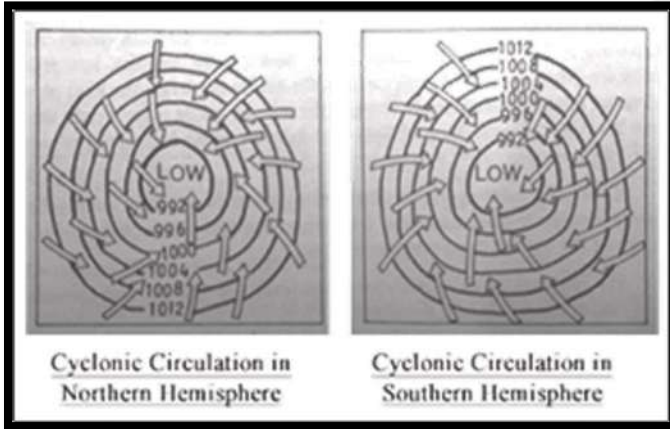
उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे सामान्यतः मकरवृत्त (Tropic of Capricorn) आणि कर्कवृत्त (Tropic of Cancer) दरम्यान असलेल्या प्रदेशात विकसित होतात.



उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांच्या उत्पत्तीसाठी आवश्यक परिस्थिती (Conditions Required for Origin of Tropical Cyclones)

१. सामान्यतः तापमान २७°C पेक्षा जास्त असावे लागते.

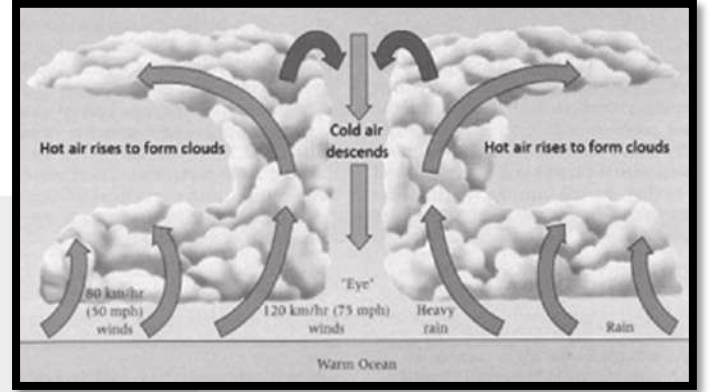
२. **कोरिओलिस बलाची आवश्यक उपस्थिती (Necessary Presence of Coriolis force):** ५ उत्तर आणि ५ दक्षिण अक्षांशांदरम्यान कोरिओलिस बल सामान्यतः अनुपस्थित (absent) असते. म्हणूनच उच्च समुद्र पृष्ठभागाचे तापमान असूनही, या भागात चक्रीवादळे विकसित होत नाहीत.
३. महासागरांवर तयार होतात आणि नंतर जमिनीकडे सरकतात.
४. **किमान उभ्या वाऱ्याची कात्री (Minimum Vertical Wind Shear Required):** कमी उभा वाऱ्याचा वेग (vertical wind shear) आवश्यक आहे.
५. **वरच्या हवा आणि चक्रीवादळाची स्थिती जमिनीवर कमी दाब राखण्यासाठी आवश्यक आहे** (Upper air and the cyclonic conditions needed to maintain low pressure over the ground).
६. **हवेचे तीव्र अभिसरण (Intense convection of air)** आवश्यक आहे.
७. **आधीपासून अस्तित्वात असलेले कमकुवत उष्णकटिबंधीय अडथळे (Pre-existing weak tropical disturbances)** उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांना तीव्र (intensify) करतात.



उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळाची उत्पत्ती (Origin of Tropical Cyclones)

वर नमूद केलेल्या (मागील प्रतिसादात नमूद केलेल्या) परिस्थितींमध्ये, दमट हवा गरम होते आणि वर चढते, ज्यामुळे कमी दाबाचे केंद्र (low-pressure centre) तयार होते, याला चक्रीवादळाचा डोळा (eye of the cyclone) म्हणतात. हे कमी दाबाचे केंद्र आसपासच्या भागातून हवा खेचते. कोरिओलिस बलामुळे (Coriolis force), हे वारे वळतात, ज्यामुळे उत्तर गोलार्धात कमी दाबाच्या केंद्राभोवती घड्याळाच्या काट्याच्या विरुद्ध दिशेने (anticlockwise circulation) अभिसरण सुरू होते. केंद्रातून वर चढणारी हवा थंड होते आणि तिचे संघनन (condensed) होते. या प्रक्रियेदरम्यान, संघनन उष्णता (latent heat of condensation) सोडली जाते, ज्यामुळे संघनित हवा आणखी गरम होते आणि तिला पुन्हा वर चढण्यास भाग पाडते. अंतिमतः वर चढणारी हवा खूप उंचीचे ढग (very high altitude clouds)

तयार करते. थोडक्यात, संघनन उष्णता ही चक्रीवादळाच्या पुढील वाढीसाठी इंजिन (engine) म्हणून कार्य करते. म्हणून चक्रीवादळांना 'पृथ्वीचे उष्णता इंजिन' (heat engine of the earth) असेही म्हणतात. एकदा चक्रीवादळ विकसित झाल्यावर, ते प्रचलित वाऱ्यांच्या दिशेनुसार सरकते आणि जवळच्या जमिनीवरून (land) जाते. जमिनीवरून जाताच, दमट हवेचा पुरवठा खंडित (cut-off) होतो. यामुळे चक्रीवादळाची तीव्रता कमी होते (याला चक्रीवादळाचा जमिनीवरचा मारा (landfall of cyclone) म्हणतात) आणि शेवटी ते नष्ट (dissipation) होते.



उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Tropical Cyclone)

१. उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळाचा सरासरी व्यास ८० ते ३०० किमी दरम्यान असतो.
२. ते ३२ किमी/तास ते १८० किमी/तास पर्यंत बदलणाऱ्या वेगाने पुढे सरकतात.
३. ते महासागरांवर उच्च वेगाने सरकतात, परंतु जमिनीच्या भागांवर जाताना कमकुवत होतात. त्यामुळे ते फक्त खंडांच्या किनारपट्टीच्या भागांवर परिणाम करतात.
४. त्यांच्या विविध भागांमध्ये तापमानातील बदल नसतात, कारण त्यांच्यात वेगवेगळे वाताग्र (different fronts) नसतात.
५. त्यांच्यात वेगवेगळे पर्जन्यमान कोष (rainfall cells) नसतात. डोळ्याव्यतिरिक्त, चक्रीवादळाचा प्रत्येक भाग पाऊस देतो.
६. काहीवेळा, ते एका विशिष्ट ठिकाणी अनेक दिवस स्थिर (stationary) राहतात, ज्यामुळे मुसळधार पाऊस पडतो, पूर आणि पर्यावरणाचे मोठे नुकसान होते.
७. सामान्यतः, ते व्यापारी वाऱ्यांच्या (trade winds) प्रभावाखाली पूर्व ते पश्चिम दिशेने सरकतात.
८. ते फक्त उन्हाळ्याच्या हंगामात (summer seasons) मर्यादित असतात.
९. उच्च वाऱ्याचा वेग (१८० किमी/तास ते ४०० किमी/तास पर्यंत), उच्च भरतीचे लाटांचे प्रवाह (high tidal surges - storm

surges), उच्च पर्जन्यमानाची तीव्रता, खूप कमी वातावरणीय दाब आणि अनेक दिवस उपस्थिती यामुळे ते विनाशकारी नैसर्गिक धोका (disastrous natural hazards) बनतात.

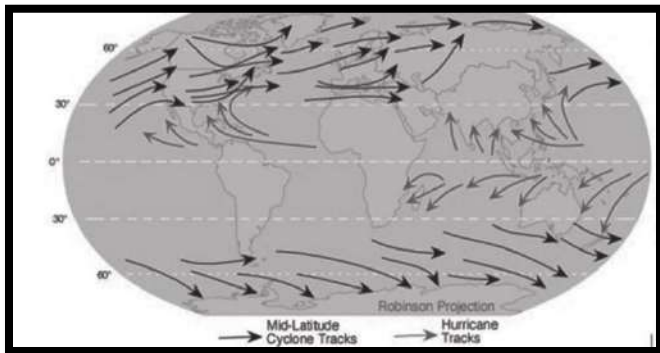
- चक्रीवादळाच्या उच्च वेगाच्या वाऱ्यांना **गेल (Gale)** म्हणतात.

उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांशी संबंधित हवामान परिस्थिती (Weather Conditions Associated with Tropical Cyclones)

१. **डोळ्याशी संबंधित हवामान परिस्थिती (Weather conditions associated with the Eye):** हा चक्रीवादळाचा मध्यवर्ती प्रदेश आहे, जिथे आकाश निरभ्र (clear skies), तापमान उष्ण (warm temperature) आणि वातावरणीय दाब कमी (low atmospheric pressure) असतो. या भागात पाऊस पडत नाही.
२. **डोळ्याची भिंत (The Eyewall):** हा उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळाचा सर्वात धोकादायक आणि विनाशकारी भाग आहे. येथे वारे सर्वात मजबूत (strongest) असतात, सर्वात जास्त पाऊस (heaviest) असतो आणि अभिसारणीय हवा (convective air) पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून वरच्या वातावरणात (१५,००० मीटर पर्यंत) चढते.
३. **पर्जन्य पट्टे (Rainbands):** डोळ्याच्या भिंतीव्यतिरिक्त, केंद्राभोवती पट्ट्यांमध्ये (bands) मांडलेले द्वितीय कोष (secondary cells) अनेकदा असतात. या पट्ट्यांना पर्जन्य पट्टे (rain bands) म्हणतात, जे केंद्राकडे वळतात (spirals).

उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांची प्रादेशिक नावे (Regional Names of Tropical Cyclones)

विविध प्रदेशांमध्ये उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांना खालीलप्रमाणे वेगवेगळ्या नावांनी ओळखले जाते:



१. चीन - टायफून (Typhoon)

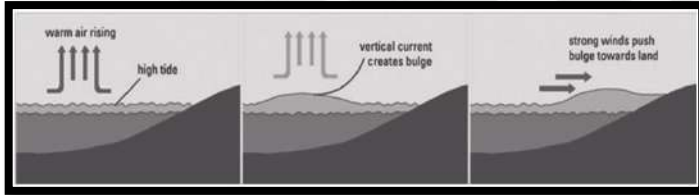
२. हिंदी महासागर - उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे (Tropical cyclones)
३. कॅरिबियन समुद्र - हरिकेन (Hurricanes)
४. उत्तर ऑस्ट्रेलिया - विली विली (Will Willy)
५. फिलिपिन्स - बगिओ (Baguio)
६. जपान - टायफू (Taifu)

| घटक | उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे (Tropical Cyclones) | समशीतोष्ण चक्रीवादळे (Temperate Cyclones) |
|------------------------------------|--|---|
| भौगोलिक स्थान | विषुववृत्ताच्या दोन्ही बाजूला 10° ते 30° अक्षांशांदरम्यान | 35° ते 65° अक्षांशांदरम्यान |
| उत्पत्तीचे क्षेत्र | फक्त उबदार समुद्राच्या पृष्ठभागावर तयार होतात; जमिनीवर आल्यावर क्षीण होतात | जमीन व समुद्र दोन्हीवर तयार होऊ शकतात |
| उत्पत्तीचा यंत्रणा | उष्णतेशी संबंधित (Thermal Origin) | ध्रुवीय अग्र-सीमा सिद्धांत (Polar Front Theory) |
| आकार (Size) | 80-300 किमी | 1000-1900 किमी |
| वेग (Velocity) | सामान्यतः 32-180 किमी/ताशी, कधीकधी 400 किमी/ताशीपर्यंत | 32-48 किमी/ताशी |
| आकार / स्वरूप (Shape) | वर्तुळाकार किंवा लंबगोल | वर्तुळाकार, अर्धवर्तुळ, लंबगोल किंवा 'V' आकार |
| पर्जन्य (Rainfall) | मुसळधार पाऊस, मेघगर्जना, विजा; वेगवेगळी पर्जन्य-कोशिका नसतात | वेगवेगळ्या पर्जन्य-कोशिका; उष्ण व शीत अग्र रेषांसह |
| तापमान | तापमानात फारसा फरक नसतो | अग्र-रेषांमुळे तापमानात लक्षणीय फरक |
| चक्रीवादळाचे केंद्र (Eye / Centre) | शांत, कमी वाऱ्याचा विभाग; पाऊस नाही; स्वच्छ आकाश — याला Eye म्हणतात | डोळा (Eye) नसतो |
| गतीचा दिशादर्शक | व्यापार वाऱ्यांच्या प्रभावाखाली पूर्वेकडून पश्चिमेकडे | पश्चिमेच्या वाऱ्यांच्या प्रभावाखाली पश्चिमेकडून पूर्वेकडे |
| हंगाम | प्रामुख्याने उन्हाळ्यात | वर्षभर; परंतु हिवाळ्यात अधिक सक्रिय |

वादळी लाट (Storm Surge)

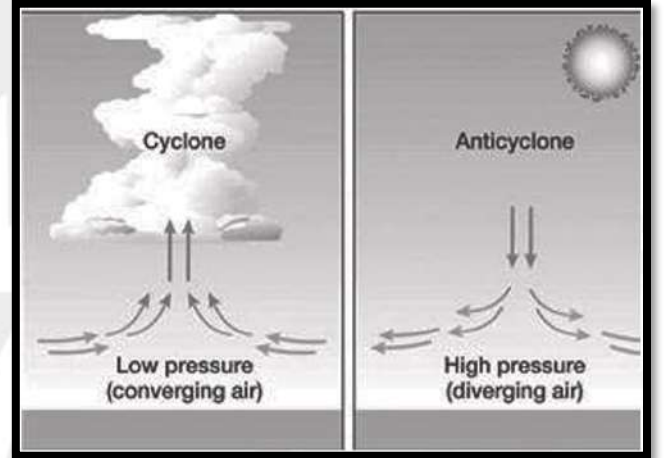
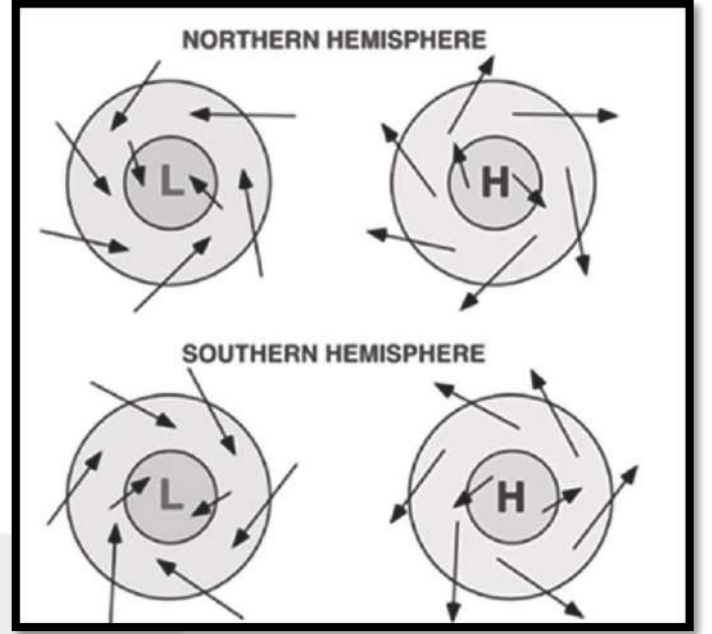
वादळी लाट (Storm Surge) म्हणजे उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळांदरम्यान होणारी समुद्र पातळीतील वाढ (rise in sea level) होय. चक्रीवादळे तीव्र वारे (strong winds) निर्माण करतात, जे पाण्याला किनाऱ्याकडे ढकलतात, ज्यामुळे पूर येऊ शकतो. यामुळे किनाऱ्यापट्टीच्या प्रदेशांसाठी वादळी लाटा अतिशय धोकादायक ठरतात. वादळी लाट प्रामुख्याने वारे आणि महासागराचा पृष्ठभाग यांच्यातील संबंधांमुळे उद्भवते. जेथे वारे सर्वात मजबूत असतात, तेथे पाण्याची पातळी वाढते. याव्यतिरिक्त, ज्या दिशेने वारे वाहत असतात, त्याच दिशेने पाणी ढकलले जाते. वादळी लाटेस कारणीभूत ठरणारा दुसरा घटक म्हणजे वातावरणीय दाब (atmospheric pressure). वातावरणीय दाब म्हणजे पृथ्वीच्या वातावरणातील हवेच्या वजनाने लादलेले बल होय. चक्रीवादळाच्या केंद्रापेक्षा त्याच्या बाहेरील कडांवर दाब जास्त असतो. यामुळे वादळाच्या बाहेरील भागातील पाणी खाली दाबले जाते, ज्यामुळे डोळा (eye) आणि डोळ्याच्या भिंतीवर (eyewall) पाणी फुगते (bulge), जिथे वाऱ्यांनी समुद्र पातळी वाढविण्यात मदत केलेली असते.

जर वादळी लाट आणि भरती (high tide) एकाच वेळी आल्यास, पाण्याची पातळी १० मीटर (३३ फूट) पर्यंत वाढू शकते. किनाऱ्याजवळील जमिनीचा उतार (slope of the land) देखील यात भूमिका बजावतो: उभ्या (steep) किनाऱ्यापेक्षा उथळ (shallow) किनाऱ्यावर पाणी अधिक सहजपणे आत वाहते. उष्णकटिबंधीय चक्रीवादळे आणि त्यांच्यामुळे निर्माण होणाऱ्या वादळी लाटा हे जगातील उष्णकटिबंधीय आणि उप-उष्णकटिबंधीय प्रदेशांसाठी एक गंभीर धोका आहेत.



प्रति-चक्रीवादळे (Anti-cyclones)

प्रति-चक्रीवादळ (Anti-cyclone) म्हणजे चक्रीवादळाच्या विरुद्ध परिस्थिती आणि वैशिष्ट्ये असलेले हवेचे अभिसरण होय. त्यांचे वैशिष्ट्य म्हणजे वर्तुळाकार समदाब रेषा (circular isobars) असतात, ज्यामध्ये केंद्रात सर्वाधिक दाब आणि बाहेरील कडांवर सर्वात कमी दाब असतो. सर्वाधिक दाबाच्या केंद्रावर, उष्ण हवा वरतून खाली उतरते (sinks) आणि सर्व दिशांना पसरते (diverges), ज्यामुळे ढगरहित, निरभ्र आणि कोरडे हवामान (dry weather) तयार होते. उत्तर गोलार्धात त्यांच्या हवेचे अभिसरण घड्याळाच्या काट्याच्या दिशेने (clockwise) असते. दक्षिण गोलार्धात त्यांच्या हवेचे अभिसरण घड्याळाच्या काट्याच्या विरुद्ध दिशेने (anticlockwise) असते.



प्रति-चक्रीवादळांची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Anticyclones)

- ते सहसा वर्तुळाकार आकाराचे असतात.
- त्यांचा व्यास (diameter) समशीतोष्ण चक्रीवादळांपेक्षा सुमारे ७५% मोठा असतो. काही समशीतोष्ण प्रति-चक्रीवादळे इतकी विस्तृत (extensive) असू शकतात की ती अर्धा अमेरिका व्यापू शकतात; त्यांचा व्यास ९००० किमी पर्यंत असू शकतो.
- ते उप-उष्णकटिबंधीय उच्च दाबाच्या पट्ट्यात अधिक सामान्य आहेत आणि विषुववृत्तीय प्रदेशात व्यावहारिकरित्या अनुपस्थित असतात.
- ते पाऊस नसलेल्या स्वच्छ हवामानाशी (rain less fair weather) संबंधित आहेत. खरेतर, त्यांना 'हवामानविरहित घटना' (weatherless phenomena) असेही म्हणतात.

५. ते सामान्यतः चक्रीवादळांचे अनुसरण (follow) करतात, परंतु त्यांचा मार्ग अत्यंत परिवर्तनशील आणि अंदाज नसणारा (unpredictable) असतो.
६. ते अतिशय मंद गतीने (sluggishly) फिरतात आणि काहीवेळा एका विशिष्ट ठिकाणी काही दिवस स्थिर (stationary) राहतात. प्रति-चक्रीवादळांचा सरासरी वेग ३०-५० किमी/तास असतो.
७. ते वातावरणीय स्थिरता (atmospheric stability) निर्माण करतात आणि विविध हवा राशींना (air masses) जन्म देतात.
८. त्यांच्यात वाताग्र (fronts) नसतात.
९. दाब प्रवणता कमकुवत (weak pressure gradient) असल्यामुळे, प्रति-चक्रीवादळांमध्ये वाऱ्याची प्रणाली पूर्णपणे विकसित झालेली नसते.
१०. त्यांचे पुढे उष्ण (उष्णकटिबंधीय हवा राशी खाली उतरल्यामुळे तयार झालेले) आणि थंड (थंड ध्रुवीय हवा राशी खाली उतरल्यामुळे तयार झालेले) प्रति-चक्रीवादळांमध्ये विभाजन केले जाते.
११. प्रति-चक्रीवादळांच्या दीर्घ उपस्थितीमुळे वाळवंटांची निर्मिती (formation of deserts) होते.
१२. मंद वाऱ्यांमुळे, ते जलवाहतुकीमध्ये (navigation) अडथळा निर्माण करतात.

PRAYAAS

(Important Definitions related to Humidity and Precipitation)

१. **गुप्त उष्णता (Latent Heat):** पाण्याच्या बाष्पीभवनादरम्यान (evaporation) आणि त्याचे पाण्याच्या वाफेत (water vapour) रूपांतर करताना खर्च होणाऱ्या उष्णता ऊर्जेला (heat energy) गुप्त उष्णता म्हणतात. ही पाण्याची वाफेमध्ये असलेली लपलेली उष्णतेची मात्रा आहे.
२. **संघनन गुप्त उष्णता (Latent Heat of Condensation):** पाण्याची वाफ द्रव (liquid) किंवा स्थायू (solid) रूपात संघटित (condensation) झाल्यानंतर उष्णता ऊर्जा बाहेर टाकली जाते, याला संघनन गुप्त उष्णता म्हणतात.
३. **आर्द्रता (Humidity):** एका विशिष्ट वेळी आणि ठिकाणी हवेत वायुरूपात (gaseous form) असलेल्या पाण्याच्या वाफेच्या प्रमाणाला आर्द्रता म्हणतात.
४. **आर्द्रता क्षमता (Humidity Capacity):** हवेची ओलावा टिकवून ठेवण्याची क्षमता (moisture retaining capacity) म्हणजे आर्द्रता क्षमता होय. याचा तापमानाशी सकारात्मक संबंध असतो, म्हणजेच तापमान वाढल्याने आर्द्रता क्षमताही वाढते.
५. **निरपेक्ष आर्द्रता (Absolute Humidity):** विशिष्ट तापमानावर हवेच्या प्रति घनफळात असलेल्या ओलावा सामग्रीचे एकूण वजन (total weight of moisture content per volume) म्हणजे निरपेक्ष आर्द्रता होय. तापमान वाढल्याने किंवा कमी झाल्याने निरपेक्ष आर्द्रता बदलत नाही. बाष्पीभवनाद्वारे (evaporation) वाफेची थेट भर घालून ती वाढवता किंवा कमी करता येते. बाष्पीभवनाचा दर कमी झाल्यास, निरपेक्ष आर्द्रता देखील कमी होते.
६. **विशिष्ट आर्द्रता (Specific Humidity):** एक किलोग्राम हवेत असलेल्या पाण्याच्या वाफेचे ग्रॅममधील वस्तुमान (mass of water vapour in grams containing in a kilogram of air) म्हणजे विशिष्ट आर्द्रता होय. हे विशिष्ट हवेत असलेल्या ओलावाच्या वास्तविक प्रमाण दर्शवते. यावर तापमान आणि बाष्पीभवनाचा परिणाम होत नाही.
७. **सापेक्ष आर्द्रता (Relative Humidity):** विशिष्ट घनफळ आणि तापमानावर हवेत वास्तविकपणे (actually) असलेल्या पाण्याच्या वाफेच्या प्रमाणाचे आणि हवा जेवढी जास्तीत जास्त आर्द्रता धारण करू शकते, त्या प्रमाणाचे गुणोत्तर (ratio) म्हणजे सापेक्ष आर्द्रता होय. थोडक्यात, हे निरपेक्ष आर्द्रता आणि आर्द्रता क्षमता यांचे गुणोत्तर आहे. पर्जन्यमानाची शक्यता (Possibility of precipitation) सापेक्ष आर्द्रतेवर अवलंबून असते. १००% सापेक्ष आर्द्रता असलेल्या हवेला संतृप्त हवा (saturated air) म्हणतात.

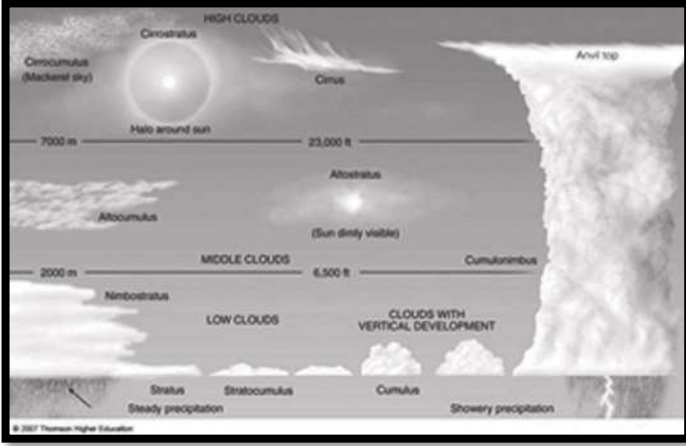
८. **संतृप्त हवा (Saturated Air):** ज्या हवेत आर्द्रता क्षमता एवढेच ओलावा प्रमाण असते, तिला संतृप्त हवा म्हणतात. * तिची सापेक्ष आर्द्रता १००% असते. संघनन तेव्हाच सुरू होते, जेव्हा हवा अति-संतृप्त (super saturated) होते, म्हणजे जेव्हा सापेक्ष आर्द्रता १००% पेक्षा जास्त होते.
९. जास्तीचा ओलावा जोडणे (By adding extra moisture).
१०. हवेचे तापमान कमी करणे (By reducing the temperature of air).
११. **दव बिंदू (Dew Point):** ज्या तापमानाला हवा संतृप्त होते, त्या तापमानाला दव बिंदू म्हणतात. जर दव बिंदू गोठण बिंदूपेक्षा वर (above freezing point) असेल, तर संघनन द्रव रूपात (दव, धुके, पाऊस इ.) होईल. पण जर दव बिंदू गोठण बिंदूपेक्षा खाली असेल, तर संघनन स्थायू रूपात (दंव, बर्फ, हिमवर्षाव, गारपीट इ.) होईल.
१२. **दव (Dew):** जेव्हा हवेचे तापमान दव बिंदूपेक्षा खाली येते, तेव्हा त्यात असलेली पाण्याची वाफ संघनित होऊ लागते आणि लहान पाण्याच्या थेंबांच्या (small water droplets) स्वरूपात झाडे आणि वनस्पतींच्या पानांवर जमा होते, याला दव म्हणतात. दव आणि इतर संघनन स्वरूपांमधील मुख्य फरक हा आहे की, दव आर्द्रताशोषक केंद्रकांशिवाय (without hygroscopic nuclei) घन वस्तूंच्या थंड पृष्ठभागांवर पाण्याच्या थेंबांच्या स्वरूपात जमा होते.
१३. **धूसरता (Haze):** ही एक वातावरणीय घटना आहे, जिथे धूळ, धूर आणि इतर कोरडे कण आकाशाची स्वच्छता अस्पष्ट (obscure the clarity) करतात.

धुके (Fog)

धुके (Fog) हा एक विशेष प्रकारचा पातळ दग आहे, जो सूक्ष्म लहान पाण्याच्या थेंबांचा (microscopically small water droplets) बनलेला असतो, जे जमिनीच्या पृष्ठभागाजवळ हवेत निलंबित (suspension) ठेवलेले असतात. यामुळे क्षैतिज दृश्यमानता (horizontal visibility) एक किलोमीटरपेक्षा कमी होते. हे पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळ उष्ण आणि थंड हवा राशीच्या मिश्रणामुळे (mixing) तयार होते. जेव्हा दमट हवा अति-संतृप्त होते, तेव्हा आर्द्रताशोषक केंद्रकांभोवती (hygroscopic nuclei - धूळ कण, धूर इ.) पाण्याची वाफ संघनित होते आणि हवेत निलंबित राहते. हलक्या धुक्याला (Light fog) धुंद (mist) म्हणतात (दृश्यमानता दोन किलोमीटरपर्यंत). धुके सामान्यतः तापमान विलोपन (temperature inversion) मुळे तयार होतात आणि तापमान विलोपन नाहीसे होताच ते नाहीसे होतात. जेव्हा धुके धुरामध्ये मिसळते, तेव्हा धुके-धूर (smog - smoke+fog) तयार होते, जे पर्यावरणासाठी हानिकारक आहे.

ढग (Clouds)

ढग (Clouds) म्हणजे जमिनीच्या पृष्ठभागाच्या वर एका विशिष्ट उंचीवर (altitude) असलेल्या असंख्य लहान पाण्याच्या थेंबांचे, बर्फाच्या कणांचे (ice particles) किंवा दोन्हीच्या मिश्रणाचे एकत्रिकरण (aggregation) होय. [Image showing different types of clouds based on altitude and form] जेव्हा हवेतील अदृश्य पाण्याची वाफ दृश्यमान पाण्याच्या थेंबांमध्ये किंवा बर्फाच्या स्फटिकांमध्ये (ice crystals) संघनित होते, तेव्हा ते तयार होतात. जेव्हा सापेक्ष आर्द्रता १००% असते, म्हणजेच हवा संतृप्त असते, तेव्हा ढग तयार होतात. ढग नेहमी पर्जन्यमानाशी संबंधित नसतात, परंतु ढगांशिवाय पर्जन्यमान शक्य नाही. ढग पृथ्वीच्या उष्णता बजेटमध्ये (heat budget) महत्त्वाची भूमिका बजावतात.



ढगांचे प्रकार (Types of Clouds)

(A) उच्च उंचीचे ढग (High Altitude Clouds) (उंची ६ ते २० किमी दरम्यान)

१. सिरस ढग (Cirrus clouds)
२. सिरो-क्युमुलस ढग (Cirro-cumulus clouds)
३. सिरो-स्ट्रॅटस ढग (Cirro-stratus clouds)

(B) मध्यम उंचीचे ढग (Mid Altitude Clouds) (उंची २.५ ते ६ किमी दरम्यान)

१. अल्टो-स्ट्रॅटस ढग (Alto-stratus clouds)
२. अल्टो-क्युमुलस ढग (Alto-cumulus clouds)
३. निम्बो-स्ट्रॅटस ढग (Nimbo-stratus clouds)

(C) कमी उंचीचे ढग (Low Altitude Clouds) (जमिनीच्या पृष्ठभागापासून २.५ किमी पर्यंत)

१. स्ट्रॅटो-क्युमुलस ढग (Strato-cumulus clouds)
२. स्ट्रॅटस ढग (Stratus clouds)
३. क्युमुलस ढग (Cumulus clouds)
४. क्युमुलोनिम्बस ढग (Cumulonimbus clouds)

पर्जन्यमानाचे स्वरूप (Forms of Precipitation)

दव बिंदूवर (dew point) अवलंबून, पर्जन्यमानाचे (precipitation) खालील विविध प्रकारांमध्ये विभाजन केले जाते:

१. पाऊस (Rainfall): (दव बिंदू गोठण बिंदूपेक्षा वर असतो)
२. हिमवर्षाव (Snowfall): (दव बिंदू गोठण बिंदूपेक्षा खाली असतो)
३. गारा (Sleet): (पाऊस आणि बर्फाचे मिश्रण)
४. गारपीट (Hail): (बर्फाच्या मोठ्या गोळ्यांच्या स्वरूपात स्थायू पर्जन्यमान)

पाऊस (Rainfall)

वातावरणातून खाली पडणारे आणि पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर पोहोचणाऱ्या द्रव पाण्याच्या कणांच्या (liquid water particles) स्वरूपातील पर्जन्यमानाला पाऊस म्हणतात. उष्ण, दमट आणि अस्थिर हवा (warm, moist and unstable air) आणि पुरेशा प्रमाणात आर्द्रताशोषक केंद्रकांची (hygroscopic nuclei) उपस्थिती ही पावसासाठी पूर्वअट (prerequisite conditions) आहे. उष्ण आणि दमट हवा वर उचलली गेल्यानंतर संतृप्त होते आणि ढग (clouds) तयार होतात. हवा अति-संतृप्त (super saturated) झाल्यावर, मोठ्या आर्द्रताशोषक केंद्रकांभोवती संघनन (condensation) होते. अशा थेंबांना ढग थेंब (cloud droplets) म्हणतात. मोठ्या संख्येने ढग थेंब एकत्र आल्याने ढग तयार होतात. हे ढग थेंब इतके मोठे होत नाहीत, तोपर्यंत पाऊस पडत नाही की ज्यामुळे पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे हवा त्यांना धरून ठेवू शकत नाही. हे संघनित पाण्याचे थेंब खाली येऊ लागताच, त्यांचे तापमान वाढते. काहीवेळा, हे थेंब जमिनीच्या पृष्ठभागावर पोहोचण्यापूर्वीच बाष्पीभवन (evaporated) होतात. या घटनेला विरगा (Virga) म्हणतात.

कृत्रिम पर्जन्यमान (Artificial Rainfall) तंत्रात, एरोसोल आणि सिल्व्हर आयोडाइड कणांची फवारणी करून आर्द्रताशोषक केंद्रकांची संख्या वाढवण्याचा किंवा समुद्राच्या पाण्याची फवारणी करून आर्द्रता सामग्री वाढवण्याचा प्रयत्न केला जातो.

जेव्हा हवा हळू हळू वर चढते, तेव्हा संघनन प्रक्रिया देखील खूप मंद असते आणि म्हणून पाऊस रिपरिप (drizzle) स्वरूपात पडतो. आणि जर हवा जास्त वेगाने घाईघाईने वर चढली, तर परिणामी पाऊस मुसळधार सरींच्या (heavy downpour) स्वरूपात असतो.

पावसाचे प्रकार (Types of Rainfall)

ढग निर्मिती आणि पावसासाठी हवेची वरची हालचाल (upward movement of air) ही पूर्वअट आहे. हवा वरच्या दिशेने जाण्यास तीन प्रकारे भाग पाडली जाते. या तीन मार्गांवर आधारित, पावसाचे तीन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:

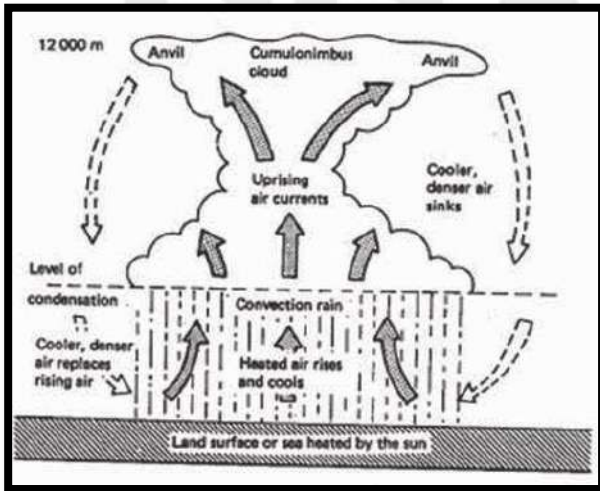
१. संवाहनात्मक पर्जन्यमान (Convective rainfall)
२. पर्जन्यछाया पर्जन्यमान (Orographic rainfall)
३. चक्रीवादळी किंवा वाताग्र पर्जन्यमान (Cyclonic or frontal rainfall)

१. संवाहनात्मक पर्जन्यमान (Convective Rainfall)

संवाहन (convection) प्रक्रियेदरम्यान, जमिनीचा पृष्ठभाग गरम झाल्यामुळे हवेचा विस्तार (expansion) होतो आणि ही विस्तारित हवा संवाहना प्रवाहाच्या (convection currents) स्वरूपात वर चढते. या प्रक्रियेला उष्णता संवाहन (thermal convection) असेही म्हणतात. वर चढणारी हवा एका विशिष्ट उंचीवर थंड होते आणि संघनन गुप्त उष्णता (latent heat of condensation) बाहेर टाकली जाते. ही संघनन गुप्त उष्णता संघनित पाण्याची वाफ पुन्हा गरम करते, ज्यामुळे हवेच्या स्तंभाला (air column) पुन्हा वर जाण्यास भाग पाडते. शेवटी वर चढणारी हवा अशा उंचीवर पोहोचते जिथे तिचे तापमान आसपासच्या तापमानाशी जुळते, तेव्हा क्युमुलोनिम्बस ढग (cumulonimbus clouds) तयार होतात आणि मुसळधार पाऊस सुरू होतो.

संवाहनात्मक पर्जन्यमानासाठी आवश्यक दोन अटी (Two Necessary Conditions)

१. बाष्पीभवनाद्वारे हवेला भरपूर ओलावा पुरवठा (Abundant supply of moisture).
२. जमिनीच्या पृष्ठभागाचे तीव्र तापमान (Intense heating of ground surface).



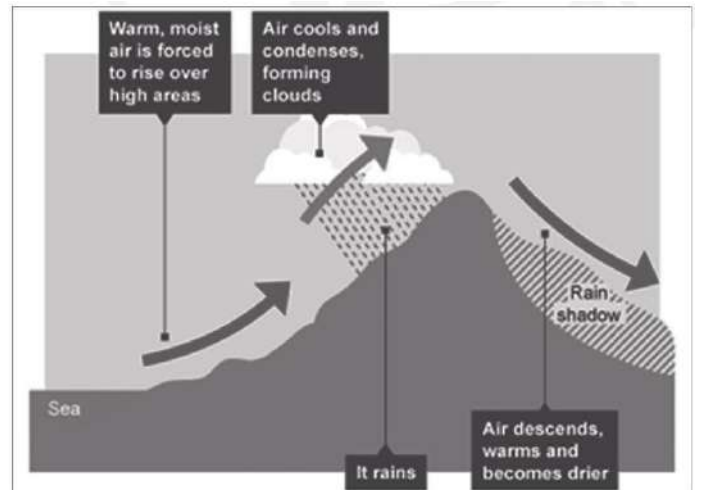
संवाहनात्मक पर्जन्यमानाची वैशिष्ट्ये (Characteristic Features of Convective Rainfall)

१. ही एक उष्ण हवामानाची घटना आहे आणि ती वीज आणि गडगडाटाच्या ढगांशी (lightning and thunder clouds) संबंधित आहे.

२. हा पाऊस प्रामुख्याने विषुववृत्तीय प्रदेशात होतो. हा सामान्यतः दुपारच्या वेळी (दुपारी २ ते ४ या वेळेत) होतो.
३. याचा कालावधी खूप कमी (very short duration) असतो.
४. हा जाड, गडद आणि विस्तृत क्युमुलोनिम्बस ढगांद्वारे होतो.
५. यासोबत ढग, गडगडाट आणि वीज असते.
६. पावसाचा मोठा भाग वाहून जातो (run-off), ज्यामुळे तीव्र धूप (severe erosion) होते.
७. हे समृद्ध सदाहरित वर्षावनांना (luxurious evergreen rainforest) समर्थन देते.
८. हा पाऊस समशीतोष्ण प्रदेशातही होतो, पण हलक्या रिपरिपच्या (light drizzle) स्वरूपात असतो आणि जास्त कालावधीसाठी टिकतो.

पर्जन्यछाया पर्जन्यमान (Orographic Rainfall)

पर्जन्यछाया पर्जन्यमान (Orographic rainfall) पर्वतांच्या अडथळ्यामुळे (mountain barriers) हवा वर चढल्याने (ascent of air) होते. वाऱ्याच्या दिशेने असलेल्या पर्वताच्या उताराला वाताभिमुख उतार (windward slope) म्हणतात, जिथे जास्तीत जास्त पर्जन्यमान (maximum precipitation) होते. विरुद्ध उताराला पर्जन्यहीन उतार (leeward slope) किंवा पर्जन्यछाया प्रदेश (rainshadow region) म्हणतात, कारण पर्वताचे अडथळे ओलांडल्यानंतर वर चढणारी हवा पर्जन्यहीन उतारावरून खाली उतरते. ही खाली उतरणारी हवा उष्ण असते आणि तिच्यात आर्द्रता नसते (devoid of moisture). यामुळे कोरडी परिस्थिती (dry conditions) निर्माण होते. पर्वताच्या वाताभिमुख उतारावर क्युमुलस ढगांची (cumulus clouds) उपस्थिती असते, तर पर्जन्यहीन उतारावर स्ट्रॅटस ढग (stratus clouds) असतात. या प्रकारचा पाऊस कोणत्याही हंगामात होऊ शकतो.



पर्जन्यछाया पर्जन्यमानासाठी आवश्यक अटी (Necessary Conditions for Orographic Rainfall)

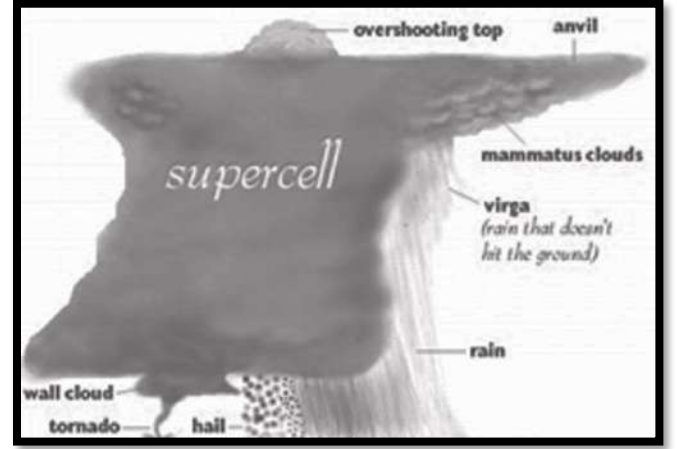
१. पर्वताच्या अडथळ्याची उपस्थिती (Presence of mountain barrier).
२. पर्वत समुद्रकिनाऱ्याजवळ आणि त्याला समांतर (parallel) असावेत. उदा. पश्चिम घाट (Western Ghats).
३. पर्वतांची उंची पुरेशी असावी. अंतर्देशीय (Inland) पर्वतांची उंची जास्त असावी, कारण लांब अंतर कापल्यानंतर हवा आपली बहुतेक आर्द्रता (moisture content) गमावते.
४. हवेत पुरेशा प्रमाणात आर्द्रता (Sufficient amount of moisture content) उपस्थित असावी.
५. जर पर्वत मध्यम उंचीचे असतील, तर जास्तीत जास्त पाऊस त्यांच्या शिखरावर होत नाही, तर तो दुसऱ्या बाजूला होतो.
६. वाताभिमुख उतारावर उंची वाढल्यास पर्जन्यमानाचे प्रमाण वाढते. परंतु हे केवळ एका विशिष्ट उंचीपर्यंतच असते, त्यानंतर हवेतील आर्द्रता कमी झाल्यामुळे उंची वाढल्यास पर्जन्यमानाचे प्रमाण कमी होते. या परिस्थितीला पर्जन्यमानाचे विलोपन (inversion of rainfall) म्हणतात.

(चक्रीवादळी किंवा वाताग्र पर्जन्यमानावर (Cyclonic or frontal rainfall) यापूर्वी चर्चा केली आहे.)

चक्रीवादळ (Tornado)

चक्रीवादळ (Tornado) म्हणजे मेघगर्जनेच्या वादळापासून (thunderstorm) जमिनीपर्यंत पसरलेला हवेचा एक हिंसक फिरणारा स्तंभ (violent rotating column of air) होय. सर्वात तीव्र चक्रीवादळे ३०० मैल/तास पर्यंतच्या वाऱ्याच्या वेगाने प्रचंड विध्वंस करण्यास सक्षम असतात. ते मोठी इमारती नष्ट करू शकतात, झाडे मुळासकट उपटू शकतात आणि वाहने शेकडो यार्ड

दूर फेकू शकतात. त्यांच्यामुळे होणारा विध्वंस एक मैलापेक्षा जास्त रुंदीचा आणि ५० मैल लांबीचा असू शकतो.



चक्रीवादळाची निर्मिती (Formation of Tornadoes)

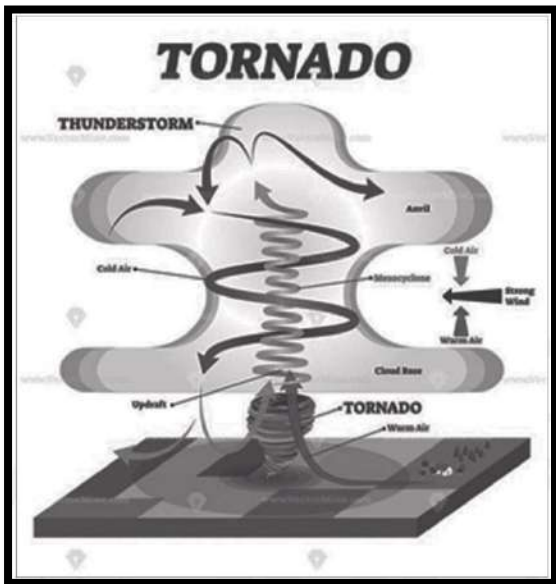
बहुतेक चक्रीवादळे मेघगर्जनेच्या वादळांमधून तयार होतात. जेव्हा भिन्न वैशिष्ट्यांच्या दोन हवा राशी (सामान्यतः थंड ध्रुवीय हवा राशी आणि उष्ण उष्णकटिबंधीय हवा राशी) एकत्र येतात, तेव्हा त्या वातावरणात अस्थिरता (instability) निर्माण करतात. वाऱ्याच्या दिशेतील बदल आणि उंची वाढल्याने वाऱ्याच्या वेगात होणारी वाढ, खालच्या वातावरणात अदृश्य, क्षैतिज फिरणारा परिणाम (invisible, horizontal spinning effect) निर्माण करते. वर चढणाऱ्या हवेतील (updraft) वर चढणारी हवा फिरणाऱ्या हवेला क्षैतिज (horizontal) वरून उभ्या (vertical) दिशेत झुकवते. एकदा हवा वर चढू लागली आणि संतृप्त झाली की, संघनन गुप्त उष्णता (latent heat of condensation) बाहेर पडल्यामुळे, ती मोठ्या उंचीवर चढत राहते आणि मेघगर्जनेचे ढग (thunderstorm cloud) तयार करते.

चक्रीवादळाच्या विकासासाठी आवश्यक अटी (Conditions Required for the Development of Tornadoes)

१. ओलाव्याचा भरपूर पुरवठा (Abundant supply of moisture).
२. दमट हवेला वर उचलण्यासाठी (lift the moist air aloft) प्रेरक (trigger) आवश्यक असतो (जो शीत वाताग्र (cold front) किंवा अभिसारित वाऱ्यांच्या इतर निम्न-स्तरीय क्षेत्राच्या (low level zone of converging winds) स्वरूपात असू शकतो).

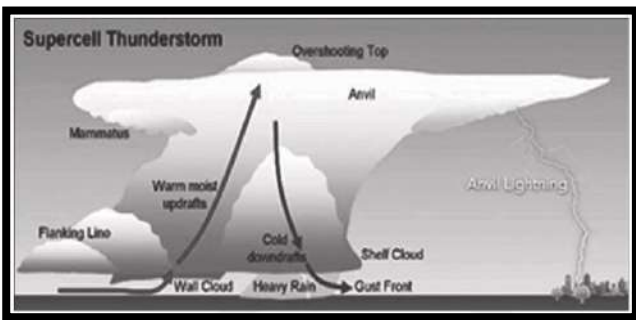
चक्रीवादळाचे घटक (Components of Tornado)

१. फनेल ढग (Funnel Cloud): हा मेघगर्जनेच्या ढगांच्या तळापासून खाली पसरलेला (extending downward) फिरणारा शंकूच्या आकाराचा हवेचा स्तंभ (rotating



cone-shaped column of air) असतो, परंतु तो जमिनीला स्पर्श करत नाही. जेव्हा तो जमिनीला स्पर्श करतो, तेव्हा त्याला चक्रीवादळ (Tornado) म्हणतात.

२. सुपरसेल मेघगर्जना वादळ (Supercell Thunderstorm): हे एक दीर्घकाळ टिकणारे मेघगर्जना वादळ आहे, ज्यामध्ये वर चढणारी आणि खाली उतरणारी हवा (updrafts and downdrafts) जवळजवळ संतुलित (near balance) असते. या वादळांमध्ये दीर्घकाळ जमिनीवर टिकणारे चक्रीवादळे निर्माण करण्याची सर्वात मोठी प्रवृत्ती असते. सुपरसेल मेघगर्जना वादळे २०० मैल/तास पेक्षा जास्त वाऱ्याचा वेग असलेली तीव्र चक्रीवादळे निर्माण करू शकतात.
३. मेसोसायक्लोन (Mesocyclone): हा सुपरसेल मेघगर्जना वादळाच्या आत हवेचा फिरणारा भोवरा (rotating vortex of air) असतो. मेसोसायक्लोन नेहमी चक्रीवादळे निर्माण करत नाहीत.
४. वॉल ढग (Wall Cloud): हा पाऊस नसलेल्या क्युमुलोनिम्बस तळाचा (rain-free cumulonimbus base) अचानक खाली आलेला भाग आहे, जो निम्न-लटकणारा सहायक ढग (low-hanging accessory cloud) बनवतो. फिरणारे वॉल ढग (rotating wall cloud) सामान्यतः चक्रीवादळे किंवा फनेल ढग येण्यापूर्वी विकसित होतात.
५. वॉटरस्पाउट (Waterspout): हे फक्त पाण्यावर तयार होणारे एक कमकुवत चक्रीवादळ (weak tornado) आहे. ते गल्फ कोस्टवर सर्वात सामान्य आहेत. वॉटरस्पाउट्स काहीवेळा जमिनीवर (inland) सरकू शकतात, चक्रीवादळे बनू शकतात आणि नुकसान व दुखापत करू शकतात.

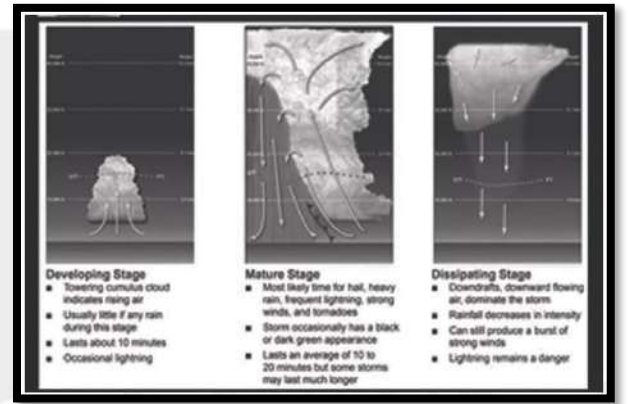


मेघगर्जना वादळ (Thunderstorm)

मेघगर्जना वादळ (Thunderstorm) म्हणजे जोरदार वर चढणाऱ्या हवेच्या प्रवाहामुळे (strong rising air currents) होणारे वादळ होय, ज्याचे वैशिष्ट्य वादळी वारे (gusty winds), मेघगर्जना (thunder), वीज (lightning) आणि सामान्यतः क्युमुलोनिम्बस ढगांमुळे (cumulonimbus clouds) होणारा

मुसळधार पाऊस किंवा गारपीट (hail) आहे. मेघगर्जना वादळ तयार करण्यासाठी लागणारे मूलभूत घटक (basic ingredients) आहेत: आर्द्रता (moisture), अस्थिर हवा (unstable air) आणि उचल (lift). मेघगर्जना वादळे वर्षभर आणि दिवसाच्या कोणत्याही वेळी येऊ शकतात. परंतु ते बहुतेक वेळा वसंत आणि उन्हाळ्याच्या महिन्यांत आणि दुपारच्या आणि संध्याकाळच्या तासांदरम्यान येतात. ही एक गंभीर हवामान घटना (severe weather phenomenon) आहे, जी मुख्यत्वे तीव्र संवहन (intense convection) आणि त्यानंतर संघनन गुप्त उष्णता (latent heat of condensation) सोडल्यामुळे विकसित होते.

मेघगर्जना वादळाचा विकास (Development of Thunderstorm)



मेघगर्जना वादळे तीन टप्प्यांमध्ये विकसित होतात: [Image showing the three stages (cumulus, mature, and dissipating) of a thunderstorm lifecycle]

१. क्युमुलस किंवा विकसित होणारा टप्पा (Cumulus or Developing Stage): हे वर चढणाऱ्या हवेच्या स्तंभाने (rising column of air) वर ढकलल्या जाणाऱ्या क्युमुलस ढगाने (cumulus cloud) ओळखले जाते. या टप्प्यात पाऊस कमी किंवा अजिबात नसतो, पण कधीतरी वीज (occasional lightning) दिसून येते.
२. परिपक्व टप्पा (Mature Stage): जेव्हा वर चढणारी हवा (updraft) अद्याप होत असते आणि पर्जन्यमान (precipitation) सुरू होते, तेव्हा मेघगर्जना वादळ परिपक्व टप्पा अनुभवते. थोडक्यात, वर चढणाऱ्या हवेच्या स्तंभाचे अपड्राफ्ट (updraft) असते आणि त्याच वेळी पर्जन्यमानाच्या स्वरूपात डाउनड्राफ्ट (downdraft) देखील होते. परिपक्व टप्प्यात गारपीट, मुसळधार पाऊस, वारंवार वीज, जोरदार वारे आणि चक्रीवादळे (tornadoes) अनुभवले जातात.
३. विसर्जन टप्पा (Dissipating Stage): हा मेघगर्जना वादळाच्या जीवनचक्राचा अंतिम टप्पा आहे, ज्यात

डाउनड्राफ्ट अपड्राफ्टवर वरचढ (overtakes) ठरतो. अखेरीस पावसाची तीव्रता कमी होते, पण वीज अजूनही अनुभवली जाते.

ढगफुटी (Cloudburst)

ढगफुटी (Cloudburst) ही एक स्थानिक हवामान घटना (localised weather phenomenon) आहे, जी थोड्या तासांसाठी लहान क्षेत्रावर अत्यंत केंद्रित पर्जन्यमान (highly concentrated rainfall) दर्शवते. भारतीय हवामान विभाग (IMD) नुसार, ढगफुटीमध्ये १०० मिमी प्रति तास या दराने स्थानिक क्षेत्रावर अति मुसळधार पाऊस पडतो, ज्यात जोरदार वारे आणि वीज असते. सामान्यतः, ढगफुटी मेघगर्जना वादळांशी संबंधित असते. अचानक आणि प्रचंड पावसामुळे अचानक पूर (flash floods), भूस्खलन (landslide), आणि जीवित व मालमत्तेचे नुकसान होते. उंच डोंगर (steep hills) सारख्या स्थलाकृतिक परिस्थितीमुळे (topographical conditions) ढगफुटीस अनुकूलता मिळते. ढगफुटी फक्त डोंगराच्या उताराजवळच होईल असे नेहमीच आवश्यक नसते. ते वाळवंटात आणि खंडीय भागाच्या अंतर्गत प्रदेशात देखील होऊ शकते.

PRAYAAS

| हवामान पट्टा | अंदाजे अक्षांश | हवामानाचा प्रकार | पर्जन्यमान पद्धती | नैसर्गिक वनस्पती |
|---|---|---|---|--|
| भूमध्यरेखीय पट्टा (Equatorial Zone) | 0°-10° उत्तर व दक्षिण | 1. उष्ण, दमट भूमध्यरेखीय हवामान | वर्षभर पर्जन्य: सुमारे 200 सेमी | भूमध्यरेखीय सदाहरित वन |
| उष्ण पट्टा (Hot Zone) | 10°-30° उत्तर व दक्षिण | 2. (a) उष्ण कटिबंधीय मान्सून हवामान (Tropical Monsoon) (b) उष्ण कटिबंधीय सागरी हवामान (Tropical Marine) 3. सुदान प्रकार हवामान (Sudan Type) 4. वाळवंटी हवामान (Desert): (a) सहारा प्रकार (Saharan Type) (b) मध्यम-अक्षांश वाळवंट प्रकार (Mid-latitude Type) | उन्हाळ्यात जास्त पर्जन्य: 150 सेमी अतिपर्जन्य: 175 सेमी उन्हाळ्यात मुख्य पाऊस: 75 सेमी अत्यंत कमी पर्जन्य: 15 सेमी | मान्सून वन, सवाना (उष्णकटिबंधीय गवताळ प्रदेश), वाळवंटातील विरळ वनस्पती व झुडपे |
| उबदार समशीतोष्ण पट्टा (Warm Temperate Zone) | 30°-45° उत्तर व दक्षिण | 5. पश्चिम किनारी (Mediterranean Type) मध्य खंडातील स्टेप्पे प्रकार (Central Continental - Steppe Type) पूर्व किनारी हवामान: (a) चायना प्रकार (b) गल्फ प्रकार (c) नॅटल प्रकार | हिवाळ्यातील पर्जन्य: 90 सेमी उन्हाळ्यात हलका पाऊस: 50 सेमी उन्हाळ्यात अधिक पर्जन्य: 115 सेमी | भूमध्यसागरीय वन व झुडपे स्टेप्पे किंवा समशीतोष्ण गवताळ प्रदेश उबदार, ओले वन व बांबू |
| शीत समशीतोष्ण पट्टा (Cool Temperate Zone) | 45°-65° उत्तर व दक्षिण | • पश्चिम किनारी हवामान (ब्रिटिश प्रकार) • मध्य खंडीय हवामान (सायबेरियन प्रकार) • पूर्व किनारी हवामान (लॉरेन्टियन प्रकार) | • शरद ऋतू व हिवाळ्यात अधिक पाऊस: 75 सेमी • उन्हाळ्यात हलका पाऊस: 60 सेमी • मध्यम उन्हाळी पर्जन्य: 100 सेमी | • पानझडी वन (Deciduous Forests) • सदापर्णी सुईदार वृक्षवन (Evergreen Coniferous Forest) • मिश्र वन (Coniferous व Deciduous दोन्ही) |
| शीत कटिबंध (Cold Zone) | 65°-90° उत्तर व दक्षिण | आर्क्टिक किंवा ध्रुवीय हवामान (Arctic or Polar) | • उन्हाळ्यात अत्यंत कमी पाऊस: 25 सेमी | टुंड्रा वनस्पती, शेवाळ (mosses) व लायकेन (lichens) |
| अल्पाइन पट्टा (Alpine Zone) | उंच प्रदेश (3000 मी पेक्षा अधिक उंचीवर) | पर्वतीय हवामान (Mountain Climate) | • प्रचंड पर्जन्यमान (परिस्थितीनुसार बदलणारे) | अल्पाइन कुरण, सुईदार वृक्ष, फर्न, हिम (snow) |

| | | | | | |
|---|---|--|--|---|-------------|
| COLD ZONE Arctic Circle, $66\frac{1}{2}^{\circ}$ | <u>Arctic or Polar Type</u> Tundra vegetation, mosses, lichens | | | 90° | |
| | COOL TEMPERATE ZONE | Western Margin <u>British type</u> Deciduous forests | Central Continent <u>Siberian type</u> Evergreen, coniferous forests | Eastern Margin <u>Laurentian type</u> Mixed forests | 65° N |
| WARM TEMPERATE ZONE | <u>Mediterranean type</u> Mediterranean Forests & shrubs | <u>Steppe type</u> Steppe temperate grassland | <u>China type</u> Warm wet forests | 45° N | |
| Tropic of Cancer $23\frac{1}{2}^{\circ}$ | HOT ZONE | <u>Hot desert</u> Desert vegetation | <u>Sudan type</u> Savanna, tropical grassland | <u>Monsoonal type</u> Monsoon forests | 30° N |
| EQUATORIAL ZONE | | <u>Hot Wet Equatorial Climate</u> Equatorial rain forests | | | 10° N 0° |

PRAYAAS



PRAYAAS

PRAYAAS EDUCATION™

CTS NO 1262/B Plot No. 594B,
Office 301A, 301 2nd floor Starling Plaza,
J M Road, Pune, +91 7378743031