प्लेट विवर्तनिकी सिद्धांत (Plate Tectonics Theory)

1960 के दशक तक, पृथ्वी की गतिकी (Dynamics) को समझने के प्रयास खंडित थे। महाद्वीपीय विस्थापन (Wegener) और सागर नितल प्रसरण (Hess) जैसे सिद्धांत अस्तित्व में तो थे, किंतु वे पर्वतों के निर्माण, ज्वालामुखी विस्फोटों और भूकंपीय घटनाओं के वितरण को एक साथ समझाने में पूर्णतः सक्षम नहीं थे। 1967 में, **मैकेंजी (McKenzie)**, **पार्कर (Parker)** और बाद में **मॉर्गन (Morgan)** ने पूर्ववर्ती विचारों को संश्लेषित कर एक सर्वमान्य सिद्धांत प्रतिपादित किया, जिसे **'प्लेट विवर्तनिकी' (Plate Tectonics)** कहा गया।

यह सिद्धांत केवल एक परिकल्पना नहीं, बल्कि आधुनिक भू-विज्ञान का 'एकीकृत सिद्धांत' (Unifying Theory) है। यह पृथ्वी के स्थलमंडल (Lithosphere) की गतिशीलता और उसके परिणामस्वरूप उत्पन्न होने वाली भू-गर्भिक हलचलों की व्यापक व्याख्या करता है।

सिद्धांत की मूल संकल्पनाएँ

प्लेट विवर्तनिकी को समझने के लिए पृथ्वी की आंतरिक संरचना के यांत्रिक विभाजन को समझना आवश्यक है।

1. **प्लेट (Plate) क्या है?**

तकनीकी रूप से, 'प्लेट' स्थलमंडल (Lithosphere) का एक ठोस और अनियमित आकार का विशाल खंड है। इसमें क्रस्ट (Crust) और ऊपरी मेंटल (Upper Mantle) का ठोस ऊपरी भाग शामिल होता है। प्लेटों की मोटाई महासागरों में 5-100 किमी और महाद्वीपों में 200 किमी तक हो सकती है।

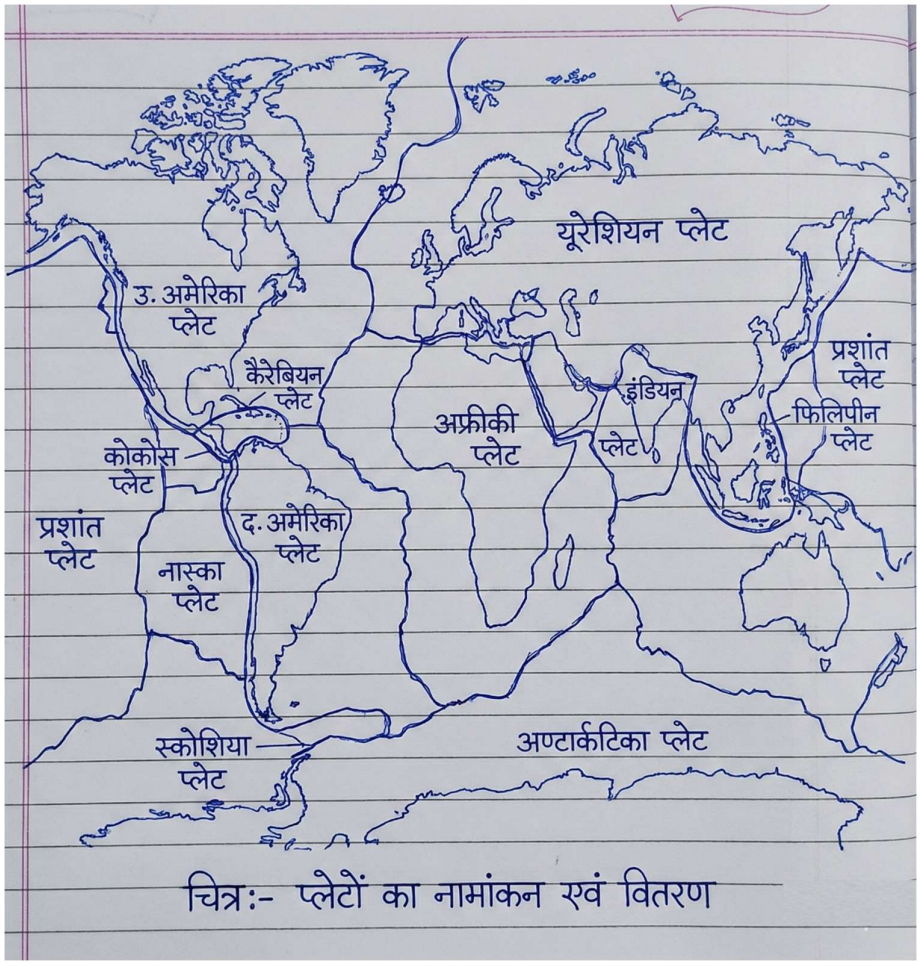
2. **दुर्बलतामंडल (Asthenosphere) पर संचलन:**

ये कठोर स्थलमंडलीय प्लेटें, मेंटल के ऊपरी भाग में स्थित अर्ध-गलित और प्लास्टिक जैसी अवस्था वाले 'दुर्बलतामंडल' (Asthenosphere) के ऊपर क्षैतिज रूप से संचलन करती हैं। यह संचलन अत्यंत धीमा है, लेकिन भू-वैज्ञानिक समय-सारणी पर इसके परिणाम व्यापक होते हैं।

प्लेटों का वर्गीकरण:

पृथ्वी की सतह मुख्य रूप से सात बड़ी (Major) और कई छोटी (Minor) प्लेटों में विभाजित है:

- **प्रमुख प्लेटें:** अंटार्कटिक, उत्तरी अमेरिकी, दक्षिणी अमेरिकी, प्रशांत (पूर्णतः महासागरीय), इंडो-ऑस्ट्रेलियन, अफ्रीकी और यूरेशियन प्लेट।
- **लघु प्लेटें:** कोकोस, नाज्का, फिलीपीन, अरेबियन, और जुआन डी फूका आदि।



चित्र:- प्लेटों का नामांकन एवं वितरण

प्लेट संचलन का तंत्र

वेगनर की आलोचना का मुख्य बिंदु 'बल' (Force) की व्याख्या न कर पाना था। प्लेट विवर्तनिकी ने इसे आर्थर होम्स के **संवहन धारा सिद्धांत (Convection Current Theory)** के माध्यम से सुलझाया।

1. **मेंटल संवहन (Mantle Convection):** पृथ्वी के गर्भ में रेडियोधर्मी तत्वों के विघटन और अवशिष्ट ताप के कारण मेंटल में तापीय संवहन धाराएँ उत्पन्न होती हैं। ये धाराएँ प्लेटों को अपने ऊपर खिसकाती हैं।

2. **रिज़ पुश (Ridge Push):** मध्य-महासागरीय कटकों (Mid-Oceanic Ridges) पर नया मैग्मा ऊपर उठता है और गुरुत्वाकर्षण के कारण पुरानी प्लेट को ढलान से नीचे धकेलता है।[1]

3. **स्लैब पुल (Slab Pull):** यह संचलन का सबसे प्रभावशाली कारक माना जाता है। जब एक ठंडी और भारी महासागरीय प्लेट सबडक्शन ज़ोन (Subduction Zone) में डूबती है, तो वह अपने भार के कारण शेष प्लेट को भी नीचे खींचती है।

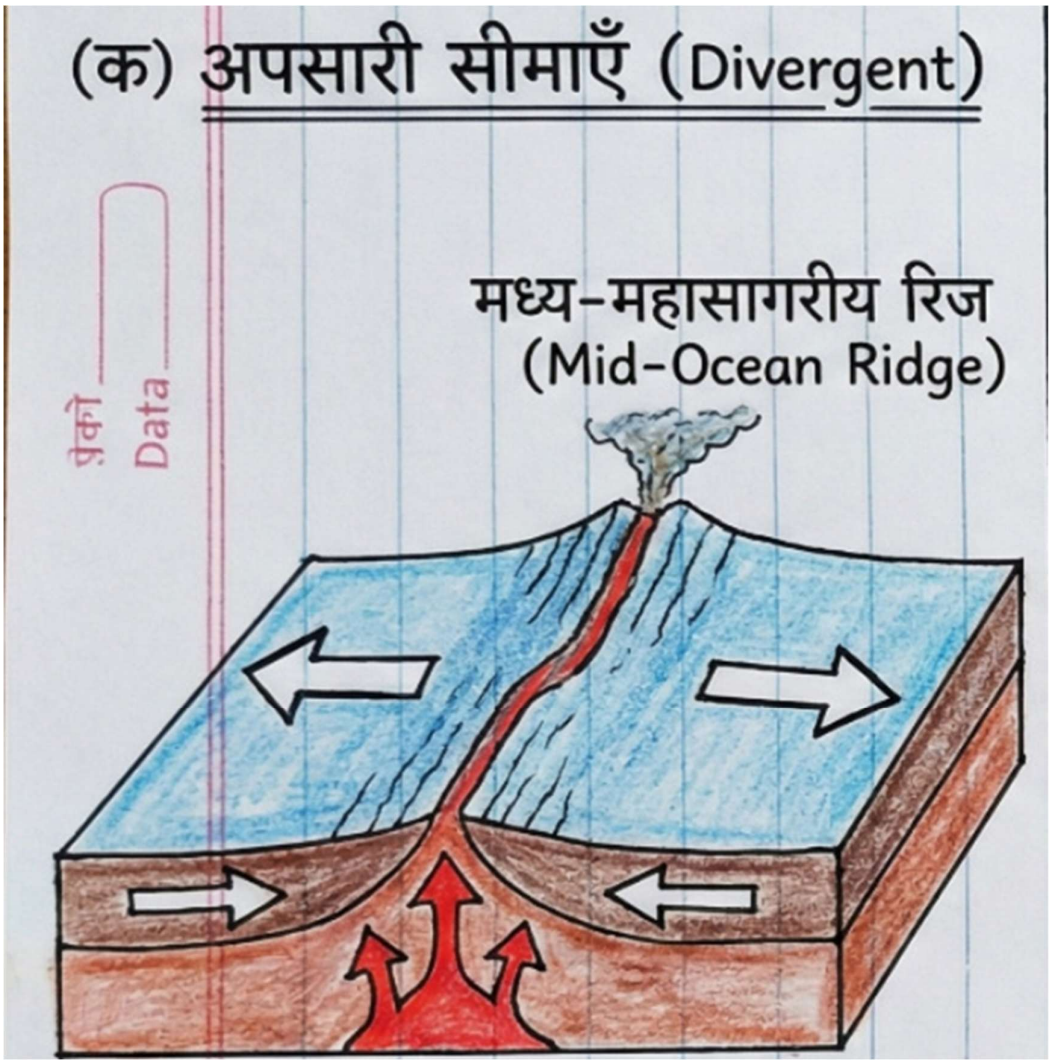
प्लेट किनारे: भू-गर्भिक क्रियाओं का केंद्र

प्लेट विवर्तनिकी का सार यह है कि अधिकांश विवर्तनिक गतिविधियाँ (भूकंप, ज्वालामुखी, पर्वत निर्माण) प्लेटों के मध्य में नहीं, बल्कि उनके किनारों (Boundaries) पर होती हैं। इनकी प्रकृति के आधार पर तीन प्रकार की सीमाएँ निर्धारित की गई हैं:

1. अपसारी या रचनात्मक सीमा (Divergent Boundary)

जब दो प्लेटें एक-दूसरे से विपरीत दिशा में खिसकती हैं, तो मेंटल से मैग्मा ऊपर उठता है और नई क्रस्ट का निर्माण करता है।

- **उदाहरण:** मध्य-अटलांटिक कटक (Mid-Atlantic Ridge)।
- **प्रभाव:** यहाँ भूकंप आते हैं और ज्वालामुखी क्रिया होती है, लेकिन यह शांत दरारी उद्भेदन (Fissure Eruption) प्रकार की होती है।



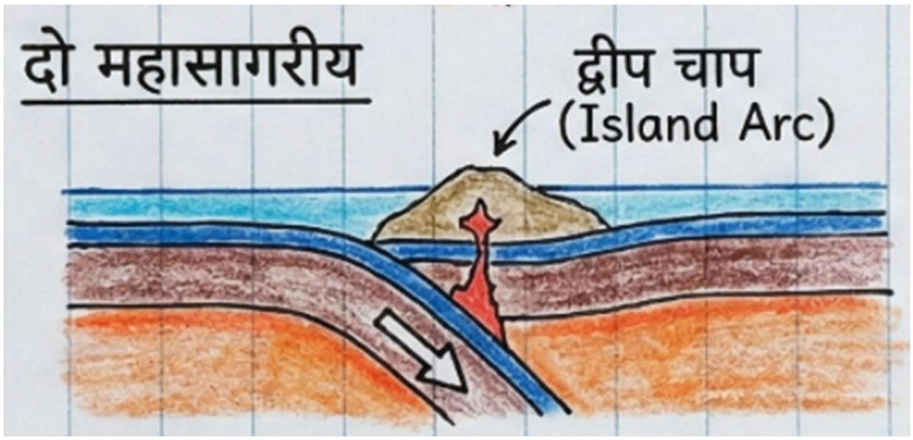
2. अभिसारी या विनाशात्मक सीमा (Convergent Boundary)

जब दो प्लेटें आपस में टकराती हैं, तो भारी प्लेट हल्की प्लेट के नीचे क्षेपित (Subduct) हो जाती है और मेंटल में जाकर पिघल जाती है (विनाश)। यह तीन प्रकार की होती है:

- **महासागर-महासागर (O-O) अभिसरण:**

भारी महासागरीय प्लेट (पुरानी) डूबती है।

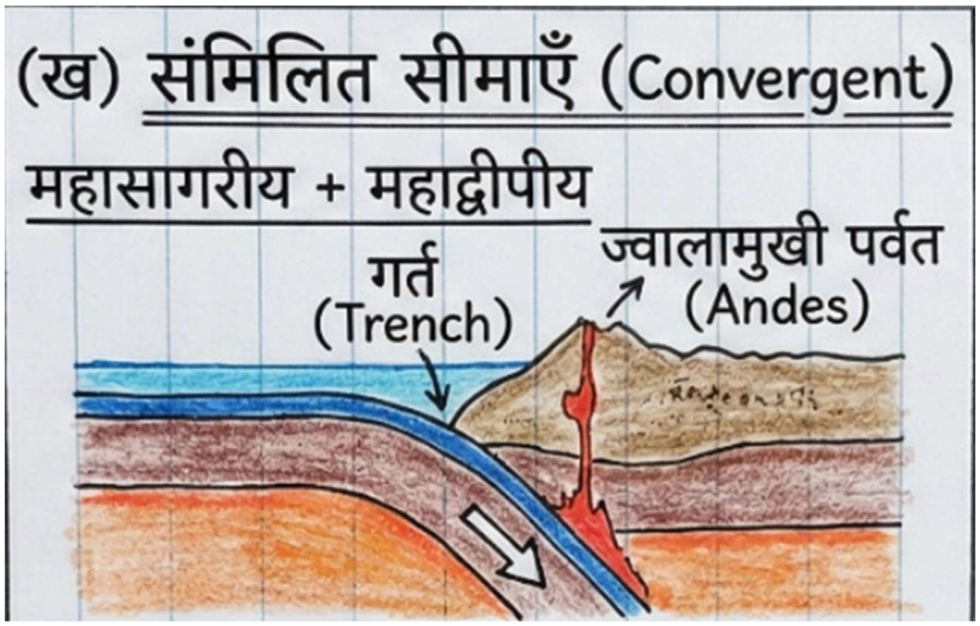
  - **परिणाम:** द्वीपीय चाप (Island Arcs) और खाइयाँ (Trenches) बनती हैं। (उदा: जापान, मारियाना ट्रेंच)।



- **महासागर-महाद्वीप (O-C) अभिसरण:**

भारी महासागरीय प्लेट, हल्की महाद्वीपीय प्लेट के नीचे जाती है।

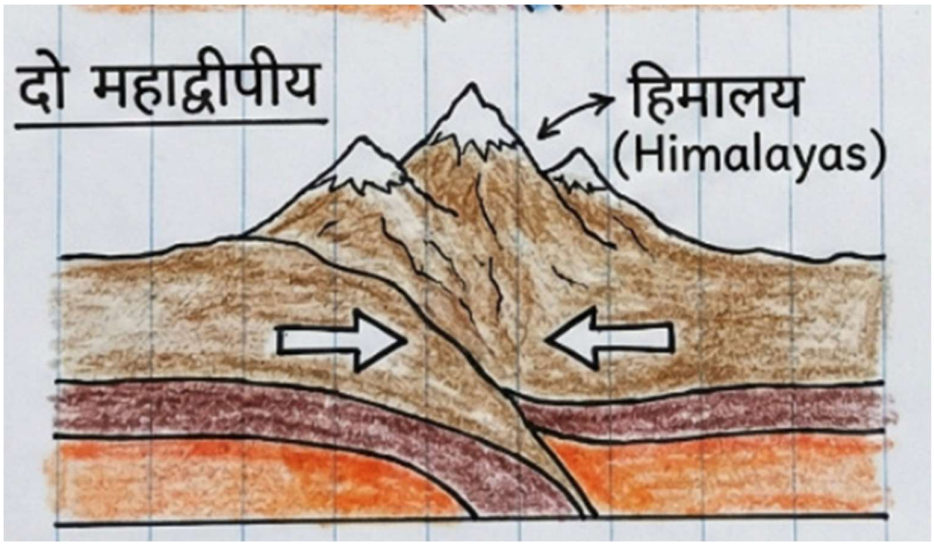
  - **परिणाम:** महाद्वीपीय किनारों पर मोड़दार पर्वत और ज्वालामुखी श्रृंखलाएँ। (उदा: एंडीज और रॉकीज पर्वत)।



- **महाद्वीप-महाद्वीप (C-C) अभिसरण:**

चूँकि दोनों प्लेटें हल्की (ग्रेनाइटिक) होती हैं, कोई भी गहराई में नहीं डूबती। इसके बजाय, तलछट मुड़कर विशाल पर्वतों का रूप ले लेते हैं।

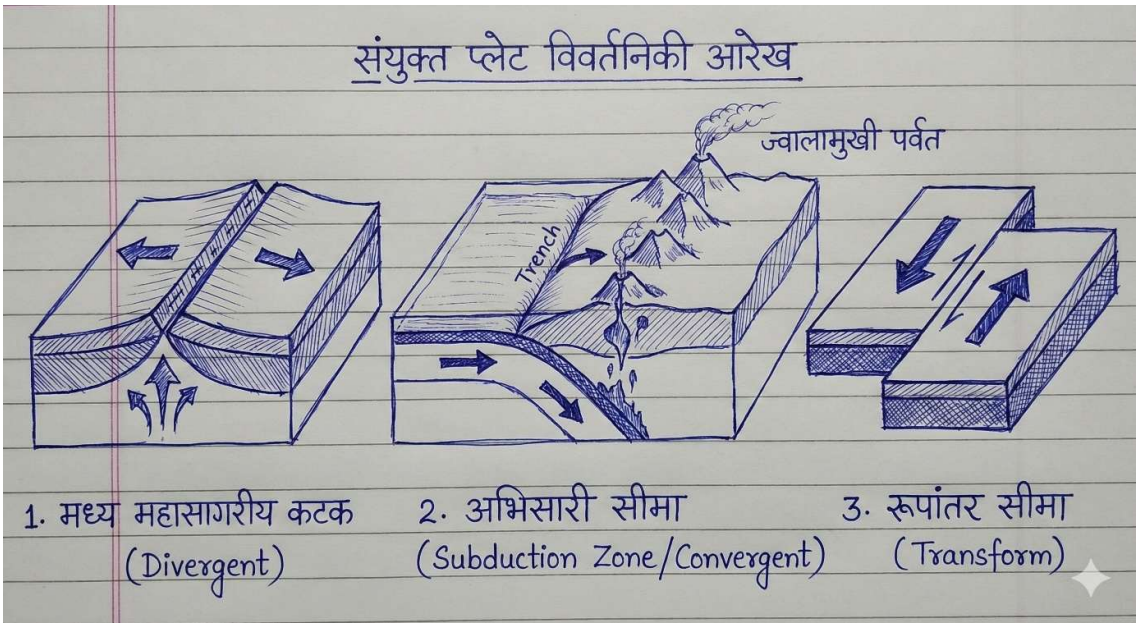
- **परिणाम:** हिमालय और आल्प्स पर्वत। यहाँ ज्वालामुखी नहीं पाए जाते, लेकिन भीषण भूकंप आते हैं।

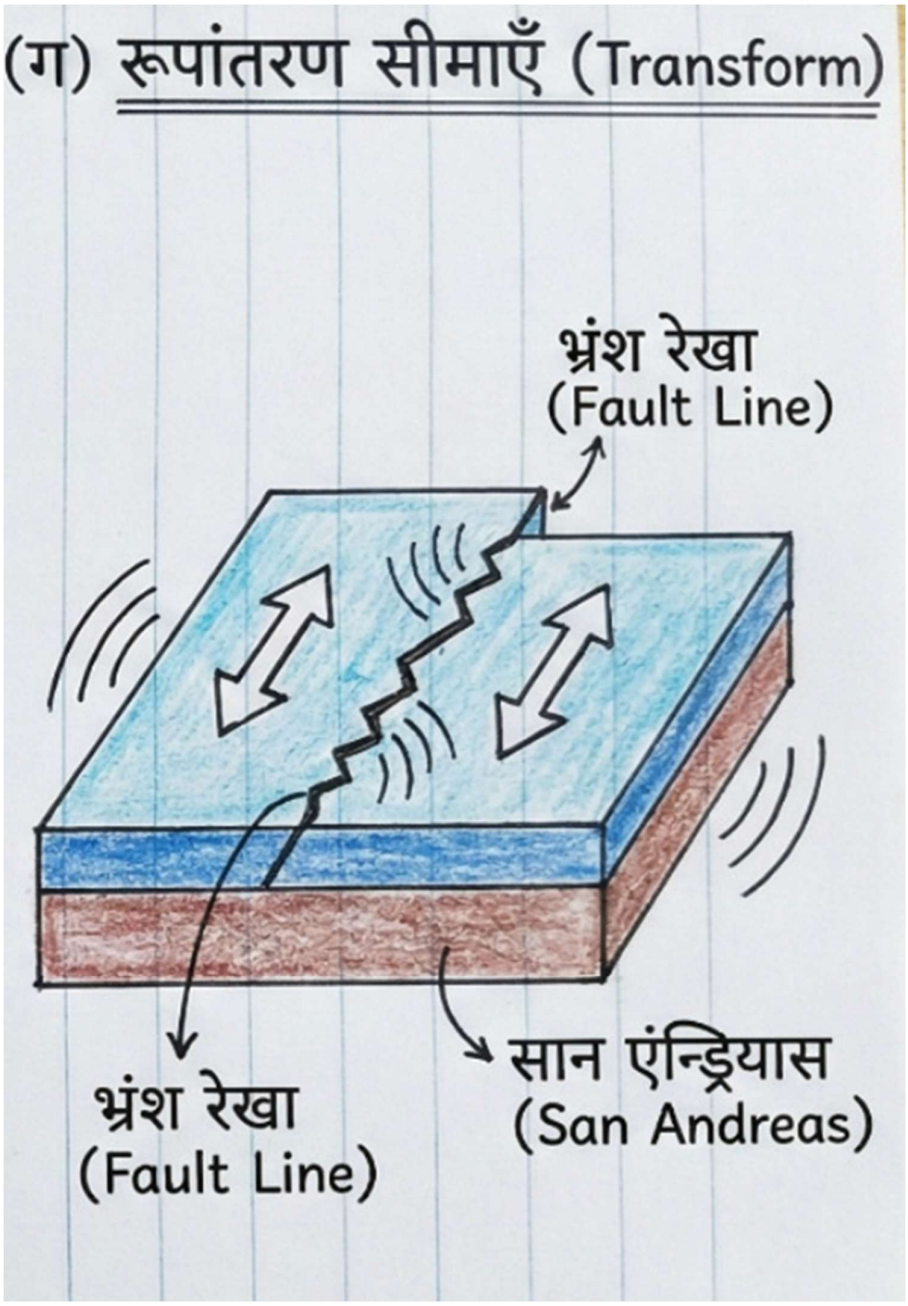


3. रूपांतर या संरक्षी सीमा (Transform Boundary)

जब दो प्लेटें न टकराती हैं और न दूर जाती हैं, बल्कि एक-दूसरे के समानांतर क्षैतिज रूप से रगड़ खाती हुई निकल जाती हैं।

- **परिणाम:** न तो नई क्रस्ट बनती है, न विनाश होता है। केवल अत्यधिक घर्षण के कारण तीव्र भूकंप आते हैं।
- **उदाहरण:** कैलिफोर्निया का सैन एंड्रियास भ्रंश (San Andreas Fault)।





सिद्धांत का अनुप्रयोग: विल्सन चक्र (The Wilson Cycle)

कनाडाई भू-भौतिकविद् जे. टुजो विल्सन ने प्लेट विवर्तनिकी को एक चक्रीय प्रक्रिया के रूप में समझाया, जो महासागरों के जीवनचक्र को दर्शाता है:

1. **भ्रंश घाटी चरण:** महाद्वीप का टूटना (उदाहरण : पूर्वी अफ्रीकी रिफ्ट)।
2. **युवा सागर:** संकीर्ण समुद्र का बनना (उदाहरण: लाल सागर)।
3. **परिपक्व सागर:** विशाल महासागर (उदाहरण: अटलांटिक महासागर)।
4. **घटता सागर:** सबडक्शन की शुरुआत (उदाहरण: प्रशांत महासागर)।

5. **अवशेषी सागर:** दो महाद्वीपों का करीब आना (उदा: भूमध्य सागर)।
6. **सुचर ज़ोन (Suture Zone):** महाद्वीपीय टकराव और पर्वत निर्माण (उदा: हिमालय क्षेत्र)।

प्लेट विवर्तनिकी सिद्धान्त के समर्थन में निम्नलिखित प्रमुख प्रमाण प्रस्तुत किये जाते हैं—

1. ज्वालामुखी क्रियाओं का वैश्विक वितरण

विश्व में ज्वालामुखियों के वितरण का अध्ययन यह स्पष्ट करता है कि अधिकांश ज्वालामुखीय क्रियाएँ प्लेट सीमाओं के सहारे केन्द्रित हैं। विशेष रूप से अभिसारी प्लेट सीमाओं पर महासागरीय प्लेट के महाद्वीपीय प्लेट के नीचे धँसने (subduction) के कारण तीव्र ज्वालामुखीय गतिविधियाँ उत्पन्न होती हैं, जैसे—एंडीज़ पर्वतमाला और जापान द्वीपसमूह।

इसके अतिरिक्त, अपसारी प्लेट सीमाओं पर भी ज्वालामुखी क्रियाएँ पाई जाती हैं, जहाँ मैग्मा ऊपर उठकर नवीन भूपर्पटी का निर्माण करता है, जैसे—मध्य-अटलांटिक रिज। यह तथ्य प्लेट विवर्तनिकी सिद्धान्त को ठोस आधार प्रदान करता है।

2. भूकम्पीय गतिविधियों का वितरण

भूकम्पों के वैश्विक वितरण से यह स्पष्ट होता है कि विश्व के अधिकांश भूकम्प सक्रिय प्लेट सीमाओं के सहारे घटित होते हैं। विशेष रूप से प्रशांत महासागर के चारों ओर स्थित क्षेत्र, जिसे प्रशांत अग्नि वलय (Ring of Fire) कहा जाता है, सर्वाधिक भूकम्पीय सक्रियता प्रदर्शित करता है।

भूकम्पों की गहराई, तीव्रता तथा वितरण प्लेटों की आपसी गति—अभिसरण, अपसरण और पार्श्व संचलन—से सीधे संबंधित पाई जाती है, जिससे प्लेट विवर्तनिकी सिद्धान्त की पुष्टि होती है।

3. सागर नितल प्रसार एवं पुराचुम्बकत्व

सागर नितल प्रसार सिद्धान्त यह स्पष्ट करता है कि महासागरीय भूपर्पटी का निर्माण मुख्यतः अपसारी प्लेट सीमाओं के सहारे होता है। मध्य-महासागरीय रिजों से मैग्मा निकलकर ठंडा होता है और नवीन बेसाल्टिक चट्टानों का निर्माण करता है, जो धीरे-धीरे दोनों ओर खिसकती जाती हैं।

पुराचुम्बकत्व के अध्ययन से यह प्रमाणित होता है कि महासागरीय चट्टानों में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के भूतकालीन उलटावों (magnetic reversals) का अभिलेख सुरक्षित रहता है। नवीन चट्टानों में वर्तमान चुंबकीय ध्रुवीयता दर्ज होती है, जबकि पुरानी चट्टानों में भिन्न-भिन्न कालखंडों की चुंबकीय ध्रुवीयता पाई जाती है। यह सममित चुंबकीय पट्टियाँ सागर नितल प्रसार तथा प्लेट विवर्तनिकी की वैज्ञानिक पुष्टि करती हैं।

4. भूगर्भिक समस्याओं का समन्वित समाधान

प्लेट विवर्तनिकी सिद्धान्त पृथ्वी की अनेक प्रमुख भूगर्भिक समस्याओं का समन्वित एवं तार्किक समाधान प्रस्तुत करता है। इसके माध्यम से पर्वत निर्माण, ज्वालामुखीय क्रियाएँ, भूकम्प, भू-स्खलन, महासागरीय नितल प्रसार, महाद्वीपीय विस्थापन, पुराचुम्बकत्व तथा द्वीपीय चापों के निर्माण जैसी प्रक्रियाओं को एक समग्र ढाँचे में समझा जा सकता है।

इस प्रकार यह सिद्धान्त पृथ्वी की गतिशील प्रकृति की सर्वाधिक व्यापक और स्वीकृत व्याख्या प्रदान करता है।

आलोचनात्मक मूल्यांकन

यद्यपि प्लेट विवर्तनिकी सिद्धान्त भूगर्भ विज्ञान की सर्वाधिक व्यापक और स्वीकृत अवधारणा है, तथापि इसके कुछ सैद्धान्तिक एवं व्यावहारिक सीमाएँ भी हैं, जिन पर विद्वानों द्वारा निरंतर चर्चा की जाती रही है।

प्रथम, प्लेटों की संख्या के निर्धारण को लेकर प्रारम्भिक काल में स्पष्टता का अभाव रहा। समय के साथ नई सूक्ष्म एवं लघु प्लेटों की पहचान होती गई, जिससे प्लेटों की कुल संख्या में परिवर्तन देखा गया। यद्यपि वर्तमान में प्रमुख एवं गौण प्लेटों का एक सामान्य ढाँचा स्वीकार कर लिया गया है, फिर भी सीमांत क्षेत्रों को लेकर मतभेद बने हुए हैं।

द्वितीय, हॉट स्पॉट की संख्या, उत्पत्ति तथा उनकी स्थायित्व प्रकृति को लेकर अभी भी पूर्ण सहमति नहीं है। सभी ज्वालामुखीय श्रृंखलाओं को हॉट स्पॉट से जोड़ पाना संभव नहीं हो सका है।

तृतीय, सभी अभिसारी प्लेट सीमाओं पर बेनिऑफ ज़ोन का विकास नहीं होता। विशेष रूप से महाद्वीपीय–महाद्वीपीय अभिसरण क्षेत्रों, जैसे हिमालय, में गहन भूकंपीय तल का अभाव पाया जाता है, जिसे यह सिद्धान्त स्पष्ट रूप से नहीं समझा पाता।

चतुर्थ, अभिसरण क्षेत्रों में उत्पन्न मैग्मा की मात्रा एवं उसकी संरचना की संतोषजनक व्याख्या प्रारम्भिक प्लेट विवर्तनिकी मॉडल में नहीं की जा सकी थी, यद्यपि बाद में मेंटल मेल्टिंग की अवधारणा से इसमें आंशिक सुधार हुआ।

पंचम, प्लेट गति के लिए उत्तरदायी मेंटल संवहन धाराओं की प्रकृति, गहराई एवं दिशा को लेकर आज भी विद्वानों में मतभेद विद्यमान हैं। यह स्पष्ट नहीं है कि संवहन सम्पूर्ण मेंटल में होता है या परतबद्ध रूप में।

षष्ठ, सिद्धान्त के अनुसार एक प्लेट को एक ही दिशा में गतिशील माना गया था, किंतु अनेक प्लेटों, विशेषकर अफ्रीकी प्लेट, में विभिन्न दिशाओं में गति के प्रमाण मिलते हैं।

सप्तम, अनेक प्राचीन मोड़दार पर्वत श्रृंखलाएँ वर्तमान प्लेट सीमाओं से दूर स्थित हैं, जैसे ब्राजील का सेरा डो मार, दक्षिण अफ्रीका का ड्रेकेन्सबर्ग पर्वत तथा ऑस्ट्रेलिया की ग्रेट डिवाइडिंग रेंज। इनकी व्याख्या प्लेट विवर्तनिकी के वर्तमान ढाँचे में पूर्णतः संतोषजनक नहीं मानी जाती।

अंततः, यद्यपि रचनात्मक प्लेट सीमाएँ मध्य महासागरीय कटकों के रूप में सभी महासागरों में पाई जाती हैं, परंतु विनाशात्मक प्लेट सीमाएँ सभी महासागरों में समान रूप से विकसित नहीं हैं और मुख्यतः प्रशांत महासागर के किनारों तक सीमित दिखाई देती हैं।

निष्कर्ष

प्लेट विवर्तनिकी सिद्धांत ने पृथ्वी विज्ञान को देखने का हमारा नजरिया बदल दिया है। इसने न केवल महाद्वीपों की 'जिग-सॉ' फिटिंग और जीवाश्मों की समानता को तार्किक आधार दिया, बल्कि भूकंप और ज्वालामुखी जैसी प्राकृतिक आपदाओं के वैश्विक वितरण को समझने में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।

भविष्य के परिप्रेक्ष्य में, यह सिद्धांत खनिज अन्वेषण (Mineral Exploration) और भू-तापिय ऊर्जा (Geothermal Energy) के दोहन में सहायक सिद्ध हो रहा है। हिमालय जैसे क्षेत्रों में बड़े बुनियादी ढाँचों के निर्माण में सिस्मिक ज़ोनिंग (Seismic Zoning) का आधार यही सिद्धांत है। अतः, यह केवल एक अकादमिक अवधारणा न होकर, मानव सुरक्षा और सतत विकास के लिए एक व्यावहारिक उपकरण है।