आओ... हम पृथ्वी विज्ञान को समझें

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान
(पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय, भारत सरकार का एक स्वायत्त संस्थान)
डॉ. होमी भाभा मार्ग पाषाण, पुणे– ४११ ००८

दृष्टिकोण :

मौसम तथा जलवायु पूर्वानुमान/में सुधार हेतु आवश्यक महासागर-वायुमंडल जलवायु प्रणाली पर प्राथमिक अनुसंधान में भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान को विश्व के उत्कृष्ट केंद्र के रूप में स्थापित करना।

अभियान :

अन्वेषण विकास एवं प्रभावी वायुमंडलीय विज्ञानों को समझने में सक्षम अनुसंधान प्रतिभावों का विकास करना।

संबंधित वैज्ञानिक कार्यक्रमों का दायित्व लेते हुए महासागर-वायुमंडलीय अनुसंधान में अग्रगामिता को और आगे बढ़ाना।

जलवायु अध्ययन के अनुप्रयोग तथा विकास में कार्यरत अन्य समान प्रकार के अनुसंधान संस्थानों के साथ सहयोग करना।

आओ... हम पृथ्वी विज्ञान को समझें

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान
(पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय, भारत सरकार का एक स्वायत्त संस्थान)
डॉ. होमी भाभा मार्ग पाषाण, पुणे– ४११ ००८

अनुक्रमणिका

	संदेश : डॉ. हर्ष वर्धन	i
	संदेश : प्रो. रीता बहुगुणा जोशी	ii
	संदेश : डॉ. एम. राजीवन	iii
	संदेश : डॉ. विमीन चन्द्र	iv
	निदेशक का संदेश	v
	संपादक की कलम से ...	vii
	धन्यवाद ज्ञापन	xi
1.	**मॉनसून की मूल बातें एवं वर्ष 2020 का मॉनसून पूर्वानुमान** डॉ. रवि एस. नन्जुनडैया	**2**
2.	**चक्रवातः मुख्य बातें, गतिकी और पूर्वानुमान** डॉ. मृत्युंजय महापात्र	**18**
3.	**महासागर-आदान-प्रदान (छात्रों और सामान्य श्रोताओं के लिए सामान्य महासागरीय जागरुकता)** डॉ. एम. ए. आत्मानंद	**25**
4.	**भारतीय आर्कटिक कार्यक्रम** डॉ. एम. रविचंद्रन	**30**
5.	**भूविज्ञान की मूल बातें** डॉ. वी. नंदकुमार	**38**
6.	**एमओईएस वेबिनार-2020: जलवायु परिवर्तन अनुसंधान केंद्र की उपलब्धियां** डॉ. आर. कृष्णन	**48**
7.	**कोविड-19, वायु प्रदूषण और नीला आकाश** डॉ. जी. बेग	**52**
8.	**भारतवर्ष में कृषि-जलवायु सेवाओं की बेहतरी हेतु पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय की पहल और कोविड-19 (COVID-19) आपदा से निपटने में इसकी भूमिका** डॉ. अतुल कुमार सहाय	**56**
9.	**मॉनसून परिवर्तनशीलता, दूरसंयोजन एवं भविष्यवाणी** डॉ. सी. ज्ञानशीलन	**63**
10.	**वर्षा का भौतिकी: वर्षा कैसे होती है?** डॉ. तारा प्रभाकरन	**69**
11.	**मेघ भौतिकी: बादल कैसे बनते हैं?** डॉ. जी. पांडीतुरई	**74**

सबका साथ, सबका विकास, सबका विश्वास
Sabka Saath, Sabka Vikas, Sabka Vishwas

सत्यमेव जयते

डॉ हर्ष वर्धन
Dr Harsh Vardhan

स्वास्थ्य एवं परिवार कल्याण, विज्ञान और प्रौद्योगिकी व पृथ्वी विज्ञान मंत्री, भारत सरकार

Union Minister for Health & Family Welfare, Science & Technology and Earth Sciences Government of India

संदेश

मुझे यह जानकर प्रसन्नता हो रही है कि पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय के अधीन कार्यरत अधिशासी संस्था भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे, हिन्दी में एक पुस्तिका का प्रकाशन कर रही है। इस पुस्तिका में उन वैज्ञानिक लेखों को शामिल किया जाएगा जो कोविड-19 वैश्विक महामारी के कारण हुए लॉकडाउन के दौरान मॉनसून, महासागर, सुनामी, मेघ-भौतिकी, आर्कटिक, बाढ़, सूखा, इत्यादि से संबंधित विविध विषयों पर संस्थान के वरिष्ठ वैज्ञानिकों एवं पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय के अधीन आने वाली अन्य दूसरी अधिशासी संस्थाओं के निदेशकों द्वारा अंग्रेजी में दी गई ई-वार्ता (वेबिनार) पर आधारित हैं।

मेरी, मंत्रालय एवं उसके अधीन सभी संगठनों के वरिष्ठ वैज्ञानिकों से अपेक्षा है कि वे अपने शोध पत्र मूल रूप से हिन्दी में तैयार करने की पहल करें। उनकी इस पहल से राजभाषा का गौरव और उनका आत्म सम्मान भी बढ़ेगा।

मुझे विश्वास है कि यह पुस्तिका उन छात्रों, शोधकर्ताओं और विद्वानों के लिए अति ज्ञानवर्धक एवं उपयोगी साबित होगी, जो वायुमंडलीय विज्ञान एवं इसकी गतिकी पर काम कर रहे हैं। साथ ही यह पुस्तिका जन-साधारण के लिए भी शिक्षाप्रद होगी।

मैं संस्थान को इस सार्थक प्रयास और पत्रिका के सफल प्रकाशन के लिए अपनी शुभकामनाएं प्रेषित करता हूं।

(डॉ. हर्ष वर्धन)

कार्यालयः 348, ए-स्कंध, निर्माण भवन, नई दिल्ली-110011 • Office: 348, A-Wing, Nirman Bhawan, New Delhi - 110011
Tele.: (O) : +91-11-23061661, 23063513 •Telefax: 23062358 • E-mail: hfm@gov.in
निवासः 8, तीस जनवरी मार्ग, नई दिल्ली-110011 • Residence: 8, Tees January Marg, New Delhi - 110011
Tele: (R) : +91-11-23794649 • Telefax: 23794640

सत्यमेव जयते

प्रो. रीता बहुगुणा जोशी
PROF. RITA BAHUGUNA JOSHI
संसद सदस्य (लोक सभा)
Member of Parliament (Lok Sabha)
संयोजक, संसदीय राजभाषा समिति
Conve nor, Committee of Parliament on Official Language

दिनांक: 02 सितम्बर, 2020

प्रो० रवि एस. नन्जुनडैया जी,

मुझे प्रसन्नता हो रही है कि भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान तालाबंदी के दौरान वरिष्ठ वैज्ञानिकों द्वारा अंग्रेजी में दिये गये व्याख्यानों के आधार पर हिंदी में एक पुस्तिका प्रकाशित कर रहा है। यह एक उत्कृष्ट कार्य है। सम्पूर्ण व्याख्यानों को हिंदी में संकलित करना और इसे आम जनता के लिए उपलब्ध कराना भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान द्वारा उठाया गया एक बड़ा एवं प्रशंसनीय कदम है।

मैं आपके संस्थान द्वारा किए गए इस कार्य की सराहना करती हूं।

शुभकामनाओं सहित !

(प्रो० रीता बहुगुणा जोशी)

प्रो० रवि एस. नन्जुनडैया
निदेशक, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान
पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय
डॉ. होमी भाभा मार्ग, पाषाण
पुणे – 411 008

कार्यालय : संसदीय राजभाषा समिति, 11, तीन मूर्ति मार्ग, नई दिल्ली–110011
Office : Committee of Parliament on Official Language, 11, Teen Murti Marg, New Delhi-110011
दूरभाष/Phone: 011-21411167, 011-23035767, फैक्स/Fax: 011-21410280, ई–मेल/E-mail: rajbhashasubcommittee2@gmail.com

सत्यमेव जयते

डॉ. एम. राजीवन
DR. M. RAJEEVAN

सचिव
भारत सरकार
पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय
पृथ्वी भवन, लोदी रोड, नई दिल्ली-110 003
SECRETARY
GOVERNMENT OF INDIA
MINISTRY OF EARTH SCIENCES
PRITHVI BHAVAN, LODHI ROAD, NEW DELHI-110003

संदेश

मुझे यह जानकर बहुत खुशी हुई कि देश में कोरोना महामारी के कारण हुई तालाबंदी के दौरान पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय के एक स्वायत्त संस्थान, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे ने वेबिनार श्रृंखला आयोजित की थी जिसके दौरान संस्थान के वरिष्ठ वैज्ञानिकों और मंत्रालय के अंतर्गत अन्य संगठनों/कार्यालयों के निदेशकों द्वारा मंत्रालय से संबंधित विषयों पर व्याख्यान दिए थे। संस्थान ने इन व्याख्यानों के आधार पर हिंदी में एक पुस्तिका प्रकाशित करने का निर्णय लिया है। संस्थान का यह प्रयास मंत्रालय के लिए गर्व का विषय है।

यह पुस्तिका कॉलेजों एवं विश्वविद्यालयों में पढ़ने वाले विज्ञान के छात्रों के लिए महत्वपूर्ण होगी, ऐसी मेरी आशा है। पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय की वैज्ञानिक पृष्ठभूमि होने के नाते आम जनता को मंत्रालय के कामकाज की बहुत कम जानकारी है। बहुत से लोग तो पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय का नाम सुनकर ही हैरान से हो जाते है। इसका तात्पर्य यह है कि जनता को मंत्रालय के कामकाज और उससे जुड़े महत्वपूर्ण क्षेत्रों से अवगत कराने में इस प्रकार के प्रकाशन बहुत सहायक सिद्ध हो सकते हैं।

मैं प्रकाशन मंडल और संस्थान को इस महत्वपूर्ण कार्य के लिए अपनी शुभकामनाएं पेश करता हूं।

एम. राजीवन

(डॉ. एम.राजीवन)

Tel. : +91-11-24629771, 24629772 ❑ Fax : +91-11-24629777 ❑ E-mail : secretary@moes.gov.in

डॉ विपिन चन्द्र
संयुक्त सचिव
Dr. Vipin Chandra
Joint Secretary

सत्यमेव जयते

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय
भारत सरकार
MINISTRY OF EARTH SCIENCES
GOVERNMENT OF INDIA

संदेश

मुझे जानकारी मिली है कि भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे ने देश में तालाबंदी के दौरान, जहां देश और दुनिया के लोगों में भय तथा हताशा का माहौल था, उस चुनौतीपूर्ण अवधि में मंत्रालय के अन्य संगठनों के साथ मिलकर मंत्रालय से संबंधित विषयों पर एक वेबिनार श्रृंखला का आयोजन किया था। वरिष्ठ वैज्ञानिकों के इस अद्भभूत और उत्साहवर्धक प्रयास पर मंत्रालय को गर्व की अनुभूति हो रही है।

अब हिंदी पखवाड़े के उपलक्ष्य में संस्थान ने वेबिनार श्रृंखला में वरिष्ठ वैज्ञानिकों द्वारा दिए गए महत्वपूर्ण व्याख्यानों का हिंदी अनुवाद एक पुस्तक के रूप में प्रकाशित करने का निर्णय लिया है। मुझे पूरा विश्वास है कि यह पुस्तिका विज्ञान पर शोध करने वाले भावी युवा वैज्ञानिकों एवं विज्ञान के छात्रों को रुचिकर लगेगी। इसके अलावा, साधारण लोगों को भी मंत्रालय के कार्यक्षेत्र की जानकारी प्रदान करने में भी यह उपयोगी होगी।

मैं, प्रकाशन की सफलता के लिए अपनी शुभकामनाएं देता हूं।

(डॉ. विपिन चन्द्र)

पृथ्वी भवन, आई. एम. डी. कॉम्पलैक्स लोधी रोड, नई दिल्ली-110003
"PRITHVI BHAWAN" IMD COMPLEX, LODHI ROAD, NEW DELHI-110 003
TEL.: 011-24629528, FAX: 011-24669677

निदेशक का संदेश

यह बहुत खुशी और गर्व की बात है कि कोविड महामारी के इस कठिन दौर में भी मेरे सहयोगियों ने एमओईएस वेबिनार श्रृंखला के भाग के रूप में दिए गए व्याख्यानों की जानकारी से युक्त इस पुस्तक को लाने के लिए कड़ी मेहनत की है।

गहन तालाबंदी के दौरान सचिव महोदय द्वारा यह तय किया गया था कि हमें इसे, पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय के विभिन्न संस्थानों पर किए जा रहे कार्य, विशेष रुप से पूर्वानुमान और जनता को दी जा रही अन्य जानकारी के पीछे के अनुसंधान प्रयासों के बारे में लोगों को सूचित करने के अवसर के रुप में, करना चाहिए। आईआईटीएम और अन्य सहयोगी संस्थानों के मेरे सहयोगियों ने व्यापक स्तर विषयों, समुद्र की गहराइयों से शुरु होते हुए आकाश तक पहुँचे, बीच में मॉनसून और उसके पूर्वानुमानों, जलवायु परिवर्तन, तटीय समुद्री विज्ञान आदि जैसे विभिन्न विषयों को छूते हुए, इन व्याख्यानों को देने के लिए एक साथ आए। इन प्रत्येक व्याख्यान के लिए बड़ी संख्या में विचार स्वयं उनकी गुणता का प्रमाण है।

इन व्याख्यानों की मेजबानी आईआईटीएम के अपने सर्वर के ओपन सोर्स सॉफ्टवेयर का उपयोग करके की गई थी। दर्शकों तक बड़ी पहुँच के लिए, इन्हें आईआईटीएम की यू ट्यूब चैनल पर लाइव दिखाया गया था। उन्हें यहां संग्रहित भी किया गया था ताकि जो लोग लाइव देखना चूक गए थे, वे उन्हें आराम से देख सकें। प्रतिक्रिया बहुत ही अच्छी रही और काफी छात्र तथा शोधकर्ताओं ने यह उल्लेख किया है कि उन्होंने व्याख्यानों को बहुत ही उपयोगी और सूचनापरक पाया है।

मैं यह भी उल्लेख करना चाहूंगा कि कई बार, परिस्थितियां थोड़ी कष्टकर रहीं। कभी-कभी इंजीनियरिंग कर्मियों द्वारा संगरोध (क्वारंटाइन) प्रतिबंधों के चलते दूर से काम किया जा रहा था और फिर भी बिना किसी रुकावट के इन व्याख्यानों की मेजबानी करने में कामयाब रहे। मैं उनकी कड़ी मेहनत को सलाम करता हूँ। इस व्याख्यान श्रंखला की सफलता की सुनिश्चितता में मैं, डॉ. विनु वल्सला द्वारा किए गए प्रयासों का उल्लेख करना चाहूँगा। मैं उस टीम को भी धन्यवाद देना चाहूँगा जिन्होंने इसका हिंदी अनुवाद करने में कड़ी मेहनत की है।

मुझे आशा है कि यह पुस्तक उन सभी लोगों के लिए उपयोगी होगी जो पृथ्वी विज्ञान के विभिन्न पहलुओं के बारे में अधिक जानना चाहते हैं। हमने दोनों, व्याख्यान और पुस्तक की सामग्री को सरल रखा है ताकि इन कठिन विषयों को बोधगम्य बनाया जा सके। आशा है, आप सभी को यह पुस्तक और संगोष्ठी श्रृंखला पसंद आएगी।

जय हिन्द।

रवि एस. नन्जुनडैया
निदेशक
भारतीय उष्णदेशीय मौसमविज्ञान संस्थान, पुणे

संपादक की कलम से ...

प्रस्तुत चर्चा का प्रारंभ हम एक पुरानी कहावत ''आवश्यकता आविष्कार की जननी है'' से कर रहे हैं। कोविड महामारी के कारण यूँ तो व्यवसाय के हर क्षेत्र की गतिविधियाँ प्रभावित हुई, वैज्ञानिक संस्थानों में होने वाला शोध कार्य भी इससे अछूता नहीं रहा। यद्यपि तालाबंदी में वैज्ञानिक घर पर रहकर उपलब्ध सीमित संसाधनों से अथवा कार्यालय में रोस्टर ड्यूटी देकर अपने शोध कार्यों को आगे बढ़ाने के काम में भरपूर योगदान दे रहे थे, पर इन कार्यों का एक आवश्यक घटक सेमिनार बुरी तरह से प्रभावित हुआ था। इस कारण शोध कार्यों में वैज्ञानिक विचारों का आदान-प्रदान नहीं हो पा रहा था। आवश्यकता इस बात की थी कि कोई ऐसा रास्ता निकले जिससे सेमिनार का आयोजन किया जा सके और शोध कार्यों के विभिन्न विषयों पर विचारों का आदान-प्रदान किया जा सके। ऐसे में भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे को एक तरकीब सूझी। इस संस्थान के डेस्क विभाग ने पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय से सहयोग लेकर इस मंत्रालय के अधीन आने वाले सभी संस्थानों के वैज्ञानिकों से संपर्क किया तथा उच्च सूचना तकनीक का उपयोग कर सेमिनार के बदले वेबिनार आयोजित करने का एक कार्यक्रम तैयार किया। सभी संस्थानों के वैज्ञानिक इसके लिए तैयार हो गए, क्योंकि सभी वैज्ञानिक विचारों के परस्पर आदान-प्रदान के लिए किसी माध्यम की तलाश में ही थे। फिर क्या था, ये सिलसिला शुरू हो गया और एक-एक करके मंत्रालय के सभी संस्थानों के अनेक वरिष्ठ वैज्ञानिकों ने विभिन्न विषयों पर वेबिनार में अपना योगदान देना प्रारंभ कर दिया। इस प्रयत्न से सभी वैज्ञानिक लाभान्वित हुए।

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान ने एक और कदम आगे बढ़ाते हुए उपर्युक्त वेबिनार में जो व्याख्यान दिए गए उनको आधार बनाकर हिंदी में एक वैज्ञानिक तथ्यों से भरी-पूरी सरल भाषा में लोकप्रिय पुस्तिका तैयार करने की ठान ली है। उद्देश्य यह है कि यह पुस्तिका वैज्ञानिक शोधकर्ताओं के लिए उपयोगी तो हो ही,सामान्य जन के लिए भी सुगम एवं ग्राह्य हो। इसका एक उद्देश्य यह भी है कि इस कार्य के माध्यम से हम राजभाषा का प्रचार-प्रसार कर सकेंगे और यह सिद्ध कर सकेंगे कि वैज्ञानिक शोध कार्य एवं इसकी अभिव्यक्ति के लिए हिंदी भाषा किसी भी अन्य भाषा से कम नहीं बल्कि उत्तम है। यह पुस्तिका हर वैज्ञानिक संस्थान को एक संदेश देती रहेगी कि यदि हम प्रण कर लें तो राजभाषा मात्र प्रशासनिक कार्यों में ही नहीं, बल्कि संस्थान के हर कार्य में अभिव्यक्ति का माध्यम बन सकती है। अभी तो यह प्रारंभ है, आगे और भी सफर तय करना है। जयशंकर प्रसाद जी की निम्नलिखित पंक्ति इस आशय की पूर्ति करती है:

इस पथ का उद्देश्य नहीं है,
श्रांत भवन में टिक रहना
किंतु पहुंचना उस सीमा तक,
जिसके आगे राह नहीं है।

अब चर्चा को आगे बढ़ाते हुए यह बता दें कि प्रस्तुत पुस्तिका में कुल ग्यारह व्याख्यानों को शामिल किया गया है। अंग्रेजी में दिए गए व्याख्यानों पर आधारित अंग्रेजी लेख संबंधित वैज्ञानिकों ने लिखा है। लेखों के हिंदी अनुवाद के लिए कई लोग सामने आए जिसमें एक मैं भी शामिल हूँ। कुछ गुगल अनुवाद का भी सहारा लिया गया। संस्थान ने अंतिम अनुवाद एवं संपादन का कार्य मुझे सौंपा। मैंने अपने सामर्थ्य के अनुसार सभी हिंदी लेखों को हिंदी भाषा के अनुसार उत्तम बनाने का प्रयत्न किया है। आवश्यकतानुसार, हमने हिंदी लेखों में अंग्रेजी लेखों से कुछ इतर बातों को भी शामिल किया है ताकि लेख की आत्मा वास्तव में हिंदी जैसी लगे।

इस पुस्तिका का पहला लेख मॉनसून की मूल बातें एवं वर्ष 2020 का मॉनसून पूर्वानुमान नामक शीर्षक पर है। इस लेख में मॉनसून से जुड़ी विभिन्न वायुमंडलीय प्रक्रियाओं को विस्तार से समझाया गया है तथा उनके मॉनसून परिसंचरण में महत्ता को बताया गया है। मॉनसून पूर्वानुमान के आधार पर यह बताया गया है कि वर्ष 2020 का मॉनसून अच्छा होगा।

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे के अंतर्गत काम करने वाले जलवायु परिवर्तन अनुसंधान केंद्र की उपलब्धियों पर एक लेख इसमें शामिल किया गया है। इसमें जलवायु से संबंधित केंद्र में होने वाले शोध कार्यों का विस्तृत वर्णन किया गया है।

भारतवर्ष एक कृषि प्रधान देश है। अतः कृषि से संबंधित व्याख्यान सभी लोगों के लिए बहुत ही उपयोगी होगा। अगला लेख इसी तरह के व्याख्यान पर आधारित है। इसमें ये बताया गया है कि भारतवर्ष में कृषि-जलवायु सेवाओं की बेहतरी के लिए पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय ने क्या-क्या कदम उठाए हैं तथा वर्तमान में कोविड महामारी से निपटने के लिए इसकी क्या भूमिका है।

मॉनसून परिवर्तनीशीलता, दूरसंयोजन एवं मॉनसून की भविष्यवाणी के विषय में ये बताया गया है कि भविष्यवाणी काफी हद तक एलनीनो-दक्षिणी दोलन की सही भविष्यवाणी पर निर्भर है।

मेघ भौतिकी पर दो लेख हैं। एक लेख में बादल बनने तथा उससे संबंधित प्राचलों के मापन एवं प्रेक्षण के बारे में जानकारी दी गई है। दूसरे लेख में बादलों के वर्षा मेघ में परिवर्तित होने की प्रक्रिया को समझाया गया है।

उष्णकटिबंधीय चक्रवात पर एक बहुत ही रोचक एवं ज्ञानवर्धक लेख इस पुस्तिका में शामिल किया गया है। इसकी उर्ध्वाधर एवं क्षैतिज संरचना तथा विश्व में होने वाले इससे जनहानि का भी उल्लेख किया गया है। साथ ही, यह बताया गया है कि समय के साथ इसकी भविष्यवाणी में कैसी प्रगति हुई है और इस प्रगति से जनहानि को कम करने में कितनी मदद मिली है।

एक लेख में मानव जीवन में महासागरों की भूमिका एवं इसके महत्त्व के बारे में भरपूर जानकारी दी गई है। इसमें महासागरों से संबंधित मुख्य भौगोलिक पारिभाषिक शब्दों की व्याख्या की गई है।

भारतीय आर्कटिक कार्यक्रम में राष्ट्रीय ध्रुवीय एवं समुद्र अनुसंधान केंद्र द्वारा किए गए पहल से संबंधित व्याख्यान को भी इस पुस्तिका में स्थान दिया गया है। इसमें आर्कटिक की विशिष्टताएं एवं पृथ्वी पर हिमालय को तीसरे ध्रुव के रूप में क्यों माना जाता है इसकी चर्चा की गई है। आर्कटिक पर भारत ने किस तरह के प्रेक्षण कार्यक्रम को सफलतापूर्वक आगे बढ़ाया है तथा भविष्य में क्या लक्ष्य है इस पर विस्तृत जानकारी दी गई है।

पृथ्वी प्रणाली की हम बात करें और भूविज्ञान की चर्चा न करें तो चर्चा अधूरी रह जाती है। अत: इस पुस्तिका में एक लेख भूविज्ञान की मूल बातें को भी जगह दिया गया है। इस लेख में पृथ्वी के निर्माण, उसकी आंतरिक संरचना, चुंबकीय गुण, प्लेट टेक्टोनिक्स, भूकंप, ज्वालामुखी इत्यादी के बारे में जानकारी दी गई है।

एक लेख ''कोविड-19, वायू प्रदूषण और नीला आकाश'' शीर्षक पर भी इसमें शामिल किया गया है। इस लेख में यह बताने की कोशिश की गई है कि तालाबंदी के दौरान प्रदूषकों का उत्सर्जन इतना घट गया था कि आकाश का नीला रंग आसानी से देखा जा सकता था। साथ ही, यह भी बताया गया है कि भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान की सफर परियोजना ऐसी परिस्थिति में कितना उपयोगी है।

सारांश यह है कि यह पुस्तिका हर वर्ग के लिए उपयोगी है। हम आशा करते हैं कि प्रस्तुत पुस्तिका से वैज्ञानिक वर्ग से लेकर जन साधारण तक सभी लाभान्वित होंगे और हमारा इसे हिंदी में प्रस्तुत करने का प्रयास सार्थक सिद्ध होगा।

सधन्यवाद,

डॉ. कौसर अली,
वैज्ञानिक एफ
भारतीय उष्णदेशीय मौसमविज्ञान संस्थान, पुणे

धन्यवाद ज्ञापन

सफलता प्यारी है, सफलता जिम्मेदारी है, सफलता और अधिक के लिए आग्रह करती है। पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय की वेबिनार श्रृंखला के प्रति मिली सकारात्मक प्रतिक्रियाओं को देखकर हार्दिक आनंद का अनुभव हुआ। वैज्ञानिकों और छात्रों ने व्याख्यान श्रृंखला को बहुत बारीकी से सुना और इंटरैक्टिव सत्रों में सक्रिय रूप से भाग लिया। इस वेबिनार श्रृंखला की सफलता ने ऐसा उत्साह बढ़ाया कि इसके आगे भी कुछ करने की मन में सूझी। विचार आया कि क्यों न वरिष्ठतम वैज्ञानिकों द्वारा दिये गये व्याख्यानों पर आधारित एक हिंदी पुस्तक की रचना की जाए जिससे इस प्रयास का यथोचित लाभ आम जनता को भी मिल सके। मन में आए इस विचार को निदेशक महोदय, आईआईटीएम से भी पूरे दिल से समर्थन मिला जो मेरे लिए वास्तव में उत्साहवर्धक था।

माननीय मंत्री, एमओईएस डॉ. हर्षवर्धन जी ने प्रस्तावित पुस्तक को अपना आशीर्वाद दिया है और विनम्र रूप से इस संदर्भ में अपना एक संदेश भी भेजा है जो बहुत ही प्रोत्साहित करने वाला और प्रेरणादायक है।

माननीय सांसद और संयोजक, राजभाषा संसदीय समिति, प्रो. रीता बहुगुणा जोशी जी का भी इन प्रयासों के लिए बहुत उत्साहवर्धक संदेश प्राप्त हुआ है।

इस क्रम में माननीय सचिव, डॉ. एम. राजीवन, एवं संयुक्त सचिव, डॉ विपिन चंद्र, एमओईएस ने भी इस पुस्तक के प्रकाशन को अपना भरपूर समर्थन दिया है एवं इसके लिए प्रोत्साहन भरा संदेश भी भेजा है।

डॉ. महापात्र, भारत मौसम विज्ञान विभाग के महानिदेशक (DGM), डॉ. आत्मानंद, निदेशक, एनआईओटी (NIOT), डॉ. रविचंद्रन, निदेशक, एनसीपीओआर (NCPOR), डॉ. नंदकुमार, निदेशक, एनसीईएसएस (NCESS), डॉ. आर. कृष्णन, डॉ. ए.के. सहाय, डॉ. जी. बेग तथा अन्य वरिष्ठ वैज्ञानिकों के द्वारा पुस्तक में योगदान देने के लिए दिखाया गया उत्साह एवं उत्कण्ठा वास्तव में सराहनीय है।

लेखों के हिंदी अनुवाद एवं संपादन के प्रति डॉ. कौसर अली, वैज्ञानिक - एफ का समर्पण प्रशंसनीय है। संपादक मंडल, डॉ. भूपेन्द्र सिंह, श्रीमती शांती अय्यर, श्री विजय ससाणे तथा अन्य सहयोगियों द्वारा इस पुस्तक के प्रकाशन में विभिन्न स्तरों पर दिए गये योगदान उल्लेखनीय हैं।

आशा है आप सभी को यह पुस्तक उपयोगी लगेगी।

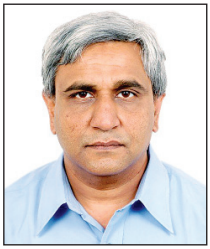
उपरोक्त सभी लोगों को तथा अन्य उन लोगों को मैं हार्दिक धन्यवाद देता हूँ, जिन्होंने प्रत्यक्ष अथवा परोक्ष रूप से इस पुस्तक के प्रकाशन में योगदान दिया है।

धन्यवाद,

श्री अजित प्रसाद
प्रशासनिक अधिकारी
भारतीय उष्णदेशीय मौसमविज्ञान संस्थान, पुणे
संयोजक

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय
की
वेबिनार श्रृंखला

1. मॉनसून की मूल बातें एवं वर्ष 2020 का मॉनसून पूर्वानुमान



डॉ. रवि एस. नन्जुनडैया
निदेशक, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे

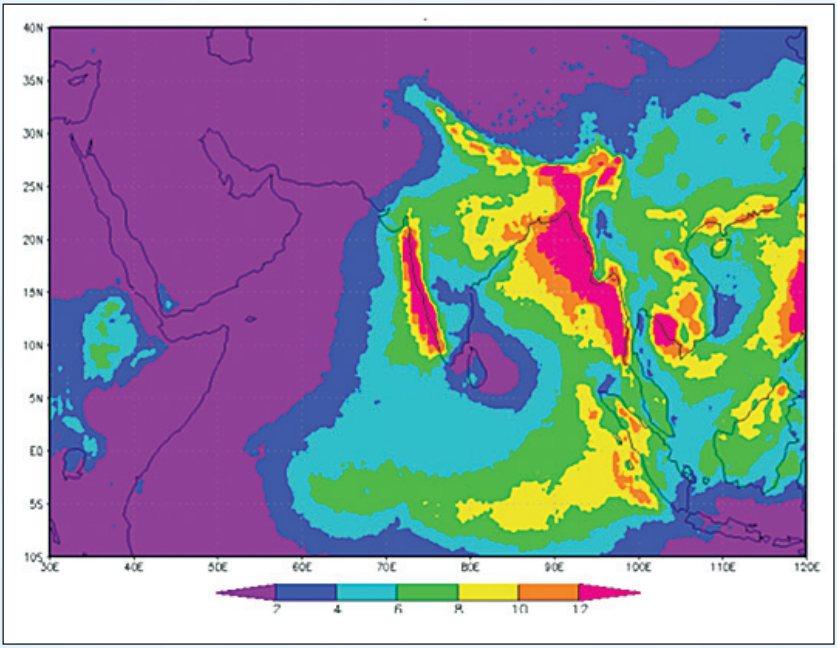
औसत मॉनसून

जब हम औसत मॉनसून (चित्र 1.1) (जून-सितंबर; मौसम विज्ञान विभाग) की बात करते हैं, तो हम निम्नलिखित क्षेत्रों पर उच्च वर्षा की सूचना देते हैं:
बंगाल की खाड़ी के उत्तरी भाग और निकटवर्ती म्यांमार में अधिक वर्षा

1. हिमालय की तलहटी और उत्तर-पूर्व भारत (जहाँ अधिकतम वर्षा होती है) में अधिक वर्षा
2. पश्चिमी घाट में अधिक वर्षा
3. पूरब से पश्चिम के वर्षामान में प्रवणता
4. शीर्ष बंगाल की खाड़ी पर लाल सागर (समान अक्षांश के क्षेत्रों पर) की तुलना में अधिक वर्षा
5. तमिलनाडु में कम बर्षा

क्या भूमि-महासागर तापक्रम विपर्यास मॉनसून का कारण होता है?

परंपरागत रूप से यह माना जाता था कि भारतीय मॉनसून भूमि के उष्मन द्वारा पैदा हुआ विशाल समुद्री हवाओं का परिसंचरण है। तथापि अधिकतम वर्षा जुलाई में होती है जब भूमि-सतह मई की तुलना में अधिक ठंढी होती है। सहसंबंध सांख्यिकी



चित्र 1.1: जून से लेकर सितम्बर के महिने तक में औसत वर्षा

विश्लेषण यह दर्शाता है कि जून-सितम्बर में भूमि का तापक्रम जितना अधिक होगा मॉनसून उतना ही कमजोर होगा। तो मॉनसून वास्तव में है क्या- एक स्थानीय प्रणाली या वैश्विक प्रणाली?

यदि हम मॉनसून को वैश्विक प्रणाली का भाग मानते हैं तो दो बातें सामने आती हैं-

1. यह एशियाई मॉनसून का भाग हो सकता है, या
2. यह हमारे क्षेत्र में आई टी सी जेड का एक तरह से बदला हुआ रूप हो सकता है।

जनवरी एवं जुलाई में सतही (1000 हेक्टापास्कल, एच पी ए) हवाएं तथा आई टी सी जेड

वैश्विक मानचित्र पर हवा का दिशा वितरण यह दर्शाता है कि सामान्य तौर पर उत्तर-पूर्वी ट्रेड हवाएं उत्तरी गोलार्ध तथा दक्षिण-पूर्वी ट्रेड हवाएं दक्षिणी गोलार्ध की ओर से चलकर भूमध्य रेखा के निकट अभिसरित होती हैं। भूमध्य रेखा के जिन क्षेत्रों में ये हवाएं अभिसरित होती हैं उसे इंटर ट्रॉपिकल कंवर्जेंस जोन (आई टी सी जेड)

कहा जाता है (चित्र 1.2)। आई टी सी जेड के निकट जोनल हवाएं पूर्वाई होती हैं जिन्हें हम ईस्टर्ली ट्रेड्स भी कहते हैं। जनवरी में आई टी सी जेड की औसत स्थिति भूमध्य रेखा के दक्षिण में होती है, जबकि जुलाई में इसकी स्थिति भूमध्य रेखा के उत्तर में होती है। अब सवाल यह पैदा होता है कि आई टी सी जेड का सबसे अधिक विचरण कहाँ होता है। इस संदर्भ में यह पाया गया है कि उत्तरी गोलार्ध में जब गर्मी का मौसम (बोरियल समर) होता है तो आई टी सी जेड का विचरण एशियाई क्षेत्र पर अधिकतम होता है, जबकि दक्षिणी गोलार्ध में गर्मी का मौसम (ऑस्ट्रल समर) होने पर यह भूमध्य रेखा के आस-पास ही रहता है।

चित्र 1.2: आई टी सी जेड की विशिष्ट मौसमी स्थिति

जनवरी एवं जुलाई में वर्षा का पैटर्न

यह पाया गया है कि उच्च वर्षा का क्षेत्र आई टी सी जेड से संबंधित होता है, अर्थात उच्च वर्षा उसी क्षेत्र के आस-पास होती है। जैसे-जैसे आई टी सी जेड में स्थानिक विचरण होता है वैसे-वैसे वर्षा-पट्टी (अर्थात, रेनबैंड) में भी विचरण होता है।

जनवरी एवं जुलाई में 500 एच पी ए पर हवा की उर्ध्वाधर गति

यह पाया गया है कि आई टी सी जेड में हवा की उर्ध्व गति उच्च स्तर पर होती है जो गहरे संवहन से जुड़ी होती है। जब हवा का अवरोह होता है तो वह अधिक से अधिक विसरित

होती जाती है तथा बड़े क्षेत्रों पर फैल जाती है। संक्षेप में यदि कहा जाय तो आई टी सी जेड हवाओं के अभिसरण, भारी वर्षा एवं हवा के उच्च उर्ध्व गति से संबंधित होती है।

हेडली का अनुप्रथ-काट (क्रॉस-सेक्शन)

हम हैडली सेल के व्यवहार को संक्षेप में इन शब्दों में व्यक्त कर सकते हैं:

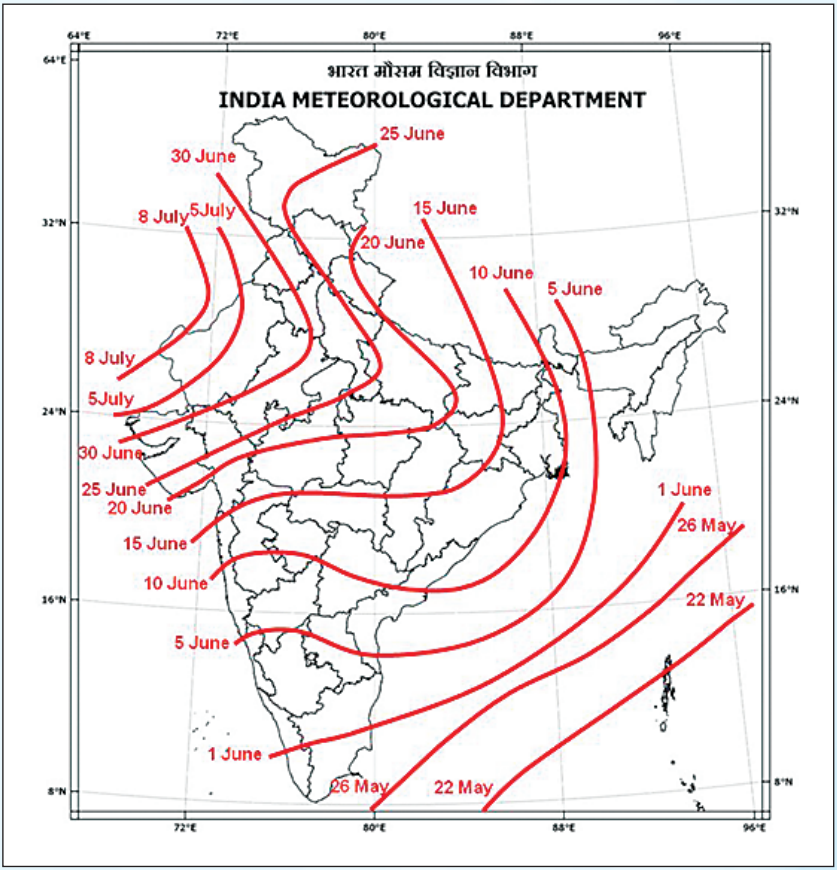
1. आई टी सी जेड के पास हवा की उर्ध्व गति हैडली सेल के ऊपर की शाखा के साथ सन्निपतित करती है।
2. यह क्षेत्र भारी वर्षा और उच्च मेघाच्छन्नता के साथ जुड़ा हुआ होता है।
3. मध्य अक्षांशीय क्षेत्रों पर हवा का अवरोहण होता है।
4. संक्षेप में, प्रेक्षण यह दर्शाते हैं कि हेडली सेल के कारण जो उथल-पुथल (ओवरटर्निंग) होता है वह भूमध्य रेखा और लगभग 30^{o} अक्षांश के बीच सीमित होता है।
5. उच्चतर अक्षांशों में संवेग और ऊर्जा का परिवहन भंवर (Eddies) के कारण होता है।

मॉनसून की शुरुआत (Onset of Monsoon)

भारतीय क्षेत्रों में मॉनसून की शुरुआत मई के अंत में होती है (चित्र 1.3)। इसकी सबसे पहली शुरुआत अंडमान और थाईलैंड के आसपास लगभग 22 मई को होती है। थोड़े दिन बाद लगभग 25 मई को यह म्यांमार तक पहुँच जाता है। भारत की मुख्य भूमि पर इसकी शुरुआत 1 जून के करीब केरल में होती है। थोड़े दिन बाद लगभग 7 जून को मॉनसून कर्नाटक में पहुँच जाता है। केरल में पहुँचने के लगभग 10-11 दिन बाद यह मुंबई में पहुँच जाता है (मुंबई में मॉनसून ऑनसेट की तिथि 11 जून है)। 27 जून के आसपास मॉनसून दिल्ली पहुँच जाता है तथा मध्य जुलाई तक यह पूरे देश में व्याप्त हो जाता है।

मई और जून के दौरान वर्षा

मई के दौरान, बारिश अनिवार्य रूप से केरल के निकट और म्यांमार तट से दूर अरब सागर तक सीमित होती है। जून के दौरान, प्राथमिक वर्षा-पट्टी (रेनबैंड) अभी भी मुख्य रूप से भारतीय प्रायद्वीप के दक्षिणी भाग और बंगाल की खाड़ी के उत्तरी भाग पर बनी हुई होती है। भारतवर्ष के उत्तरी भाग जैसे पंजाब/राजस्थान में तब तक भी ज्यादा बारिश नहीं होती है।



चित्र 1.3: मॉनसून की शुरुआत (सौजन्यः पई एट आल, 2020)

शिखर मॉनसून की अवधिः जुलाई और अगस्त

इस अवधि के दौरान मॉनसून के स्थानिक प्रसार की निम्नलिखित विशेषताएं हैं:

1. वर्षा-गतिविधि देश के अधिकांश हिस्सों को समाविष्ट कर लेती है।
2. मॉनसून द्रोणिका के क्षेत्र में अभिप्रायपूर्ण (significant) वर्षा होती है।
3. भूमध्यरेखीय हिंद महासागर के ऊपर द्वितीयक वर्षा-पट्टी भी उन्नत हो जाती है।
4. अरब सागर के ऊपर वर्षा की मात्रा में तीव्र स्थानिक प्रवणता पायी जाती है।

मॉनसून वापसी की अवधि: सितम्बर और अक्तूबर

सितम्बर में बारिश देश के अधिकांश हिस्सों में व्यापक रूप से होती है, पर जुलाई/अगस्त की तुलना में इसकी मात्रा कम होती है। भूमध्यरेखीय हिंद महासागर और शीर्ष बंगाल की खाड़ी (Head Bay of Bengal) में तुलनीय वर्षा होती है। अक्तूबर के दौरान, वर्षा भारतीय प्रायद्वीप के दक्षिणी भाग तक ही सीमित होकर रह जाती है।

जनवरी एवं जुलाई में समुद्र-तल पर हवा का दबाव एवं 850 एच पी ए ज्योपोटेंशियल

जनवरी और जुलाई के बीच समुद्र-तल पर हवा के दबाव में विपरीत स्थिति पायी जाती है। जनवरी में भारत के अधिकांश भागों में समुद्र-तल की तुलना में भूमि-सतह पर दबाव अधिक होता है, जबकि जुलाई में इसका विपरीत सच है। कम दबाव वाले क्षेत्र के पूर्वी भाग को ही मॉनसून द्रोणिका कहते हैं। यह पश्चिमी छोर में ऊष्मा-जनित निम्नदाब (Heat-low)/भूमि-सतह निम्नदाब (Surface-low) में विलीन हो जाती है।

जनवरी एवं जुलाई के 850 एच पी ए ज्योपोटेंशियल-तल में विपर्यय अथवा उलटाव पाया जाता है।

जनवरी एवं जुलाई में निचले सतह (850 एच पी ए) की हवाएँ

जनवरी और जुलाई के बीच 850 एच पी ए सतह की हवा में उलटाव पाया जाता है। जुलाई के दौरान वायु की एक मजबूत जेट-धारा (Jet-stream) पायी जाती है। यह जेट-धारा भूमध्य रेखा के पास पूर्वाई के रूप में होती है। भूमध्य रेखा को यह सोमाली तट के समीप पार करती है। इसलिए इसे सोमाली जेट भी कहते हैं। भारत के ऊपर यह जेट-धारा पश्चिमी हवा के रूप में बहती होती है जिसे निचले सतह का जेट (Low-level Jet) भी कहा जाता है। यह जेट-धारा मॉनसूनी ऊष्मन के परिणामस्वरूप पैदा होती है। मॉनसूनी ऊष्मन के कारण उत्तर की ओर कमतर दबाव और दक्षिण की ओर उच्चतर दबाव पैदा हो जाता है तथा उसी प्रकार ज्योस्ट्रॉफिक अनुक्रिया भी होती है। निचले सतह का जेट भारतीय उपमहाद्वीप में नमी लाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है और अरब सागर के ऊपर शीतलन पैदा करता है।

जनवरी एवं जुलाई में उच्च सतह (200 एच पी ए) की हवाएँ

यहाँ यह ध्यान देने योग्य बात है कि 850 एच पी ए की तुलना में 200 एच पी ए की हवाएँ बहुत अधिक ज़ोनल (अक्षांश के समानांतर बहने वाली हवाएँ) होती

हैं। पर, प्रश्न उठता है कि ऐसा क्यों है? तो ऐसा इसलिए है क्योंकि सतह के घर्षण का प्रभाव 200 एच पी ए (लगभग 10-12 कि.मी. के ऊपर) पर कम होता है। जनवरी के दौरान ऊपरी सतहों की हवाएँ पश्चिमी अर्थात पश्चिम से पूरब की ओर बहने वाली होती हैं। जुलाई के दौरान हिमालय के दक्षिण में पूर्वाई तथा इसके उत्तर में पश्चिमी हवाएँ बहती हैं। 10^{o}N-15^{o}N अक्षांश के आसपास पाई जाने वाली तेज़ हवाओं को 'ट्रॉपिकल ईस्टरली जेट' अथवा उष्णकटिबंधीय पूर्वाई जेट कहा जाता है। तिब्बत के ऊपर एक प्रति-चक्रवात (Anti-cyclone) विकसित हुआ होता है, जिसे 'तिब्बती प्रति-चक्रवात (Tibetan Anti-cyclone)' कहा जाता है।

मॉनसून की सक्रिय और विराम (Active and Break) की अवधि

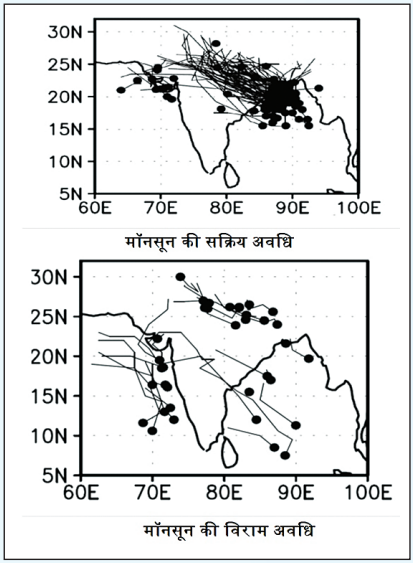
हम जानते हैं कि मॉनसून अवधि (जून-सितम्बर) के दौरान पूरे काल में लगातार बारिश नहीं होती है। कुछ दिन अधिक बारिश होती है तो कुछ दिन बिलकुल ही नहीं। मॉनसून अवधि के दौरान की वह लंबी अवधि (सामान्यतः > 3 दिन) जिसमें बारिश नहीं होती है विराम अवधि कहलाती है। इसके विपरीत, वह लंबी अवधि जिसमें मॉनसूनी गतिविधि ज़ोरदार होती है, अथवा यों कहें कि अच्छी बरसात होती है तो वह अवधि सक्रिय अवधि कहलाती है। सक्रिय अवधि के दौरान मॉनसून द्रोणिका के अधिकांश भागों में व्यापक वर्षा होती है, जबकि विराम अवधि के दौरान वर्षा होने की घटना हिमालय की तलहटी, उत्तर-पूर्व भारत एवं भारतीय प्रायद्वीप के क्षेत्रों तक ही सीमित होकर रह जाती है। यदि विराम की अवधि लम्बी हो और यह स्थिति आगे भी बरकरार रहे तो सूखा पड़ सकता है।

अंतरा-मौसमी (Intra-seasonal) परिवर्तन

भारतीय ग्रीष्म मॉनसून की अभिलक्षणिक विशेषता यह है कि वर्षा-पट्टियाँ उत्तर की ओर स्थानांतरित होती जाती हैं। वास्तव में, ये वर्षा-पट्टियाँ भूमध्य रेखा (5^{o}S) के पास उत्पन्न होती हैं और उत्तर की ओर बढ़ते हुए मॉनसून द्रोणिका के क्षेत्र में समाप्त होती जाती हैं। ध्रुवीय क्षेत्रों की ओर इनके स्थानांतरित होने में विशिष्ट समय लगभग 25-30 दिन लगता है। इस तरह की ध्रुवीय क्षेत्रों की ओर स्थानांतरित होने की घटना केवल पश्चिमी प्रशांत महासागर के क्षेत्र (150^{o}E) में ही पायी जाती है। हालांकि, ध्रुवीय क्षेत्रों की ओर इनका प्रसार अभी भी शोध का विषय है। इस तरह के प्रसार विराम अवधि के बाद सक्रिय अवधि को पुनर्जीवित करने में प्रमुख भूमिका निभाते हैं।

सक्रिय एवं विराम की अवधि में निम्न-दाब वाले निकाय, वायु निम्नदाब तथा अवदाब

यह पाया गया है कि मॉनसून की अवधि में बंगाल की खाड़ी में वायु निम्नदाब और अवदाब बनते रहते हैं और ये मॉनसून द्रोणिका के रास्ते से होकर गुजरते रहते हैं। ये अल्प-अवधि (कुछ दिन) के मॉनसूनी निकाय होते हैं जो भारतीय उप-महाद्वीप के क्षेत्रों पर पर्याप्त मात्रा में बारिश देते हैं (चित्र 1.4)। यह देखा गया है कि विराम की अवधि की तुलना में सक्रिय अवधि में अधिक निम्नदाब एवं अवदाब बनते हैं। सक्रिय चरण के दौरान ये निम्न-दाब वाले निकाय मॉनसून द्रोणिका में समूहबद्ध रूप में होते हैं।



चित्र 1.4: मॉनसून की सक्रिय एवं विराम अवधि में निम्नदाबों और अवदाबों की आवृति (सौजन्यः जोसेफ, 2012)

अनावृष्टि/सूखा

आमतौर पर मॉनसून की अवधि में पर्याप्त वर्षा न होने की स्थिति को सूखा कहा जाता है। भारत मौसम विज्ञान विभाग द्वारा सूखा की स्थिति को निम्न रूप में परिभाषित किया गया है:

जून से सितम्बर महिने के दौरान यदि भारतीय क्षेत्रों के ऊपर औसत वर्षामान 88 से.मी. है तो यह 100% वर्षा मानी जाती है। यह 88 से.मी. का मान भारतीय क्षेत्रों पर लम्बी अवधि तक के वर्षामान के औसत पर आधारित है। यदि वर्षामान 96 से 104% के बीच हो तो यह सामान्य वर्षा मानी जाती है। यदि वर्षामान में 10% या इससे अधिक की कमी होती है तो इस स्थिति को सूखा की स्थिति समझी जाती है। वर्षा के विभिन्न वर्गों की विस्तृत जानकारी बाद में आने वाले अनुभागों में दी गयी है।

ऊपरोक्त परिभाषा के अनुसार हम कह सकते हैं कि वर्ष 2003 में मॉनसून सामान्य के नजदीक था, जबकि वर्ष 2002 में बड़ा सूखा पड़ा था। विदित हो कि वर्ष 2002 में सामान्य से 20% कम बरसात हुई थी।

अखिल भारतीय ग्रीष्म-मॉनसूनी वर्षा (आई एस एम आर) में अंतर-वार्षिक परिवर्तनशीलता

ध्यान देने योग्य बात है कि मॉनसून की तीव्रता हर साल एक समान नहीं होती है। किसी वर्ष यह मजबूत होती है तो किसी वर्ष कमजोर। जैसा कि ऊपर दिया गया है, भारतवर्ष में मॉनसून मौसम के दौरान औसत वर्षा 88 से.मी. होती है। भारतीय ग्रीष्म मॉनसूनी वर्षा का मानक विचलन (Standard Deviation) 10% है। किन्हीं वर्षों में गंभीर सूखा पड़ता है तो किन्हीं वर्षों में अतिरिक्त वर्षा होती है। यह शोध का विषय है कि प्रेक्षित अंतर-वार्षिक परिवर्तनशीलता का संबंध वास्तव में किससे है?

एनसो-आई एस एम आर (EnSO-ISMR) में संबंध

यह पाया गया है कि काफी कुछ सूखे के साल एल-नीनो (El-Nino) की घटना से संबंधित होते हैं तथा कुछ अतिरिक्त वर्षा वाले साल ला-नीना (La-Nina) के साथ जुड़े होते हैं। एनसो और आई एस एम आर के बीच सह-संबंध गुणांक लगभग -0.53 पाया जाता है। दरअसल, एनसो की घटना वॉकर परिसंचरण को भंग कर देती है और बदले में हैडली सेल में बदलाव पैदा कर देती है जिसका मॉनसून पर प्रभाव पड़ता है। यहाँ हम नीचे आने वाले अनुभागों में एल-नीनो, ला-नीना तथा वॉकर परिसंचरण के बारे में संक्षेप में जानकारी प्रस्तुत करेंगे। इस बिषय में विस्तृत जानकारी मौसम विज्ञान के पाठ्यपुस्तकों से प्राप्त की जा सकती है।

वॉकर परिसंचरण (Walker Circulation)

यहां हम उत्तर-दक्षिण दिशा में अक्षांसों के समानांतर बहने वाली औसत वायु के परिसंचरण (zonally averaged circulation) पर विचार कर रहे हैं। भूमध्य रेखा के नजदीक हम प्रशांत महासागर के दो भागों के ऊपर हवा के उर्ध्व गति में पर्याप्त अंतर पाते हैं। पश्चिमी प्रशांत महासागर के ऊपर (इण्डोनेशिया के नजदीक) हवा का एक तीव्र आरोह पाया जाता है। पूर्वी प्रशांत महासागर के ऊपर (अमरीकी तट के नजदीक) हवा का अवरोह पाया जाता है। क्या यह पूर्व-पश्चिम दिशा में हवा के परिसंचरण को दर्शाता है? उत्तर है, हाँ। यही पूर्व-पश्चिम परिसंचरण सर गिल्बर्ट वॉकर (जिन्होंने इसकी खोज की थी) के नाम पर वॉकर परिसंचरण कहलाता है। वॉकर परिसंचरण को हम और भी साधारण शब्दों में निम्नलिखित तरीके से समझ सकते हैं।

इण्डोनेशिया के समुद्री तट से दूरस्थ पश्चिमी प्रशांत महासागर के क्षेत्रों पर हवा की दिशा आरोही होती है। अमरीकी समुद्री तट से दूरस्थ प्रशांत महासागर के क्षेत्रों

पर हवा की दिशा अवरोही होती है। भूमध्य रेखा के पास से तथा उसके समानांतर बहने वाली हवा के इस परिसंचरण को वॉकर परिसंचरण कहा जाता है।

समुद्र-सतह का तापक्रम (Sea Surface Temperature) अथवा एस एस टी और वर्षा में संबंध

यह पाया जाता है कि पश्चिमी प्रशांत महासागर (इण्डोनेशियन तट) के क्षेत्रों पर समुद्र-सतह के तापक्रम उच्चतर तथा पूर्वी प्रशांत महासागर (अमरीकी तट) के क्षेत्रों पर कमतर होते हैं। ये उच्च और निम्न तापक्रम क्रमशः उच्च वर्षा/हवा की आरोही दिशा तथा कम वर्षा/हवा की अवरोही दिशा के साथ सन्निपतित करते हैं। यह ध्यान देने योग्य बात है कि समुद्र-सतह के तापक्रम वर्षा एवं हवा के उर्ध्वाधर गति एवं दिशा को कैसे प्रभावित करते हैं? इसलिए हम एस एस टी और वर्षा के बीच संबंधों की जांच करते हैं। जांच करने पर हम पाते हैं कि:

1. यदि एस एस टी $27^{o}C$ के नीचे होती है तो वर्षा कम होती है और यह धीरे-धीरे बढ़ती है।
2. यदि एस एस टी $27^{o}C$ के ऊपर होती है तो वर्षा में तीव्र बढ़ोतरी होती है।
3. हम आम तौर पर यह पाते हैं कि एस एस टी केवल $27^{o}C$ के ऊपर होने पर ही संगठित संवहन पोषित होता है।
4. पश्चिमी प्रशांत महासागर में एस एस टी $27^{o}C$ के पर्याप्त ऊपर होता है, जबकि पूर्वी प्रशांत महासागर में यह इस सीमारेखा के नीचे होता है।
5. अब प्रश्न यह उठता है कि कौन सा ऐसा कारक है जो इस संरचना को जन्म देता है? तो इसका उत्तर यह है कि यह एक युग्मित प्रणाली के रूप में महासागर और वायुमंडल के व्यवहार से संबंधित होता है।

वॉकर परिसंचरणः एक युग्मित मौसमी प्रणाली

वॉकर परिसंचरण वायुमण्डल में घटित होने वाली विभिन्न मौसमी प्रणालियों के युग्मन का परिणाम होता है। इसके पश्चिमी छोर अर्थात इण्डोनेशियाई समुद्री तट से दूर प्रशांत महासागर की सतह पर जलराशि इकट्ठा होने लगती है। इस कारण वहां थर्मोक्लाइन गहरा हो जाता है। यहाँ यह बताना आवश्यक है कि वास्तव में थर्मोक्लाइन है क्या? तो थर्मोक्लाइन समुद्र के अंदर एक ऐसा अंतरापृष्ठ अथवा विच्छिन्नता-सतह (Discontinuity surface) है जिसके आर-पार जल के घनत्व एवं तापक्रम में तीव्र

परिवर्तन पाया जाता है। इसमें ऊपर के तल में गर्म जल तथा नीचे के तल में ठंढा जल होता है। यहाँ सतही हवाएँ आम तौर पे पश्चिम की ओर बहती हैं। अर्थात, हवाएँ पूर्वाई होती हैं या यों कह सकते हैं कि ये पूर्वी ट्रेड हवाएँ होती हैं। प्रशांत महासागर में पेरू तट के नजदीक हवाएँ उत्तर की ओर बहती हैं जिस कारण एक बेसिन के पूर्वी छोर पर अपवेलिंग होती है तथा भूमध्य रेखा के साथ-साथ पूर्वाई हवा बहती है। ध्यान दें कि अपवेलिंग ऐसी समुद्री घटना है जिसमें हवा के कारण समुद्र के निचले तल का घना और ठंढा जल ऊपर के तल में आ जाता है तथा ऊपर के तुल्नात्मक रूप से गर्म जल को विस्थापित कर देता है। ऊपरोक्त घटनाओं के कारण थर्मोक्लाइन छिछला हो जाता है।

जब थर्मोक्लाइन की गहराई अधिक होती है तब अपवेलिंग होने के बावजूद समुद्र के निचले तल से आया हुआ ठंढा जल एस एस टी को प्रभावित नहीं कर पाता है। पर, जब थर्मोक्लाइन की गहराई कम होती है या यों कहें कि थर्मोक्लाइन छिछला होता है तब समुद्र के निचले तल से आया हुआ ठंढा जल एस एस टी को प्रभावित करता है और एस एस टी कम हो जाता है। ऐसी परिस्थिति संवहन को बनाए रखने अथवा पोषण करने में असमर्थ हो जाती है। परिणामस्वरूप, संक्षेप में कहें तो, पश्चिमी छोर पर निम्नदाब एवं पूर्वी छोर पर उच्च-दाब विकसित हो जाता है। पश्चिमी छोर पर निम्नदाब होने के कारण वहाँ हवाएँ ऊपर उठती हैं, ऊपरी तल में पूरब की ओर बढ़ती हैं तथा पूर्वी छोर पर आकर अवरोही हो जाती हैं। इसे ही हम वॉकर परिसंचरण कहते हैं। वॉकर परिसंचरण की तीव्रता को हम ताहिती और डार्विन स्थानों के बीच सतही वायूमंडलीय दाब विसंगतियों के अंतर से मापते हैं। इस मात्रात्मक मान को दक्षिणी दोलन सूचकांक या एस ओ आई (Southern Oscillation Index, or SOI) कहते हैं।

एल नीनो, ला-नीना और एस ओ आई

एस ओ आई की गणना करने के लिए नीचे सूत्र दिया जा रहा है।

$$\text{एस ओ आई (SOI)} = 10 \frac{P_{diff} - P_{diffav}}{\alpha P_{diff}}$$

यहाँ P_{diff} ताहिती और डार्विन स्थानों के सतही वायुमंडलीय दाब के बीच अंतर है, P_{diffav} अभीष्ट महिने का लम्बी अवधि के दाबांतर का औसत तथा αP_{diff} दाबांतर के काल-श्रेणी का मानक विचलन है।

एस ओ आई का धनात्मक मान मजबूत वॉकर परिसंचरण तथा ऋणात्मक मान कमजोर वॉकर परिसंचरण को सूचित करता है। यह अर्ध आवधिक होता है। कभी वॉकर परिसंचरण बहुत मजबूत तो कभी कमजोर पाया जाता है। ऋणात्मक एस ओ आई एल-नीनो की घटना के साथ तथा धनात्मक एस ओ आई ला-नीना की घटना के साथ पाया जाता है। सवाल पैदा होता है कि वॉकर परिसंचरण कमजोर क्यों होता है? इसका उत्तर हम ढूँढने की कोशिश करेंगे।

किन्हीं सालों में पूर्वी ट्रेड हवाएँ कमजोर होती हैं। इसको समझाने के लिए कई सिद्धांत दिये गये हैं। उनमें से एक जो बहुत प्रचलित एवं प्रबल सिद्धांत है वो ये है कि पश्चिमी हवा का बौछार या यों कहें कि मजबूत झोंका होता है जिसके कारण अंतरा-मौसमी पैमाने पर वर्षा-गतिविधि होती है। पूर्वाई के कमजोर होने से अपवेलिंग कम होता है और थर्मोक्लाइन केंद्रीय और पूर्वी प्रशांत महासागर पर गहरा जाता है। ऊपरोक्त दोनों क्षेत्र गर्म हो जाते हैं और इस तरह संवहन पोषित होता रहता है।

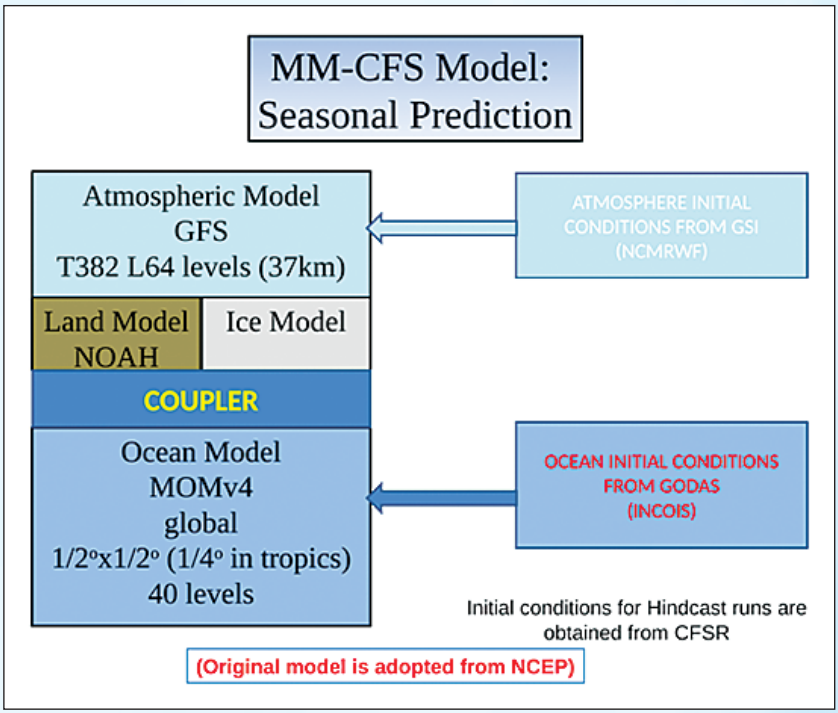
केंद्रीय प्रशांत महासागर में एस एस टी में बहुत उतार-चढ़ाव पाया जाता है। एल-नीनो वर्ष में केंद्रीय एवं पूर्वी प्रशांत महासागर के ऊपर ला-नीना वर्ष की तुलना में अधिक वर्षा होती है। केवल ई एन एस ओ सभी सूखे का कारण नहीं होता। तो और दूसरे कौन से कारक होते हैं? इसकी चर्चा हम आगे करेंगे।

हिंद महासागर दूरसंयोजन (Indian Ocean Teleconnection)

हिंद महासागर में भी एस एस टी में उतार-चढ़ाव देखा गया है। कुछ अवधियों में हिंद महासागर का पश्चिमी छोर गर्म हो जाता है तो कभी-कभी पूर्वी छोर। इस स्थिति को हिंद महासागर की द्विध्रुवीय स्थिति कहा जाता है। हिंद महासागर के ऊपर जब पश्चिमी भागों पर उच्चतर संवहन होता है तो पश्चिमी क्षेत्रों के ऊपर बादल बनते हैं और जब पूर्वी भागों पर उच्चतर संवहन होता है तो पूर्वी क्षेत्रों पर बादल बनते हैं। इस तरह हम कह सकते हैं कि बादल बनने की घटना में परिस्थिति-जन्य दोलन होता है। इस घटना को भूमध्यरेखीय हिंद महासागर दोलन या ईक्वीनू (Equatorial Indian Ocean Oscillation - EQUINOO) भी कहा जाता है। ईक्वीनो एक युग्मित घटना है, लेकिन हर ईक्वीनू की घटना एक द्विध्रुवीय घटना के साथ युग्मित नहीं होती है। धनात्मक ईक्वीनो/द्विध्रुवीय अच्छे भारतीय मॉनसून के लिए अनुकूल होता है, जबकि ऋणात्मक ईक्वीनो प्रतिकूल होता है।

सूखे और दूरसंयोजन (Droughts and Teleconnections)

मॉनसून की अधिकांश चरम घटनाओं की या तो एनसो घटना या ईक्वीनू घटना के द्वारा व्याख्या की जा सकती है। वर्ष 2002 में चरम सूखा पड़ा था। उस वर्ष एनसो और ईक्वीनू दोनों ही प्रतिकूल थे। वर्ष 1997 में एनसो प्रतिकूल था, पर ईक्वीनू अनुकूल। उस वर्ष वर्षा सामान्य के नजदीक रहा। वर्ष 1994 में एनसो सामान्य के नजदीक था तथा ईक्वीनू अनुकूल। उस वर्ष अतिरिक्त (Excess) वर्षा हुई। सूखा/सामान्य बारिश तथा एनसो अथवा ईक्वीनू की घटनाओं में जुड़ाव के सटीक क्रियाविधि की पूरी जानकारी अभी तक नहीं है। यह अभी भी एक गहन शोध का विषय है।



चित्र 1.5: मॉनसून मिशन के तहत विकसित किये गये गतिकी पूर्वानुमान का ढाँचा

हम मॉनसून की भविष्यवाणी कैसे करते हैं?

तरलयांत्रिकी और ऊष्मागतिकी के नियमों पर आधारित गतिकी अनुकार (Dynamical Models) मौसम और जलवायु की भविष्यवाणी के लिए व्यापक रूप से उपयोग में लाए जाते हैं (चित्र 1.5)। गतिकी अनुकार ऐसे अनुकार हैं जिसमें

वायूमंडल, भूमि और महासागर अन्योन्यक्रियात्मक रूप में साथ-साथ विकसित होते हैं। एक मौसमी पूर्वानुमान के लिए दीर्घकालिक स्मृति अनिवार्य रूप से महासागर से आती है। गतिकी अनुकारों के द्वारा मौसमी पूर्वानुमान जानने के लिए प्रारंभिक स्थितियों को सही तरीके से तैयार करना एक बहुत ही महत्वपूर्ण काम है। यह काम अनुकारों में डेटा आत्मसातकरण (Data Assimilation) तकनीक का उपयोग करके किया जाता है। वर्तमान में, भारत में मॉनसून का परिचालन मौसमी पूर्वानुमान (Operational Monsoon Forecast) युग्मित गतिकी अनुकारों का उपयोग करके हो रहा है। ये अनुकार पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (Ministry of Earth Sciences, MoES), भारत सरकार, के मॉनसून मिशन कार्यक्रम के तहत विकसित किए गए हैं। मॉनसून पूर्वानुमान के लिए मॉनसून मिशन कार्यक्रम के तहत विकसित किए गए गतिकी अनुकार संभवतः वर्तमान में सबसे अच्छे एवं कुशल अनुकार हैं। मौसमी पूर्वानुमान के लिए सांख्यिकीय अनुकारों का भी उपयोग किया जाता है।

भारत मौसम विज्ञान विभाग का मौसम पूर्वानुमान

भारत मौसम विज्ञान विभाग सांख्यिकीय एवं गतिकी दोनों अनुकारों के आधार पर मौसमी पूर्वानुमान देता है। पहले चरण का पूर्वानुमान मध्य अप्रैल में जारी किया जाता है तथा इसका नवीनीकरण मई के अंत में किया जाता है। वास्तव में, सांख्यिकीय अनुकार सांख्यिकीय समष्टि पूर्वानुमान अनुकार (एस ई एफ एस) होता है जिसमें निम्नलिखित प्राचलों का उपयोग किया जाता हैः

क्रम संख्या	प्रीडिक्टर	अवधि
1	उत्तर अटलांटिक एवं उत्तर प्रशांत महासागरों के बीच समुद्र-सतह तापक्रम प्रवणता	दिसम्बर + जनवरी
2	भूमध्यरेखीय दक्षिण हिंद महासागर का एस एस टी	फरवरी
3	पूर्वी एशिया का औसत समुद्र-तल दाब	फरवरी + मार्च
4	उत्तर-पश्चिम यूरोप का भू-तल वायु तापक्रम	जनवरी
5	भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर के गर्म जल का आयतन	फरवरी + मार्च

भारत मौसम विज्ञान विभाग का 2020 का मौसम पूर्वानुमान

भारत मौसम विज्ञान विभाग के वर्ष 2020 के पहले चरण के मौसम पूर्वानुमान के अनुसार इस वर्ष भारतवर्ष के क्षेत्रों पर औसत वर्षा 100% अर्थात लगभग 88 से.मी. होने की संभावना है। पूर्वानुमान त्रुटि 5% है। संभावित पूर्वानुमान की विस्तृत जानकारी वर्गावार नीचे सारणी में दिया गया है।

वर्ग	वर्षा परास (दीर्घ-अवधि औसत %)	पूर्वानुमान प्रायिकता	जलवायु संबंधी प्रायिकता
अपूर्ण	< 90	9	16
सामान्य से कम	90-96	20	17
सामान्य	96-104	41	33
सामान्य से अधिक	104-110	21	16
अतिरिक्त	110	9	17

अप्रैल के प्रारंभिक परिस्थिति पर एम एम-सी एफ एस अनुकार द्वारा पूर्वानुमान

जून से सितम्बर के बीच भारतवर्ष में अच्छी बरसात होगी। एल-नीनो अच्छा मॉनसून होने के अनुकूल है। मॉनसून मौसम के दौरान आई ओ डी ऋणात्मक होगा।

सारांश

संक्षेप में हम भारतीय मॉनसून एवं वर्तमान वर्ष में मौसम पूर्वानुमान के बारे में निम्नलिखित बातें कह सकते हैं:

1. भारतीय मॉनसून वैश्विक जलवायु प्रणाली का हिस्सा है। यह भारतीय क्षेत्रों पर आई टी सी जेड का एक तरह से बदला हुआ रूप होता है।
2. एक ही मौसम में मॉनसून गतिविधि में काफी उतार-चढ़ाव पाया जाता है। कभी मॉनसून गतिविधि सक्रिय हो जाती है तो कभी विराम की स्थिति में आ जाती है।
3. मेघ-पट्टियाँ उत्तर की ओर बढ़ती रहती हैं जो इस क्षेत्र के लिए अद्वितीय घटना है।

4. मॉनसून गतिविधि में साल दर साल उतार-चढ़ाव भी दिखाई देता है।
5. एल-नीनो (प्रशांत महासागर में) तथा हिंद महासागर भारतीय मॉनसूनी वर्षा को प्रभावित कर सकते हैं।
6. मॉनसून मिशन कार्यक्रम के तहत भारत में गतिकी पूर्वानुमान प्रणाली विकसित की गई है जो विश्व के अन्य देशों में विकसित किये गये सबसे अच्छे पूर्वानुमान प्रणालियों के तुलनीय है। भारत में इसी पूर्वानुमान प्रणाली का उपयोग करके मॉनसून पूर्वानुमान उत्पन्न किया जा रहा है।
7. अनुकारों द्वारा प्राप्त मॉनसून पूर्वानुमान के अनुसार 2020 का मॉनसून अच्छा होना चाहिए।
8. एल-नीनो की कम संभावना है, एक ऋणात्मक आई ओ डी की भी भविष्यवाणी की गयी है।

2. चक्रवातः मुख्य बातें, गतिकी और पूर्वानुमान

डॉ. मृत्युंजय महापात्र
महानिदेशक, भारत मौसम विज्ञान विभाग

उष्णकटिबंधीय चक्रवात (Tropical Cyclone, TC) उष्णकटिबंधों में एक घूर्णी निम्न-दाब प्रणाली है जिसमें अधिकतम स्थिर पवनगति (Maximum Sustained Wind, MSW) 34 नॉट्स (लगभग 62 कि.मी. प्रति घंटे या अधिक) तक पहुंच जाती है (चित्र 2.1)। इसमें हवा चक्रवात के केंद्र के चारों ओर उत्तरी गोलार्ध में घड़ी के विपरीत दिशा में तथा दक्षिणी गोलार्ध में घड़ी की दिशा में घूर्णन करती है। चक्रवात 300 से 500 कि.मी. प्रतिदिन की गति से आगे बढ़ता है। इसका क्षैतिज परास 150 से 800 कि.मी. तक होता है।

अनुकूल पर्यावरणीय परिस्थितियों में पहले से विद्यमान एक निम्न दाब का क्षेत्र पहले एक अवदाब (Depression) (अधिकतम स्थिर पवनगतिः 17 नॉट्स या उससे अधिक) के रूप में विकसित होता है जो बाद में तीव्र होकर उष्णकटिबंधीय चक्रवात (अधिकतम स्थिर पवनगतिः 34 नॉट्स या अधिक), प्रचंड उष्णकटिबंधीय चक्रवात (अधिकतम स्थिर पवनगतिः 48 नॉट्स या अधिक) या अत्यधिक प्रचंड उष्णकटिबंधीय चक्रवात (अधिकतम स्थिर पवनगतिः 64 नॉट्स या अधिक) में परिवर्तित हो जाता है। उत्तरी हिंद महासागर (North Indian Ocean, NIO) में उष्णकटिबंधीय चक्रवात का वार्षिक बारंबारता वितरण द्विबहुलक होता है जिसमें प्राथमिक शिखर नवंबर में और द्वितीयक शिखर मई में आता है। यहाँ एक वर्ष के दौरान औसतन लगभग 11 चक्रवाती विक्षोभ (CD) विकसित होते हैं, जिसमें बंगाल की खाड़ी (Bay of Bengal, BoB) में 9 और अरब सागर (Arabian Sea, AS) में 2 चक्रवात विकसित होते हैं। इनमें

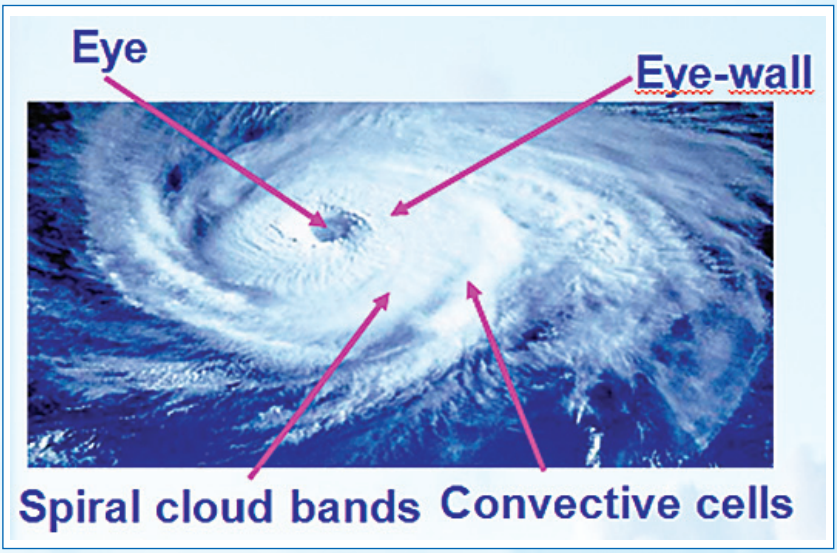
से लगभग पाँच उष्णकटिबंधीय चक्रवात (4 बंगाल की खाड़ी में और 1 अरब सागर में), 3 प्रचंड उष्णकटिबंधीय चक्रवात (2 बंगाल की खाड़ी में और 1 अरब सागर में) और 1-2 अत्यधिक प्रचंड उष्णकटिबंधीय चक्रवात के रूप में विकसित होते हैं। ये चक्रवात वैश्विक चक्रवातों की संख्या के लगभग 7 प्रतिशत हैं।

उत्तर अटलांटिक, दक्षिण प्रशांत महासागर और उत्तर-पश्चिम प्रशांत महासागर की ही भाँति, उष्णकटिबंधीय उष्ण उत्तर हिंद महासागर विनाशकारी चक्रवातों का उत्पत्ति-स्थल है। पश्चिम बंगाल, ओडिशा, आंध्र प्रदेश और तमिलनाडु के पूर्वी तटीय क्षेत्रों के निम्नस्थ इलाकों को इन अत्यधिक प्रचंड उष्णकटिबंधीय चक्रवातों की मार झेलनी पड़ती है। इसी प्रकार, भारत के पश्चिमी तटीय क्षेत्र, महाराष्ट्र, गुजरात, कर्नाटक और केरल, भी उष्णकटिबंधीय चक्रवातों से प्रभावित होते हैं। ऐतिहासिक रूप से, बंगाल की खाड़ी में TCs के कारण एक हजार से तीन सौ हजार तक मनुष्यों की मृत्यु हुई है। उष्णकटिबंधीय चक्रवातों के विषय में कुछ महत्वपूर्ण तथ्य नीचे दिए गए हैं-

- वर्ष 1970-2019 के दौरान 33% जलमौसम आपदाएं TCs के कारण हुईं।
- तीन घटनाओं में से एक घटना जिससे विश्व में अधिकांश लोगों की जानें गयी उष्णकटिबंधीय चक्रवात है।
- वर्ष 1970-2019 के दौरान विश्व में सर्वाधिक आर्थिक नुकसान करने वाली दस आपदाओं में से सात TCs हैं।
- विश्व मौसम संगठन के उन 85 सदस्यों, जो TCs से प्रभावित होते हैं, के लिए यह महत्वपूर्ण विषय है।
- TC के कारण 1970 में बांग्लादेश में 300,000 लोगों के मरने की घटना आज भी पिछले पांच दशकों की सबसे बड़ी दुर्घटना के रूप में अंकित है।
- चक्रवात की निगरानी, पूर्वानुमान और चेतावनी सेवाएं प्रचालनात्मक सेवाओं में सभी उपलब्ध आधुनिक तकनीकों के अनुप्रयोग की बात करती हैं।
- TC का क्षैतिज विस्तार 100 कि.मी. से लेकर 500 कि.मी. तक होता है। इस क्षैतिज विस्तार के केंद्र वाले क्षेत्र को अक्षि (Eye) कहते हैं (नीचे के चित्र में दर्शाया गया है)। उस क्षेत्र से बाहरी क्षेत्र (Outer region) की ओर आने पर पहले आईवॉल (Eyewall) का क्षेत्र और फिर स्पाइरल बैंड्स (Spiral Bands) का क्षेत्र पड़ता है।
- इसका ऊर्ध्वाधर विस्तार तीन अलग-अलग परतों के साथ लगभग 15-18 कि.मी. होता है, अर्थात (i) अंतर्वाह परत, (ii) मध्य परत और (iii) बहिर्वाह परत।

- **अंतर्वाह परत:** केंद्र की ओर प्रबल चक्रवाती प्रवाह और सतह से लेकर लगभग 3 कि.मी. की ऊंचाई तक विस्तार TC का व्यास अंतर्वाह परत में समान रहता है। यह कोर (Core) के समीप सममित तथा बाहर की ओर असममित होता है। प्रबलतम अंतर्वाह सतह से लेकर 1 कि.मी. की ऊंचाई तक होता है।
- **मध्य परत:** क्षीण अंतर्वाह तथा 3 कि.मी. से लेकर 7.6 कि.मी. की ऊंचाई तक विस्तार; व्यास ऊंचाई के साथ घटता जाता है।
- **बहिर्वाह परत:** यह 7.6 कि.मी. की ऊंचाई के ऊपर होती है। अधिकतम बहिर्वाह 12 कि.मी. की ऊंचाई पर होता है। प्रवाह कोर के पास चक्रवाती किंतु आगे बाहर की ओर प्रतिचक्रवाती होता है। व्यास छोटा होता है और 12 कि.मी. ऊंचाई पर लगभग 1^{o} अक्षांश देशांतर होता है।

उष्णकटिबंधीय चक्रवात के प्रभावी प्रबंधन के लिए नवीनतम तकनीक पर आधारित पूर्व चेतावनी के सभी घटकों को लगातार अद्यतन करना महत्वपूर्ण है। चक्रवात आपदाओं में कमी कई कारकों पर निर्भर करती है जिसमें खतरों का विश्लेषण, सुभेद्यता विश्लेषण और तैयारियाँ व योजना, पूर्व चेतावनी, रोकथाम और शमन शामिल हैं। दक्षिण एशियाई क्षेत्र की सामाजिक-आर्थिक स्थितियों के कारण इस क्षेत्र के लिए



चित्र 2.1: उष्णकटिबंधीय चक्रवात

- आई वॉल/वॉल क्लाउड: अक्षि के आस पास संवहनी मेघ।
- अंदर की ओर कुंडलित सघन रेनबैंड्स। उष्णकटिबंधीय चक्रवात का सबसे खतरनाक भाग।
- वॉल क्लाउड की चौड़ाई लगभग 20-100 कि.मी. होती है।
- इस क्षेत्र में अधिकतम दाब प्रवणता, अधिकतम तापमान प्रवणता, सबसे भारी वर्षा और सबसे तेज हवाएं।

- अक्षि: केंद्रीय भाग अक्षि के रूप में जाना जाता है। अक्षि का व्यास: 10 से 100 कि.मी.।
- ऊपरी स्तर से निचले स्तर की ओर वायु के उतरने से यह बनता है। इसकी विशेषता है कि इस क्षेत्र में हवा शांत रहती है, आकाश साफ होता है और दाब न्यूनतम होता है।
- जब अक्षि किसी क्षेत्र से गुजरती है तो वर्षा का अचानक ही समापन हो जाता है।
- आकार: गोलाकार या अण्डाकार, नियमित/विसरित, एकल/दोहरी अक्षि।
- अक्षि का क्षेत्र आसपास के क्षेत्रों की तुलना में गर्म होता है।

पूर्व चेतावनी एक प्रमुख घटक है। पूर्व चेतावनी घटक में, चक्रवात की निगरानी और पूर्वानुमान में कौशल, प्रभावी चेतावनी उत्पादों का उत्पादन और प्रसार, आपातकालीन उत्तरदायी संस्थाओं के साथ समन्वय और सरकारी पूर्वानुमानों और चेतावनियों की विश्वसनीयता के प्रति जन-अवधारणा शामिल है। हाल के वर्षों में चक्रवातों के कारण मानव मृत्यु में महत्वपूर्ण कमी आई है। इन वर्षों में प्रति चक्रवात 100 से भी कम लोगों की मृत्यु हुई है जबकि पहले इसी प्रकार के चक्रवातों से मानव मृत्यु हजारों में होती थी, जैसे 1999 के ओडिशा महाचक्रवात में 10,000 लोगों की मृत्यु हुई थी।

मानव जीवन की क्षति को कम करने में जो उपर्युक्त सफलता प्राप्त हुई है यह TC के लिए आधुनिक पूर्व चेतावनी प्रणाली के उपलब्ध होने के कारण है, जिसने आकस्मिक स्थितियों के दौरान चक्रवात चेतावनी की प्रासंगिकता और प्रभावशीलता को बढ़ा दिया है। उपर्युक्त उद्देश्य निम्नलिखित तरीकों द्वारा पूरा किया गया:

(i) प्रेक्षण प्रणाली का आधुनिकीकरण

(ii) चक्रवात विश्लेषण और पूर्वानुमान प्रणाली का आधुनिकीकरण

(iii) चक्रवात निगरानी और पूर्वानुमान के लिए मानक प्रचालनात्मक प्रक्रिया (SOP) का अद्यतनीकरण।

(iv) विभिन्न संख्यात्मक मौसम पूर्वानुमान (NWP) प्रतिरूपण केंद्रों और आपदा प्रबंधन संस्थाओं के साथ संस्थागत प्रक्रिया।

(v) चक्रवातों के स्थल प्रवेश पर पूर्वानुमान प्रदर्शन परियोजनाएं तैयार करना।

(vi) मूल्य वर्धित चेतावनी उत्पादों का उत्पादन, प्रस्तुति और प्रसार।

(vii) पूर्वानुमान के सत्यापन और रिपोर्ट के माध्यम से पूर्वानुमान और चेतावनी में आपदा प्रबंधकों तथा जनता के विश्वास को बढ़ाने के लिए कदम उठाना।

(viii) प्रशिक्षण के माध्यम से क्षमता में वृद्धि करना।

यहाँ, जलवायु संबंधी पहलुओं, भारत के संकट-ग्रस्त होने की अनुकूल परिस्थिति तथा उत्तर हिंद महासागर में TC के जलवायु परिवर्तन संबंधी पहलुओं पर एक समीक्षा प्रस्तुत की गई है। साथ ही, बंगाल की खाड़ी और अरब सागर क्षेत्र में चक्रवातों की निगरानी, पूर्वानुमान, इनकी भौतिक जानकारी और चेतावनी सेवाओं की भी समीक्षा की गई है जिससे ये पता चल पाएगा कि ऊपरोक्त विषयों से संबंधित जानकारी में क्या कमी है और भविष्य में इनसे संबंधित अध्ययन का विषय-क्षेत्र क्या हो सकता है।

भारत मौसम विज्ञान विभाग का चक्रवात चेतावनी संगठन

- भारत मौसम विज्ञान विभाग को देश के लिए उत्तर हिंद महासागर में TCs की निगरानी रखने और चेतावनी जारी करने की जिम्मेदारी दी गई है।
- अंतरराष्ट्रीय जिम्मेदारी:
  - भारत मौसम विज्ञान विभाग, WMO ESCAP पैनल के तहत 13 देशों (बांग्लादेश, भारत, मालदीव, म्यांमार, ओमान, पाकिस्तान, श्रीलंका, थाईलैंड, यमन, यूएई, सऊदी अरब, कतर, ईरान) को उष्णकटिबंधीय चक्रवात परामर्श देने के लिए आर. एस. एम. सी. (RSMC) के रूप में भी कार्य करता है।
  - अंतरराष्ट्रीय नागरिक उड्डयन के लिए उष्णकटिबंधीय चक्रवात परामर्श केंद्र के रूप में कार्य करता है।
  - NIO में वैश्विक समुद्री संकट सहायता प्रणाली (GMDSS) प्रदान करता है।

चक्रवात चेतावनी के चरण

- चक्रवात पूर्व निगरानी (पीला) - इसे कैबिनेट सचिव और वरिष्ठ अधिकारियों को चक्रवाती विक्षोभ के बनने, इसके उष्णकटिबंधीय चक्रवात में परिवर्तित होने की क्षमता और तटीय इलाकों के प्रभावित होने का संकेत देते हुए जारी किया जाता है।

- चक्रवात अलर्ट (नारंगी) - अपेक्षित प्रतिकूल मौसम की स्थिति का संकेत देते हुए इसे कम से कम 48 घंटे पहले जारी किया जाता है।
- चक्रवात चेतावनी (लाल) - उष्णकटिबंधीय चक्रवात का नवीनतम स्थान, तीव्रता, स्थल प्रवेश का समय और स्थान, तूफान महोर्मि (Storm Surge) की ऊंचाई, अपेक्षित नुकसान के प्रकार और कार्रवाई के सुझाव बताते हुए इसे कम से कम 24 घंटे पहले जारी किया जाता है।
- स्थल प्रवेश के बाद का दृष्टिकोण- इसे तट से टकराने से लगभग 12 घंटे पूर्व और चक्रवाती प्रबल हवा के बने रहने तक जारी किया जाता है; तटीय क्षेत्रों के अलावा अंदरूनी जिलों के जिलाधिकारियों को भी सूचित किया जाता है।
- अंत में एक 'डी-वार्निंग' जारी की जाती है जब उष्णकटिबंधीय चक्रवात निम्नदाब के रूप में कमजोर पड़ जाता है।

TC पूर्वानुमान

चक्रवात पूर्वानुमान के लिए भारत मौसम विज्ञान विभाग निम्नलिखित उपकरणों का उपयोग करता है:

सांख्यिकीय तकनीक - एनालॉग, जड़ता, जलवायु विज्ञान

सिनॉप्टिक तकनीक

प्रयोगसिद्ध तकनीक

उपग्रह तकनीक

रडार तकनीक

NWP मॉडल

- विशिष्ट मॉडल (वैश्विक और क्षेत्रीय)
- IMD GFS (T1534), NCUM, ARP (Meteo France), ECMWF, JMA, UKMO, NCEP, WRF (IMD), HWRF (IMD)- POM, UM-R
- उष्णकटिबंधीय चक्रवात मॉड्यूल (TCM) पर आधारित MME (IMD) और MME
- EPS (टकराने की संभावना, स्थान विशिष्ट संभावना)

भारत मौसम विज्ञान विभाग TCs के खतरे की सूचना को इसके प्रभाव परिदृश्य के रूप में आकलन कर इसका पूर्वानुमान दे रहा है।

चेतावनी प्रसार तंत्र में प्रगति

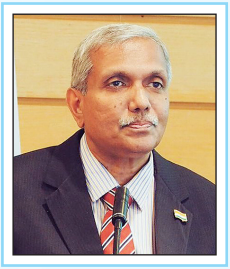
भारत मौसम विज्ञान विभाग चेतावनी प्रसार के लिए निम्नलिखित उपकरणों का उपयोग करता है।

- भारत मौसम विज्ञान विभाग के सघन मौसम नेटवर्क, कृषि मौसम नेटवर्क, भारतीय राष्ट्रीय समुद्री सूचना केंद्र (INCOIS) नेटवर्क के माध्यम से टेलीफोन, टेली-फैक्स, मोबाइल फ़ोन (एस.एम.एस.)।
- वी.एच.एफ. / एच.एफ.आर.टी. / पुलिस वायरलेस
- उपग्रह आधारित चक्रवात चेतावनी प्रसार प्रणाली
- वैमानिकी (Aeronautical) स्थिर दूरसंचार नेटवर्क
- वैश्विक दूरसंचार प्रणाली (GTS)
- वेबसाइट, चक्रवात के लिए समर्पित वेबसाइट (rsmcnewdelhi.imd.gov.in)
- रेडियो टीवी, समाचार पत्र नेटवर्क (ए.एम., एफ.एम., सामुदायिक रेडियो, प्राइवेट टी.वी.): प्रसार भारती और निजी प्रसारणकर्ता
- NAVTEX, इंटरनेट (ई-मेल), ftp
- GAMES और NAVIC

चेतावनी प्रसार तंत्र की कमियाँ और आगे की योजना

- अभी भी उपलब्ध प्रौद्योगिकी और इसके उपयोग करने की क्षमता में अंतर है।
- बेहतर पूर्वानुमान के लिए आवश्यक वैज्ञानिक जानकारी की कमी है जिसमें निम्नलिखित शामिल हैं-
- चक्रवातों की विस्तृत संरचना और गतिकी
- चक्रवात, महासागर और आसपास के पर्यावरण के बीच अन्योन्यक्रिया
- बादलों में आंतरिक, भौतिक और गतिकी प्रक्रियाएं।
- उच्च स्थानिक विभेदन के साथ पूर्वानुमान के लिए प्रेक्षणात्मक और प्रतिरूपण प्रणालियों में अंतर
- पूर्वानुमान कौशल में सुधार की अभी भी गुंजाइश है।
- अंतिम छोर (तट और समुद्र में) तक सबसे भेद्य समूहों के लिए चेतावनी प्रसार को और अधिक सुधारा जा सकता है।
- उपर्युक्त सभी कार्यों के लिए पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय अपनी योजना और रणनीति को लगातार उन्नत कर रहा है।
- पिछले चक्रवातों से ली गई शिक्षा का उपयोग भविष्य के लिए किया जाएगा।

3. महासागर–आदान–प्रदान (छात्रों और सामान्य श्रोताओं के लिए सामान्य महासागरीय जागरुकता)



डॉ. एम. ए. आत्मानंद
निदेशक, राष्ट्रीय समुद्र प्रौद्योगिकी संस्थान

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे के पृथ्वी प्रणाली विज्ञान में कुशल जन-शक्ति विकास (Development of Skilled Manpower in Earth System Sciences, DESK) परियोजना द्वारा आयोजित पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय वेबिनार श्रृंखला के एक भाग के रूप में, राष्ट्रीय समुद्र प्रौद्योगिकी संस्थान (रा.स.प्रौ.सं.) के निदेशक, डॉ. एम.ए. आत्मानंद ने 8 मई, 2020 शुक्रवार, को महासागर- आदान-प्रदान (छात्रों और सामान्य श्रोताओं के लिए सामान्य महासागरीय जागरूकता) विषय पर एक वार्ता प्रस्तुत की। डॉ. एम.ए. आत्मानंद ने भारत में गहरे समुद्र प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में अग्रणी अनुसंधान कार्य किया है। उन्होंने महासागर के ऊपर प्रेक्षण और अन्तर्जलीय प्रणाली से समबंधित कई स्वदेशी परियोजनाओं जैसे, अन्तर्जलीय वाहन का विकास, नए महासागर अवलोकन प्रणाली का विकास और कई अन्य, का निर्देशन किया है।

उन्होनें अपनी वार्ता एक ऐसे दृष्टिकोण से आरम्भ की जिसमें वे महासागर को एक दाता और ग्रहीता के रूप में देखते हैं (चित्र 3.1)। उन्होंने महासागर की तुलना माँ से की। हम सब जानते हैं कि एक माँ अपने बच्चे के इस दुनिया में आने से पहले ही उसके लिए सभी आवश्यक सामग्री इकट्ठा कर लेती है और अपने सम्पूर्ण जीवन काल तक निरंतर देखभाल करते हुए उसका सहारा बनी रहती

चित्र 3.1: भूमिक्षेत्र तथा जलक्षेत्र दर्शाता हुआ वैश्विक मानचित्र

है। जैसे एक माँ अपने बच्चे की सभी जरूरी आवश्यकताओं को पूरा करती है, ठीक उसी प्रकार महासागर भी हमें वे सभी आवश्यक सहायता प्रदान करते हैं जो हमें इस ग्रह पर स्वस्थ जीवन जीने के लिए चाहिए। महासागर हमें सांस लेने के लिए ऑक्सीजन, आनंद लेने के लिए सुन्दर समुद्र तट तथा लाभकारी उपयोग के लिए विभिन्न रूपों में ऊर्जा प्रदान करते हैं और बदले में ये हमसे कार्बन डाइऑक्साइड और प्रदूषक लेते हैं। अर्थात, हम महासागर को ऐसी वस्तुएं लौटाते हैं जो हमारे लिए तो हानिकारक हैं ही, समुद्र के लिए भी ठीक नहीं हैं। फिर भी, वह इन्हें स्वीकार करता है, पर अनिच्छा से।

अपनी वार्ता के दौरान, उन्होंने महासागर से संबंधित भूगोल के विभिन्न पारिभाषिक शब्दों का वर्णन किया। उन्होंने एक देश के समुद्र तट के लिए कुछ क्षेत्राधिकार क्षेत्रों के बारे में भी बताया जैसे- प्रादेशिक सागर (Territorial Sea, TS), विशिष्ट आर्थिक क्षेत्र (Exclusive Economic Zone, EEZ), महाद्वीपीय जलसीमा (Continental Shelf, CS) आदि। प्रादेशिक समुद्र तटीय राज्य की आधार रेखा से 12 समुद्री मील की सीमा तक फैला हुआ होता है (1 नॉटिकल मील = 1.852 कि.मी. या 1.1508 मील)। पृथ्वी पर स्थान को दर्शाने अथवा

दूरी मापने के लिए काल्पनिक अक्षांश और देशांतर रेखाओं का उपयोग किया जाता है जिन्हें डिग्री, मिनट और सेकेंड के रूप में व्यक्त किया जाता है। किसी भी देश के समुद्री तट से अक्षांश के एक मिनट की दूरी को एक नॉटिकल मील कहा जाता है और अक्षांश का एक डिग्री आम तौर पर 60 नॉटिकल मील होता है। विशेष आर्थिक क्षेत्र समुद्र तट से 200 नॉटिकल मील की दूरी तक का क्षेत्र होता है और इस क्षेत्र में उपलब्ध संसाधनों का दोहन संबंधित देश द्वारा किया जा सकता है। भारत में लगभग 137 मिलियन वर्ग किलोमीटर का विशेष आर्थिक क्षेत्र (EEZ) है। यह हर देश के लिए अलग-अलग होता है। फ्रांस में इसका क्षेत्रफल सबसे अधिक है। समुद्र तट से समुद्र की ओर 310 मील की दूरी तक के क्षेत्र को महाद्वीपीय जलसीमा समझा जाता है। महाद्वीपीय जलसीमा महाद्वीप का एक हिस्सा होता है जो कि अपेक्षाकृत उथले पानी के एक क्षेत्र के नीचे डूबा हुआ होता है जिसे एक शेल्फ सी (Shelf Sea) के रूप में भी जाना जाता है।

आगे उन्होंने महासागर के महत्व का उल्लेख किया, जिसमें निम्नलिखित बिंदु शामिल हैं:-

- सम्पूर्ण विश्व के ऑक्सीजन का 50% से अधिक भाग हमें महासागर से प्राप्त होता है।
- यह वायुमंडल की तुलना में 50 गुना अधिक कार्बन डाइऑक्साइड संग्रहीत करता है।
- यह वैश्विक व्यापार के लिए जहाजों के उपयोग हेतु योगदान देता है।
- यह भूमध्य रेखा से ध्रुवों तक ऊष्मा पहुंचाता है एवं मौसम और जलवायु को नियंत्रित करता है।
- महासागरीय अर्थव्यवस्था वाणिज्य, पर्यटन, खनिज, फार्मा और रसायन आदि जैसी वस्तुओं और सेवाओं के द्वारा यूएस $ 2.5 ट्रिलियन का उत्पादन करती है।
- इन सभी को एक साथ नीली अर्थव्यवस्था के रूप में जाना जाता है। (यानि, जो कुछ भी हमें महासागर से प्राप्त होता है वह ब्लू इकोनॉमी अर्थात नीली अर्थव्यवस्था के अंतर्गत आता है।)

उन्होंने महासागर में पाई जाने वाली गैर-नवीकरणीय ऊर्जा, नवीकरणीय महासागर ऊर्जा, खनिज, भोजन (मत्स्य), शुद्ध जल आदि जैसी भारतीय संसाधन क्षमताओं का भी उल्लेख किया।

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (एम.ओ.ई.एस.) और गैर-नवीकरणीय ऊर्जा मंत्रालय (एम.एन.आर.ई.) के तहत राष्ट्रीय पवन ऊर्जा मिशन का लक्ष्य 2025 तक 50 गीगावॉट और 2047 तक 200 गीगावॉट उत्पादन क्षमता प्राप्त करना है। इस कार्यक्रम के तहत, रडार का उपयोग करके हवा की क्षमता को मापना आवश्यक है, यहां रडार प्रकाश का उपयोग करके समुद्र तल से 20 मीटर तक के उन्नयन को माप सकता है। हम वर्तमान में इन्हीं प्राचलों को माप रहे हैं। एक बार यदि मापने का काम पूरा हो गया तो एम.एन.आर.ई. अपतटीय पवन प्लेटफार्मों को स्थापित करने के लिए इसे एक बैंक-ग्राह्य दस्तावेज़ के रूप में बेच सकेगा। आगे उन्होंने एक सरल रेखाचित्र की सहायता से महासागरीय ताप-ऊर्जा रूपांतरण और विद्युत् उत्पादन के बारे में बताया। उन्होंने एक मॉडल की सहायता से दोलन जल कॉलम (Oscillating Water Column) तरंग-ऊर्जा यंत्र (Wave Energy Device) के सिद्धांत को समझाया। उन्होंने अंडमान अपतटीय क्षेत्र में राष्ट्रीय समुद्र प्रौद्योगिकी संस्थान द्वारा समुद्री धारा जनित्र (Marine Current Generator) के सफल संस्थापन के बारे में उल्लेख किया। उन्होंने प्राकृतिक गैस हाइड्रेट्स की वैश्विक उपस्थिति और वितरण, समुद्र विलवणीकरण, महासागरीय जैव-पूर्वेक्षण- फार्मा और रसायन का महत्व आदि जैसे विभिन्न महत्वपूर्ण पहलुओं के बारे में बताया।

उन्होंने अंग्रेजी के टेक (Take) शब्द के बारे में वर्णन करते हुए कहा कि - 'महासागर रो रहा है'। सागर मानव से वास्तव में जो वापस ले रहा है वह बेहद दुखद है। मानव महासागर को प्रदूषण दे रहा है- 80% प्रदूषण पृथ्वी के थल भाग में होने वाली गतिविधियों से आता है, और सबसे खराब बात यह है कि सालाना 8 मिलियन टन प्लास्टिक अपशिष्ट महासागर में आ रहा है जो वन्यजीव, मत्स्य पालन और पर्यटन के लिए खतरा पैदा करता है। हम प्रदूषित समुद्र से आने वाले समुद्री खाद्य का सेवन करते हैं और यह हमारे लिए कैंसर का कारण बनता है। तात्पर्य यह है कि यह परोक्ष रूप से इंसानों को भी नुकसान पहुंचा रहा है। वैश्विक तापन के कारण पृथ्वी के थल भाग के साथ समुद्र भी गर्म हो रहा है, साथ ही इसके जल की अम्लता भी बढ़ रही है। यह परिस्थिति मूँगा के लिए खतरा पैदा कर सकती है। समुद्र पर वायु दाब बढ़ रहा है और यह समुद्र को नुकसान पहुंचाता है। इस बढ़ते वायु दाब के निम्नलिखित कारण हैं:-

- लगभग 30% मछली स्टॉक अति-शोषित हैं और 60% पूरी तरह से शोषित हैं।
- सम्पूर्ण पर्यटन का 80% से अधिक भाग सागर पर आधारित है।
- दुनिया के 50% मूँगे और 35% समुद्री घास विलुप्त हो चुके हैं।
- हिंद महासागर में उच्चतम वृद्धि के साथ पिछले 2 दशकों में जहाज यातायात में 3 गुना वृद्धि हुई है।
- वर्ष 2100 तक समुद्री तापमान में 3 से 5 डिग्री सेल्सियस तक की वृद्धि संभावित है।

रा.स.प्रौ.सं. समुद्र तट पर रेत पोषण, समुद्र तट का पुनरुद्धार, आदि जैसी विभिन्न गतिविधियां कर रहा है और अपने महासागर से प्रदूषण को कम करने के लिए हमारा संस्थान गहरी समुद्र प्रौद्योगिकी, समुद्र ध्वनिकी, बरिड ऑब्जेक्ट सेंसिक सोनार आदि जैसी विभिन्न प्रौद्योगिकियों पर कार्य कर रहा है।

महासागर को हम सभी के लिए एक बेहतर स्थान बनाने की दृष्टि से संयुक्त राष्ट्र ने वर्ष 2021-2030 के दशक को सतत विकास के लिए महासागर विज्ञान के रूप में निर्धारित किया है, जिसमें सभी मुद्दों को सतत विकास हेतु दशक के सिक्स मिशन के रूप में देखा जाएगा।

उन्होंने एक कहावत के साथ अपनी वार्ता समाप्त की-

आप महासागर की देखभाल करें और महासागर आपकी देखभाल करेगा।

4. भारतीय आर्कटिक कार्यक्रम

डॉ. एम. रविचंद्रन
निदेशक, राष्ट्रीय ध्रुवीय एवं समुद्र अनुसंधान केंद्र, गोवा

त्रिध्रुव की परिकल्पना

आमतौर पर हम जानते हैं कि पृथ्वी पर दो ध्रुव होते हैं - उत्तर एवं दक्षिण ध्रुव। हिमांकमण्डलीय अध्ययनों की दृष्टि से हिमालय को तीसरा ध्रुव माना जाता है, क्योंकि यहां पर दोनों ध्रुवों आर्कटिक एवं अंटार्कटिक की तरह ही हिमाच्छादन पाया जाता है। यह पाया गया है कि वैश्विक तापन के कारण इन ध्रुवों के तापमान दूसरे स्थानों की तुलना में कहीं अधिक तेज़ी से बढ़ते हैं और वे पूरे ग्रह की जलवायु को प्रभावित करते हैं। इन क्षेत्रों में विश्व का सर्वाधिक हिम और बर्फ संचयित है। अतः ध्रुवीय क्षेत्रों का अध्ययन पुरातनकालीन परिस्थितियों के रहस्योद्घाटन, वर्तमान को बेहतर समझने और भविष्य का पूर्वानुमान लगाने के लिए महत्वपूर्ण है।

आर्कटिक की विशिष्टताएं

आर्कटिक पूरे उत्तरी गोलार्ध के मौसम और जलवायु को प्रभावित करता है, और शीतल उत्तरी क्षेत्र शेष ग्रह की जलवायु को नियंत्रित करने में सहायता करता है। आर्कटिक में भूभाग से घिरे महासागर हैं, जिसमें समुद्रीबर्फ तैरती रहती है (चित्र 4.1)। यहां हिमचादर से आच्छादित ग्रीनलैंड है, जिसके पिघलने पर समुद्र का स्तर 7 मीटर बढ़ सकता है। इसकी अन्य विशेषताओं में पराशीत परिस्थितियों में हरित गृह गैसों जैसे कार्बनडाइऑक्साइड और मीथेन गैसों का स्राव, समृद्ध जैव विविधता, ध्रुवीय भालू, वालरस, देशज समूह, तीव्रता से परिवर्तित होने वाले क्षेत्र आदि शामिल हैं।

चित्र 4.1: आर्कटिक क्षेत्र

आर्कटिक की प्रशासनिक व्यवस्था

आर्कटिक गतिविधियों के संचालन के लिए आर्कटिक परिषद (Arctic Council) एक अग्रणी अंतर-सरकारी मंच है जो आर्कटिक में साथ मिलकर काम करने को बढ़ावा देता है। इसमें सदस्यों का कानूनी आबद्ध दायित्व नहीं है। इसके अंतर्गत 8 देश सदस्यों के रूप में, 6 स्थायी प्रतिभागी के रूप में, 13 पर्यवेक्षक के रूप में तथा 25 सरकारी और गैर सरकारी संगठन पर्यवेक्षकों के रूप में कार्य करते हैं। कुल 6 कार्यात्मक समूहों में पर्यवेक्षण, आंकड़ा और सूचना, आकलन, नीति, सर्वोत्तम क्रियान्वयन तथा अंतर्राष्ट्रीय सहयोग सम्मिलित हैं। भारत को आर्कटिक परिषद में 2013 से ही एक पर्यवेक्षक का दर्जा मिला हुआ है आर्कटिक परिषद का वर्तमान अध्यक्ष आइसलेंड है। वर्तमान में इसके प्राथमिक संबद्ध क्षेत्र प्रदूषण (माइक्रोप्लास्टिक) और सतत मछली पकड़ना है। साथ ही एक अंतर्राष्ट्रीय आर्कटिक विज्ञान समिति भी कार्य करती है।

आर्कटिक तापन तथा पिघलाव से हो रहे परिवर्तन और प्रभावित क्षेत्र

जलवायु: वैश्विक संसर्ग के रुप में आर्कटिक में जलवायु परिवर्तन का संबंध दुनिया के अन्य हिस्सों से है।

उद्योग: यहां शिपिंग, तेल गैस, खनिज, मत्स्यिकी, पर्यटन उद्योगों पर प्रभाव।
अर्थव्यवस्था: आर्कटिक परिवर्तन का यहां की अर्थव्यवस्था पर गहरा प्रभाव
देशज समुदाय: पारम्परिक जीवनशैली का ह्रास
तटीय परिवर्तन: बढ़ी हुई तरंग ऊर्जा के कारण तटीय क्षरण
पर्यावरणीय दबाव: आवासों प्रजातियों का ह्रास, महासागरीय अम्लीकरण में वृद्धि, महासागरीय गुणों में बदलाव

आर्कटिक बर्फ अवनति: आर्थिक प्रभाव

आर्कटिक अवनति के कारण पड़ने वाले प्रभाव निम्न प्रकार हैं-

(1) निर्जीव संसाधन: अपतटीय अन्वेषण और निष्कर्षण से 13% तेल, 30% प्राकृतिक गैस, तथा 20% प्राकृतिक गैस तरल पदार्थ का लाभ होगा। तरंग स्थिति सशक्त होगी, उत्छेदन, परतरलीकरण, पाइपलाइन स्थानांतरण, ईंधन भंडारण भी प्रभावित होंगे।

(2) शिपिंग: नए नौगम्य मार्ग (एनडब्ल्यू मार्ग और एनएसआर) खोलने से अटलांटिक और प्रशांत महासागरों के बीच संयोजन में सुधार होगा। शिपिंग मूल्य में कटौती, उद्योग (मत्स्य पालन, खनन और संसाधन निष्कर्षण) से लाभान्वित होंगे। समुद्री पारिस्थितिकी तंत्र का क्षरण अधिक यातायात और तेल रिसाव से हो सकता है।

(3) खनिज पदार्थ: निकल, तांबा, प्लेटिनम, हीरे, सोना, सीसा, जस्ता जैसे खनिज पदार्थ मिल सकते हैं। परामृदा विगलन और अपरदन से उद्योग जगत में चुनौतियां बढ़ने और लागत में वृद्धि की संभावना है।

(4) समुद्री मत्स्यपालन: वैश्विक मत्स्यपकड़ का 10%, गर्म जल भण्डार उत्पादकता (कुछ प्रजातियों) को बढ़ाएगा, पोषक तत्वों की स्थिति में बदलाव के कारण, कुछ आगे उत्तर की ओर पलायन करेंगे, मध्य अक्षांश की प्रजातियाँ आर्कटिक की ओर बढ़ेंगी, प्रवासन और भण्डारण अवनति से मत्स्य पकड़ स्थलों में लगातार बदलाव होगा।

(5) पर्यटन: बंदरगाहों तक पहुंच और दीर्घावधि तक मौसमों में सुधार होगा। इसी तरह आर्कटिक वन्यजीव, परिदृश्य और पारिस्थितिकी तंत्र बाधित होंगे।

आर्कटिक बर्फ अवनति: सामाजिक और राजनीतिक प्रभाव

परिध्रुवीय समाजों पर गहरा प्रभाव पड़ रहा है, जिससे स्थानीय अर्थव्यवस्थाओं का ढांचा बदल रहा है। परिवहन के पारंपरिक साधनों में बाधाएं आई हैं। साथ ही

स्थानीय समुदायों के आहार और व्यवहार की पहचान बदल रही है। प्राकृतिक संसाधनों तक पहुंच बढ़ने से आर्कटिक शासन को नई चुनौतियों का सामना करना पड़ा है। यह परिवर्तन सीमा-पार है और कोई वैश्विक शक्ति अकेले इसका सामना करने में सक्षम नहीं होगी। आर्कटिक देशों को गैर-आर्कटिक देशों और गैर-राष्ट्रीय सक्रिय कार्यकर्ताओं से जोड़ने की आवश्यकता है। विज्ञान और नीति के बीच संबंध सुधार सहयोग के लिए एक अंतरराष्ट्रीय प्रयास की आवश्यकता है, विशेष रूप से तेल रिसाव प्रदूषण रोकथाम, शिपिंग विनियमन और मत्स्य प्रबंधन में इसकी अधिक जरुरत होगी।

आर्कटिक मार्ग

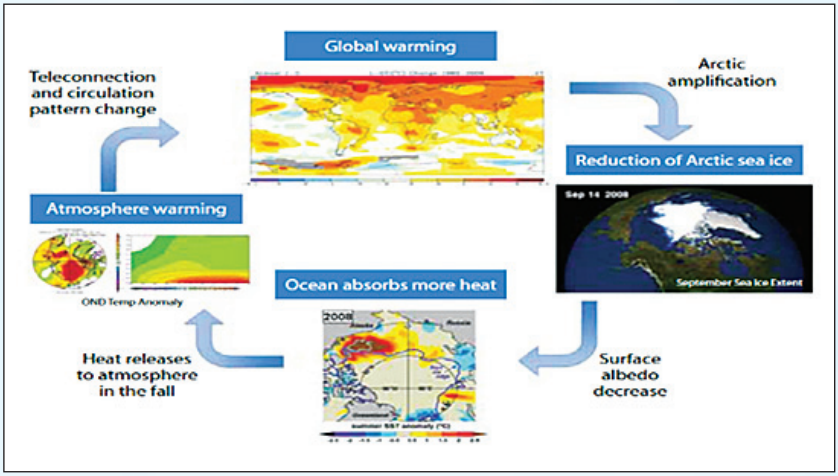
वर्तमान में आर्कटिक से दो मुख्य मार्गों पर ध्यान केंद्रित किया गया है, पहला रूस के उत्तरी तट के साथ मुख्य रूप से यूरोप और एशिया के बीच यात्रा के लिए, और दूसरा कनाडाई द्वीपसमूह के माध्यम से यूएस पूर्वी तट से एशिया के लिए एक मार्ग शामिल हैं। इनसे निम्नलिखित लाभ और हानि हो सकते हैं-

लाभः कम दूरी, अधिक यात्राएं, ईंधन की बचत, क्षेत्रीय कार्यकर्ताओं के लिए विकास के अवसर, पोर्ट और हिंटरलैंड कनेक्शन - बुनियादी ढांचा विकास, कम CO_2 उत्सर्जन, समुद्री डकैती से सुरक्षा।

हानिः बर्फ टुकड़े, ध्रुवीय रात्रि, अतिशीत, अपर्याप्त समुद्री चार्ट के कारण कठोर शिपिंग परिस्थितियां होने से हिम भंजक जलयानों की आवश्यकता होगी। बुनियादी सुविधाओं का अभाव, सीमित संचार और उच्च शिपिंग बीमा लागत, जहाजों से रिसकर फैल गए तरल पदार्थों की सफाई आदि की आवश्यकता होगी।

आर्कटिक तापन के प्रमाण और प्रभाव

आर्कटिक में वायु तापमान (सतही और ऊपरी) में वृद्धि, ग्रीष्मकालीन समुद्र बर्फ विस्तार में नाटकीय कमी, बहुवर्षीय समुद्री बर्फ का ह्रास (औसत मोटाई में कमी), ऊपरी महासागरीय अलवणीय जल मात्रा में वृद्धि, महासागरीय ऊष्माधारिता, अटलांटिक और प्रशांत प्रवाह, सौर तापन में वृद्धि से महासागर अम्लीकरण में प्रवर्धन और पारिस्थितिकी तंत्र में बदलाव हो रहे हैं (चित्र 4.2)। ग्रीनलैंड बर्फ चादर में त्वरित पिघलाव और पराशीत में तापन के कारण आर्कटिक पारिस्थितिकी तंत्र और वहां के निवासियों पर बड़ा प्रभाव पड़ रहा है। भौतिकीय प्रक्रियाओं के संतुलन में बदलाव, सशक्त प्रतिक्रियाएं, निम्न अक्षांश जलवायु और मौसम पर प्रभाव भी देखे जा सकते हैं।



चित्र 4.2: आर्कटिक तापन के प्रमाण और प्रभाव

आर्कटिक प्रवर्धन: महासागरीय गत्यात्मकता

समुद्री हिमाच्छादन तक पहुंचने वाले उप-सतही गर्म जल की ऊष्मा की मात्रा वैश्विक तापन के तहत बढ़ जाएगी जिससे आर्कटिक क्षेत्र में तापन की दर भी बढ़ेगी।

एमजेओ तथा आर्कटिक प्रवर्धन

1979 से 2008 के दौरान आर्कटिक प्रवर्धन उष्णकटिबंध में आईएसओ के प्राथमिक मोड एमजेओ से संबंधित है। उष्णकटिबंधीय प्रशांत क्षेत्र में एमजेओ ऊष्मन आर्कटिक तापन के बाद होता है, जबकि हिंद महासागर में एमजेओ ऊष्मन आर्कटिक शीतलन के बाद होता है। एमजेओ-प्रेरित एसएटी प्रवृत्ति कुल उच्च अक्षांश एसएटी प्रवृत्ति का 10 से 20 प्रतिशत दर्शाती है।

आर्कटिक प्रवर्धन:

तापमान- एल्बिडो प्रतिक्रिया, तापमान-मेघ विकिरण, महासागरीय गत्यात्मकता - ऊर्ध्वाधर अपवाहन, ऊष्णकटिबंधों से ऊष्मा और आर्द्रता, वायुविलय सांद्रता परिवर्तन तथा हिम पर काले कार्बन का जमाव से आर्कटिक प्रवर्धन हो रहा है।

भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा पर आर्कटिक दोलन का प्रभाव

आर्कटिक दोलन और भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा एक दूसरे के साथ सीधा संबंध दिखाते हैं। सर्दियों के दौरान आर्कटिक दोलन अप्रत्यक्ष रूप से भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा से संबंधित होता है। आर्कटिक के ऊपर पूर्व-मॉनसून के

दौरान संचरण प्राचल भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा के उत्तम पूर्वानुमानक हो सकते हैं। मई से अक्तूबर तक ऋणात्मक आर्कटिक दोलन ठंडी आर्कटिक हवा को दक्षिण की ओर प्रवेश करने की अनुमति देता है, जो यूरेशिया को ठंडा करता है और यूरेशियाई हिमाच्छादन को बढ़ाता है, वहीं भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा को कम करता है।

समुद्री बर्फ विस्तार और भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा का अंतर-वार्षिक विविधता उत्तरी शरद ऋतु में ग्रीनलैंड समुद्र बर्फ क्षेत्र और इसके बाद भारत में गर्मियों में मॉनसून की वर्षा के साथ इसका संबंध है।

आर्कटिक – मॉनसून संबंध

पुराजलवायुवीय अध्ययन आर्कटिक उत्तरी अटलांटिक जलवायु और भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून के बीच भी संबंध दर्शाता है। विशेष रूप से, ग्रीनलैंड के हिमकोर अभिलेखों और उत्तरी अटलांटिक अवसादों में दर्ज अकस्मात् जलवायु परिवर्तनों (डांसगार्ड-ऑस्चार्गर घटनाएं और हेनरिक घटनाएं) की पहचान उष्णकटिबंधीय पुरामॉनसून अभिलेखों में की गई है।

जलवायु विक्षेप : आर्कटिक समुद्र बर्फ विस्तार

आर्कटिक जलवायु का प्रतिनिधित्व करने में पृथ्वी प्रणाली मॉडल अच्छा साबित हो सकता है। आर्कटिक महासागर वर्ष 2050 से पहले, व्यावहारिक रूप से पहली बार सितंबर में समुद्र-बर्फ मुक्त (समुद्र-बर्फ क्षेत्र $<1 \times 10^6$ कि.मी.^{2}) बना। आर्कटिक जलवायु प्रणाली में कई प्रक्रियाएं केवल जलवायु मॉडलों में लगभग प्रतिनिधित्व करती हैं। आर्कटिक में प्रमुख जलवायु प्रक्रियाओं को समझने में अवलोकनों का अभाव आड़े आता है।

अद्यतन स्थिति

वर्तमान स्थिति दर्शाती है कि ग्रह के अन्य भागों की तुलना में आर्कटिक तेजी से गर्म हो रहा है तथा समुद्र-बर्फ और भूमि बर्फ कम हो रही है। आर्कटिक प्रवर्धन का कारण कटिबंधों से ध्रुवों तक का संयोजन हो सकता है। आर्कटिक दोलन ध्रुवों से उष्णकटिबंधों तक मॉनसून को प्रभावित करता है। लघु अवधिक मानकों पर, वायुमंडलीय संयोजन होता है, हालांकि, दीर्घावधिक मानकों पर आर्कटिक समुद्र के स्तर और थर्मोहेलाईन परिसंचरण में योगदान देता है। अतः विभिन्न समय मानकों पर आर्कटिक और उष्णकटिबंधों के मध्य भौतिक संबंधों (अवलोकनों और मॉडलिंग) को समझना अनिवार्य है। इसके लिए गहन आर्कटिक अनुसंधान की आवश्यकता है।

भारतीय आर्कटिक कार्यक्रम

आर्कटिक विज्ञान में भारत की प्रगति : भारतीय आर्कटिक कार्यक्रम की शुरुआत 2007 में हुई और भारतीय अनुसंधान आधार हिमाद्री 2008 में राष्ट्र को समर्पित किया गया (चित्र 4.3)। भारत का पहला बहु-संवेदी ध्रुवीय नौबंध इंडआर्क 2014 में आप्लावित किया गया। भारत की वातावरणीय प्रयोगशाला ग्रुवेबाडेट 2016 से प्रचालमान है।

अनुसंधान के महत्वपूर्ण क्षेत्र: भारत निम्नलिखित क्षेत्रों में आर्कटिक में शोधकार्य कर रहा है- (i) आर्कटिक फ्जोर्डों के भौतिकीय, जीववैज्ञानिक, रासायनिक और जैव-भूरासायनिक पहलुओं का दीर्घकालिक पर्यवेक्षण। (ii) आर्कटिक पारिस्थितिकी तंत्र में जीवाणु समुदाय की गतिशीलता (iii) वायुविलय, ब्लैक कार्बन और प्रदूषकों का अध्ययन (iv) आर्कटिक ग्लेशियरों के द्रव्यमान संतुलन अध्ययन (v) परिवेशी ध्वनिक शोर (vi) पराशीत मृदा की गिरावट का पर्येवेक्षण

आर्कटिक विज्ञान: अभी तक 200 से अधिक भारतीय शोधकर्ता हिमाद्री स्टेशन में शोध कर चुके हैं। स्टेशन प्रति वर्ष 180 से अधिक दिनों के लिए संचालित होता है। आर्कटिक पर 100 से अधिक प्रकाशन हो चुके हैं।

आर्कटिक पर्यावरणीय अध्ययन: भारत आर्कटिक क्षेत्र में विभिन्न पर्यावरणीय अध्ययन कर रहा है, जो निम्नानुसार हैं-

चित्र 4.3: भारतीय आर्कटिक स्टेशन, हिमाद्रि

(i) आर्कटिक फ्जोर्ड तलछटों से कार्बनिक पदार्थ निरुपण- ह्यूमस पदार्थ और धातु बंधन में उनकी भूमिका (ii) फ्जोर्ड पारिस्थितिकतंत्र, नी अलसण्ड का दीर्घावधिक पर्यावरणीय पर्यवेक्षण (iii) अपघटित हो रही पराशीत मृदा का अध्ययन - वायुविलय, हरितगृह गैसें और जमाव-पिघलाव गत्यात्मकता (iv) स्वालबार्ड में ग्लेशियर-नदी-महासागर भूरासायनिक संयोजन: उच्च अक्षांश आर्कटिक में ग्लेशियर बनाम पराशीत मृदा प्रलयकारक दृष्टिकोण (v) ध्रुवीय वायुविलय के गुणधर्म: स्रोत प्रक्रियण और जलवायु प्रभाव।

भावी लक्ष्य

शोध के विषय: निकट भविष्य में ध्रुवीय क्षेत्रों और उष्णकटिबंधों के बीच सुदूरसंयोजन, वायु-समुद्र-बर्फ विनिमय, बर्फ और तलछट कोर द्वारा पुराजलवायु की पुनर्संरचना, जैव विविधता तथा पराशीत मृदा के अपघटन की गत्यात्मकता को गहराई से समझना।

प्रेक्षण और मॉडलिंग: जलवायु विसंगतियों का पता लगाना। ध्रुवीय जलवायु और उष्णकटिबंधीय (मॉनसून) की पुरापरिवर्तनशीलता के अन्वेषण हेतु प्रतिनिधि आंकड़े एकत्र करना। मॉडलिंग प्रक्रिया से विभिन्न समय मानकों पर समुद्र-बर्फ मॉडलिंग संवेदनशील अध्ययन और समुद्री-बर्फ परिवर्तनों के पूर्वानुमान लगाना।

आर्कटिक परिषद में भागीदारी: आर्कटिक परिषद और उसके कार्यात्मक समूहों के कार्यों में सहयोग देना।

सारांश

संक्षेप में यह कहा जा सकता है कि आर्कटिक अन्य स्थानों की तुलना में बहुत तेजी से गर्म हो रहा है। आर्कटिक प्रवर्धन के कारण प्रतिक्रिया प्रक्रियाएं होने से समुद्र-बर्फ और हिमचादर तेजी से पिघल रहे हैं। आर्कटिक समुद्री बर्फ पिघलने का प्रभाव संसाधनों तथा उत्तरी समुद्री मार्ग और जलवायु परिवर्तन पर पड़ रहा है। उष्णकटिबंधों और आर्कटिक के बीच एक सुदूरसंयोजन है। भौतिक संबंधों और पान-आर्कटिक को बेहतर समझने के लिए और अधिक प्रेक्षणों और मॉडलिंग प्रयासों की आवश्यकता है। जलवायु परिवर्तन अध्ययनों के अलावा, भारत को आर्थिक और भू-राजनीतिक कारणों से आर्कटिक मामलों में शामिल होने की आवश्यकता है।

5. भूविज्ञान की मूल बातें

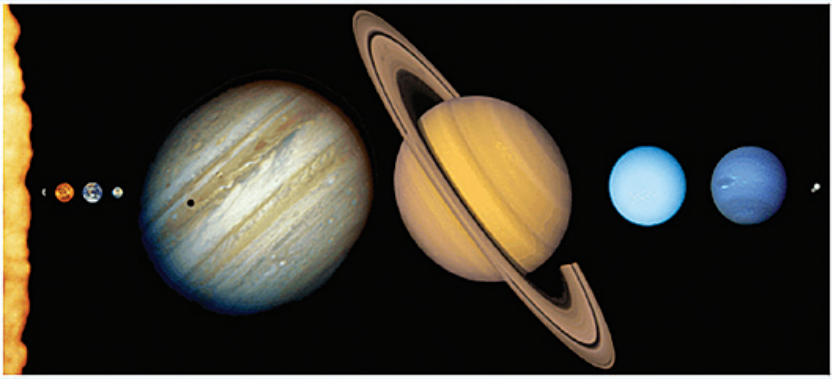
डॉ. वी. नंदकुमार
निदेशक, राष्ट्रीय पृथ्वी विज्ञान अध्ययन केंद्र, त्रिवेंद्रम

सौर मंडल और पृथ्वी का निर्माण कैसे हुआ?

इस बात की चर्चा हम ब्रह्मांड के जन्म से शुरू करते हैं जब लगभग 13.6 बिलियन साल पहले महा विस्फोट हुआ था और एक बिंदु स्रोत से ब्रह्मांड का निर्माण हुआ था। इस प्रक्रिया के दौरान, H, He, Li, B और Be जैसे हल्के तत्वों का निर्माण हुआ। ब्रह्मांड में गैस और धूल की सांद्रता अंततः लाखों सितारों के साथ आकाशगंगा बन गई। बड़े सितारों के भीतर, परमाणु संलयन प्रक्रियाओं ने अंततः C, Si, Ca, Mg, K, और Fe जैसे भारी तत्वों का निर्माण किया। अंततः एक सुपरनोवा नामक घटना के दौरान सितारे नष्ट हो गये और फट गये। सुपरनोवा के दौरान, लोहा (Fe) से यूरेनियम (U) तक भारी तत्व बने। सम्पूर्ण आकाशगंगाओं में गुरुत्वाकर्षण द्वारा आकर्षित गैसों के समूह घूर्णन करने लगे और आपस में मिलकर सितारों और सौर मंडलों का निर्माण किये। हमारे सौर मंडल (चित्र 5.1) के लिए यह लगभग 4.6 बिलियन साल पहले हुआ था। जो गोला केंद्र में था वह घना और गर्म होता गया और अंततः परमाणु संलयन प्रतिक्रियाएं शुरू हो गयीं जिससे एक तारा पैदा हुआ (हमारे संदर्भ में, सूरज)।

पृथ्वी का आंतरिक भाग

पृथ्वी की त्रिज्या लगभग 6371 कि.मी. है, हालांकि यह ध्रुवों की तुलना में भूमध्य रेखा पर लगभग 22 कि.मी. बड़ी है (चित्र 5.2)।



चित्र 5.1: हमारा सौरमंडल

पृथ्वी की संरचना स्तरित है। लेयरिंग को दो अलग-अलग तरीकों से देखा जा सकता है:

क्रस्ट (पपड़ी) - मोटाई और रचना परिवर्तनीय

महाद्वीपीय 10 - 70 कि.मी. मोटा - रचना में ग्रैनाइट का (ज्यादातर ऑक्सीजन और सिलिकॉन से बना)

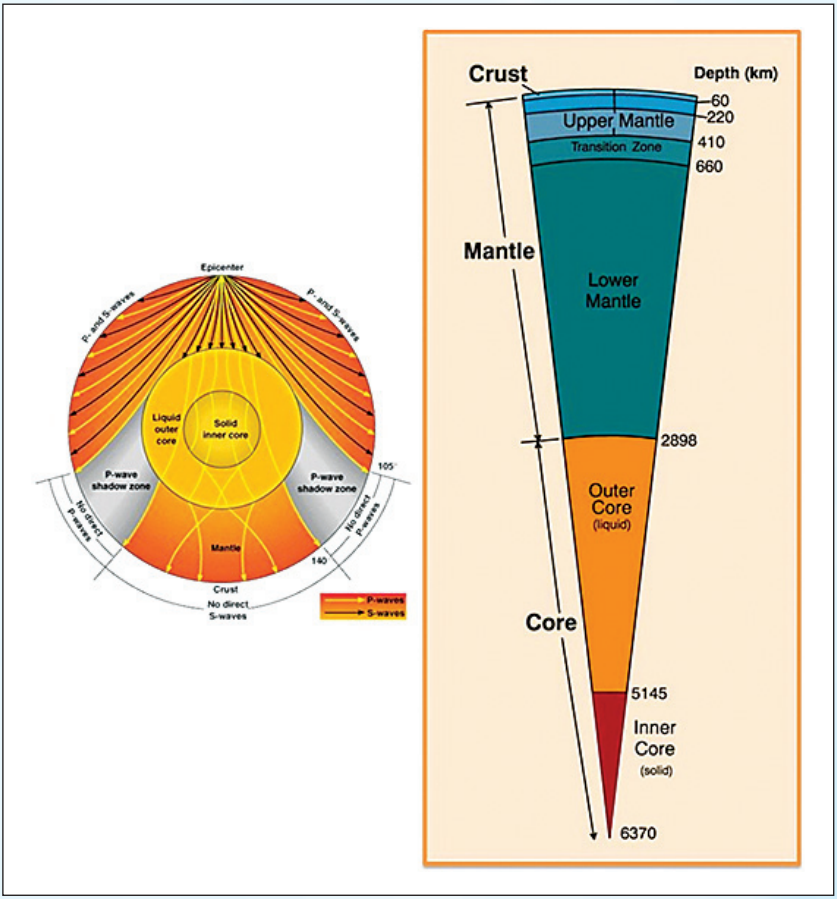
महासागरीय 2 - 10 कि.मी. मोटा - बैसाल्ट का (महाद्वीपीय क्रस्ट की तुलना में कम सिलिकॉन, अधिक मैग्नेशियम)

मैंटल - 3488 कि.मी. मोटा, एक चट्टान से बना है जिसे पेरिडोटाइट कहा जाता है। ठोस लेकिन विकृत हो सकता है ताकि यह तापमान अंतर के साथ स्थान परिवर्तित कर सके।

कोर - 2883 कि.मी. त्रिज्या, लोहा (Fe) और थोड़ी मात्रा में निकेल (Ni), भिन्न भौतिक गुणों की परतों से बना

पृथ्वी की रासायनिक संरचना

आम तौर पर पृथ्वी की रासायनिक संरचना में लोहा (Fe, 34.6%), ऑक्सीजन (O2, 29.5%), सिलिकॉन (Si, 15.2%), और मैग्नेशियम (Mg, 12.7%) की भागीदारी है। इनके अलावा अन्य तत्व शेष 8% हैं।



चित्र 5.2: पृथ्वी की आंतरिक रचना

प्लेट टेक्टोनिक्स

वेगनर का कॉन्टिनेंटल ड्रिफ्ट का सिद्धांत

अल्फ्रेड वेगनर 1900 ई. के दशक के प्रारंभ में एक जर्मन मौसम विज्ञानी थे जिन्होंने प्राचीन जलवायु का अध्ययन किया था। अधिकांश लोगों की तरह, अटलांटिक महाद्वीपीय हाशिये की पहेली ने उनका ध्यान आकर्षित किया। उन्होंने प्राचीन हिमाच्छादनों के साक्ष्य और जीवाश्म के वितरण को एक साथ विश्लेषण किया ताकि वे यह सिद्धांत बनाने में सक्षम हो सकें कि महाद्वीप पृथ्वी की सतह पर स्थानांतरित हुए हैं जिसके कारण कभी बड़े अधिमहाद्वीप (supercontinent) तो कभी अलग

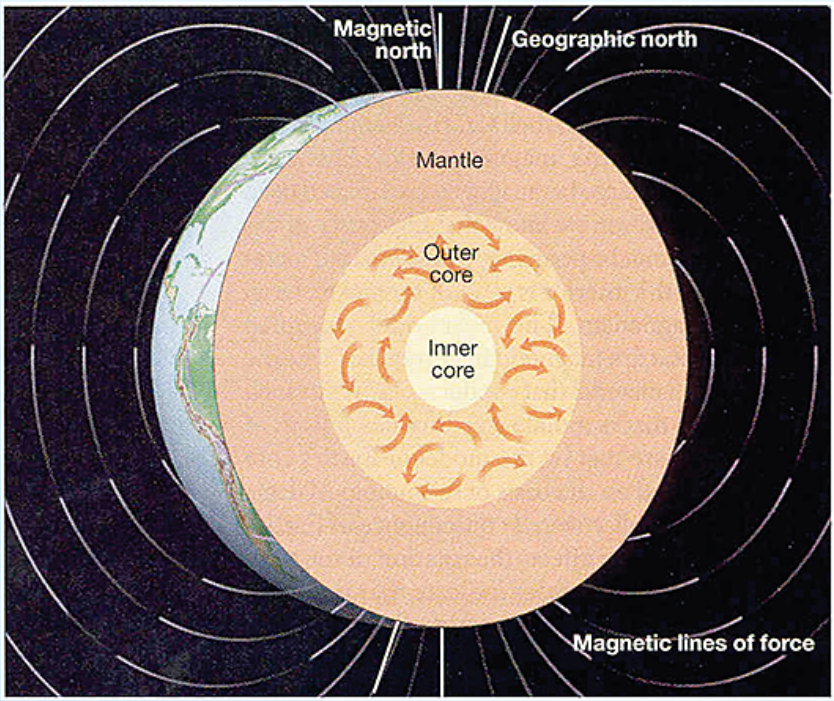
महाद्वीपीय द्रव्यमान बने। उन्होंने प्रस्तावित किया कि लगभग 200 मिलियन साल पहले सभी महाद्वीप एक बड़े भूमि द्रव्यमान के रूप में बने जिसे उन्होंने पैंजिया कहा।

1950 एवं 1960 ई. के दशक में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अध्ययन और समय के साथ इसमें परिवर्तन (पैलियोमैग्नेटिज्म, paleomagnetism) ने महाद्वीप बहाव के नए सबूत दिए।

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र और पैलियोमैग्नेटिज्म

पृथ्वी में एक चुंबकीय क्षेत्र है जिसके कारण कम्पास की सुई हमेशा उत्तरी चुंबकीय ध्रुव की ओर संकेत देती रहती है, जो वर्तमान में घूर्णन ध्रुव के पास स्थित है (चित्र 5.3)।

1950 ई. के दशक में यह पता चला कि जब चुंबकीय खनिज के तापमान क्यूरी तापमान से नीचे चला जाता है तो चुंबकीय खनिज के भीतर के डोमेन इस तापमान के नीचे ठंढा होने के समय मौजूद किसी बाहरी चुंबकीय क्षेत्र के समानांतर अभिविन्यास ले लेते हैं।



चित्र 5.3: पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र

पृथ्वी के चुंबकीय ध्रुव की स्थिति समय के साथ कैसे बदलती है, इसका प्रारंभिक अध्ययन यूरोप में संचालित किया गया था। इन अध्ययनों से पता चला कि चुंबकीय ध्रुव स्पष्ट रूप से समय के साथ स्थान परिवर्तित किये थे। जब उत्तरी अमेरिका में विभिन्न युगों की चट्टानों पर समान तरीके की माप की गई तो चुंबकीय ध्रुव का एक अलग मार्ग पाया गया।

इससे ये समझा गया कि (1) या तो पृथ्वी के पास अतीत में विभिन्न समयों पर एक से अधिक चुंबकीय ध्रुव थे (जिसकी संभावना नहीं है), या (2) विभिन्न महाद्वीप इस समय में एक दूसरे के सापेक्ष गतिमान थे। अन्य महाद्वीपों के लिए प्राचीन समय में ध्रुवों के स्थानों के बारे में अध्ययन करने से इस बात की पुष्टि हो गयी कि बाद की परिकल्पना ही ठीक थी। अर्थात, इन अध्ययनों से महाद्वीपीय बहाव के सिद्धांत की पुष्टि होती जान पड़ी।

प्लेट सीमाओं के प्रकार

प्लेट सीमाएं तीन प्रकार की हैं:

अपसारी प्लेट सीमाएं - जहां प्लेटें एक दूसरे से दूर चली जाती हैं।

अभिसारी प्लेट सीमाएं - जहां प्लेटें एक दूसरे की ओर बढ़ती हैं।

रूपांतर प्लेट सीमाएं - जहाँ प्लेटें एक दूसरे पास से फिसलती हैं।

हॉट स्पॉट्स

ऐसे क्षेत्र जहाँ गर्म मैंटल (Mantle) से ऊपर उठते प्ल्यूम पृथ्वी की सतह तक पहुँचते हैं, आमतौर पर प्लेट सीमाओं से काफी दूर स्थानों पर, हॉट स्पॉट्स कहे जाते हैं। क्योंकि प्लेटें अंतर्निहित मैंटल के सापेक्ष गति करती हैं, महासागरीय लिथोस्फीयर के नीचे हॉट स्पॉट्स ज्वालामुखियों की एक श्रृंखला का निर्माण करते हैं। एक ज्वालामुखी तभी तक सक्रिय रहती है जब तक यह हॉट स्पॉट्स के आसपास होती है। लेकिन, अंततः प्लेटों की गति के परिणामस्वरूप ज्वालामुखी प्ल्यूम से दूर चला जाता है और मृत हो जाता है तथा नष्ट होने लगता है।

प्लेट सीमाओं का विकास

महाद्वीपीय रिफ्टिंग – महाद्वीपीय लिथोस्फीयर में खिंचाव होने पर एक नई अपसारी प्लेट सीमा बन सकती है, जो पतली होकर एक रिफ्ट वैली का निर्माण करती है।

महाद्वीपीय संघट्ट – जब दो प्लेटें जिनके पास कम घनत्व वाले महाद्वीपीय लिथोस्फीयर होते हैं एक दूसरे से टकराते हैं तो सबडक्शन रुक जाता है, क्योंकि महाद्वीपीय लिथोस्फीयर के पास इतने कम घनत्व होते हैं कि इनके सबडक्शन होने की संभावना नहीं होती है। जैसा कि प्लेटें संघट्ट करना जारी रखती हैं, संघट्ट के क्षेत्र में फ़ोल्ड - थ्रस्ट माउंटेन बेल्ट विकसित होते हैं।

ज्वालामुखी प्रस्फुटन

जब मैग्मा पृथ्वी की सतह पर पहुंचता है तो उसे लावा कहते हैं। चूंकि यह एक तरल है, लावा धार के रूप में गुरुत्वाकर्षण के कारण पहाड़ से नीचे की ओर बहता है। जैसे लावा बहता है, विभिन्न मैग्मा के प्रकार उनके तापमान, श्यानता और गैस की मात्रा के आधार पर अलग-अलग व्यवहार करते हैं।

पायरोक्लास्टिक सामग्री

यदि मैग्मा उच्च गैस सामग्री और उच्च श्यानता वाला है तो गैस एक विस्फोटक के तरीके से विस्तार करेगा और तरल को पिंड के रूप में तोड़ देगा जो हवा में उड़ने लगेगा और वातावरण में अपने गमन के रास्ते में ठंढा होता रहेगा। वैकल्पिक रूप से यह चट्टान के ठोस टुकड़ों को विस्फोट कर देता है जो कभी ज्वालामुखीय गढ़ का निर्माण किये थे। इन सभी अंशों को पाइरोक्लास्ट्स = गर्म, टूटे हुए टुकड़े के रूप में जाना जाता है। पाइरोक्लास्ट्स के ढीले असेंबलियों को टेफ्रा कहा जाता है। आकार के आधार पर, टेफ्रा को बम, ब्लॉक, लैपिली या राख के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है।

ब्लॉक कोणीय टुकड़े हैं जो बाहर निकलते समय ठोस थे।

बमों में एक वायुगतिकीय आकार होता है जो यह दर्शाता है कि बाहर निकलते समय वे तरल थे।

ज्वालामुखीय लैंडफॉर्म

ज्वालामुखीय भू-आकृतियाँ उन भूवैज्ञानिक प्रक्रियाओं द्वारा नियंत्रित होती हैं जो उन्हें बनाती हैं और बनने के बाद उन पर कार्य करती हैं।

शील्ड ज्वालामुखी

एक शील्ड ज्वालामुखी कोमल ऊपरी ढलानों (लगभग 5°) और कुछ हद तक खड़ी निचली ढलानों (लगभग 10°) से जानी जाती है।

सिंडर कोन्स

सिंडर शंकु छोटे आयतन वाले शंकु होते हैं जो मुख्य रूप से राख और स्कॉर्पिया, जो हल्के विस्फोटक प्रस्फुटन के परिणाम से पैदा होते हैं, से मिलकर बने होते हैं। वे आमतौर पर बेसाल्टिक से एंडेस्टिक तक की सामग्री से मिलकर बने होते हैं। वे वास्तव में फॉल डिपॉजिट होते हैं जो विस्फोट वेंट के आसपास निर्मित होते हैं।

क्रेटर और काल्डेरस

क्रेटर गोलाकार गड्ढे होते हैं जिनके व्यास आमतौर पर 1 कि.मी. से कम होते हैं और जो उन विस्फोटों के परिणामस्वरूप बनते हैं जिसमें गैसें और राख का उत्सर्जन होता है।

ज्वालामुखी और प्लेट टेक्टोनिक्स

यदि हम ज्वालामुखियों के वैश्विक वितरण को देखें तो हम देखते हैं कि ज्वालामुखीय घटना चार प्रमुख सेटिंग्स में होती हैं।

1. अपसारी प्लेट सीमाओं के साथ, जैसे महासागरीय रीज या स्प्रेडिंग सेंटर
2. महाद्वीपीय विस्तार के क्षेत्रों में (जो भविष्य में अपसारी प्लेट सीमाएं बन सकते हैं)।
3. अभिसारी प्लेट सीमाओं के साथ जहां सबडक्शन हो रहा है।
4. और, हॉट स्पॉट कहे जाने वाले क्षेत्रों में, जो आमतौर पर प्लेट मार्जिन से दूर प्लेटों के आंतरिक भाग में स्थित होते हैं।

भूकंप:

भूकंप तब आते हैं जब प्रत्यास्थ रूप से तनावग्रस्त चट्टानों में संग्रहित ऊर्जा अचानक मुक्त होती है। ऊर्जा की इस मुक्ति के कारण भूकंप के स्रोत के पास के क्षेत्र में ज़मीन तीव्र रूप में हिलती है और पृथ्वी पर चारों ओर प्रत्यास्थ ऊर्जा की तरंगें संचारित हो जाती हैं, जिसे साईसिमिक तरंगें कहा जाता है। अधिकांश भूकंप समुद्री और महाद्वीपीय प्लेटों के किनारे आते हैं।

भूकंप प्लेटों के किनारों से दूर फॉल्ट प्लेन के साथ भी आ सकते हैं। फॉल्ट पृथ्वी में दरारें हैं जहां एक प्लेट (या दो प्लेट) के खंड अलग-अलग दिशाओं में गति करते हैं। फॉल्ट उन सभी के कारण होते हैं जो प्लेटों को टकराते और खिसकाते हैं। वे प्लेटों के किनारों के पास अधिक होते हैं। फॉल्ट - पृथ्वी में दरार जहां फिसलन होती है।

भूकंप - फॉल्ट के साथ-साथ फिसलन के द्वारा ऊर्जा मुक्त होती है।

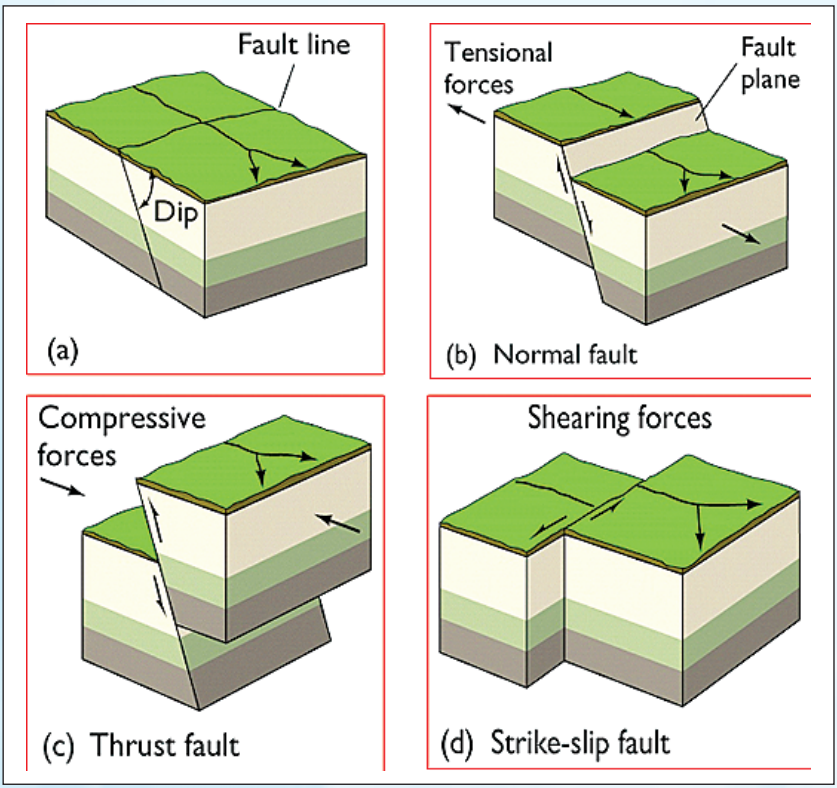
भूकंप फोकस - प्रारंभिक ब्रेक का स्थान

भूकंपीयता, अंतरिक्ष, समय और परिमाण में भूकंप का दुनिया भर में या स्थानीय

वितरण। अधिक विशेष रूप से, यह एक क्षेत्र में भूकंप की आवृत्ति को मापने के लिए संदर्भित करता है - उदाहरण के लिए, 5 और 6 प्रति 100 वर्ग कि.मी. (39 वर्ग मील) के बीच परिमाण के भूकंपों की संख्या।

फॉल्ट के प्रकार

1. **सामान्य फॉल्ट:** सामान्य फॉल्ट वह दरारें होती हैं जहां चट्टान का एक ब्लॉक नीचे की ओर खिसकता है और चट्टान के दूसरे ब्लॉक से दूर होता है (चित्र 5.4)।
2. **रिवर्स फॉल्ट:** रिवर्स फॉल्ट वे दरारें होती हैं जहां एक प्लेट दूसरी प्लेट में धकेलाती है।
3. **स्ट्राइक-स्लिप फॉल्ट:** स्ट्राइक-स्लिप फॉल्ट दो प्लेटों के बीच की दरारें हैं जो एक-दूसरे पास से फिसलती हैं।



चित्र 5.4: फॉल्ट के प्रकार

भूकंपीय तरंगों के प्रकार

भूकंपीय तरंगों के कई अलग-अलग प्रकार हैं, और वे सभी अलग-अलग तरीकों से गति करती हैं। दो मुख्य प्रकार की तरंगें हैं बॉडी तरंगें (Body Waves) और सतही तरंगें (Surface Waves)।

1. **बॉडी तरंगें**

पृथ्वी के आंतरिक भाग में गति करती हैं, भूकंप द्वारा उत्सर्जित बॉडी तरंगें सतही तरंगों से पहले पहुँचती हैं। ये तरंगें सतही तरंगों की तुलना में उच्च आवृत्ति की होती हैं।

(A) पी तरंगें (P Waves)

पी तरंगें या प्राथमिक तरंगें बॉडी तरंगों की एक प्रकार होती हैं। यह सबसे तेज़ प्रकार की भूकंपीय लहर है, और, परिणामस्वरूप, यह भूकंपीय स्टेशन पर सबसे पहले पहुँचती है। पी लहर ठोस चट्टान और तरल पदार्थ, जैसे पानी या पृथ्वी की तरल परतों के माध्यम से आगे बढ़ सकती है। यह जिस चट्टान में गति करती है उसको आगे-पीछे धकेलती हुई चलती है, जैसे ध्वनि तरंगें हवा के कणों को आगे-पीछे धकेलते हुए आगे बढ़ती हैं।

(B) एस तरंगें (S Waves)

दूसरे प्रकार की बॉडी तरंगें एस तरंगें या द्वितीयक तरंगें होती हैं। एक एस तरंग की गति पी तरंग की गति की तुलना में धीमी होती है और यह केवल ठोस माध्यम में ही गमन कर सकती है, तरल माध्यम में नहीं। एस तरंगें चट्टान के कणों को ऊपर-नीचे या अगल-बगल की दिशा में गति प्रदान करती हैं, पर अपनी गति के दिशा के लम्बवत।

2. **सतही तरंगें**

सतही तरंगें बॉडी तरंगों की तुलना में कम आवृत्ति वाली तरंगें होती हैं और ये केवल क्रस्ट में ही गमन कर सकती हैं। परिणामस्वरूप, भूकम्पलेख (Seismogram) में आसानी से पहचानी जा सकती हैं। ये तरंगें निम्नलिखित प्रकार की होती हैं।

(A) लव तरंगें (Love Waves)

लव तरंग सबसे तेज सतही तरंग है जिसका नाम एक ब्रिटिश गणितज्ञ ए.इ.एच. लव (A.E.H. Love) के नाम पर रखा गया है। ए.इ.एच. लव ने ही पहली बार 1911 में इस तरह की तरंग के लिए गणितीय मॉडल पर काम किया था। यह तरंग क्रस्ट की सतह तक ही सीमित रहती है तथा यह पूरी तरह से क्षैतिज गति पैदा करती है।

(B) रैले तरंगें (Rayleigh Waves)

रैले तरंग भी सतही तरंग है जिसका नाम जॉन विलियम स्ट्रट (John William Strutt), लॉर्ड रैले (Lord Rayleigh) के नाम पर रखा गया है जिन्होंने गणितीय आधार पर 1885 में इस तरह के तरंग के अस्तित्व की भविष्यवाणी की थी। रैले तरंग जमीन पर घुमावदार तरीके से या यूँ कहें कि लुढ़कती हुई आगे बढ़ती है जैसे एक तरंग झील में या महासागर में आगे बढ़ती है। क्योंकि यह घुमावदार तरीके से आगे बढ़ती है, जमीन को ऊपर-नीचे तथा अगल-बगल की ओर गति देती हुई उसी दिशा में आगे बढ़ती है। भूकंप आने पर महसूस किए गए अधिकांश झटकों की वजह रैले तरंगें ही हैं, जो अन्य तरंगों की तुलना में बहुत बड़ी हो सकती हैं।

सुनामी (Tsunami)

सुनामी विशाल महासागरीय लहरें हैं जो तेजी से महासागरों के आर-पार गमन कर सकती हैं। तटीय क्षेत्रों में आने वाले भूकंप सुनामी उत्पन्न कर सकते हैं जो समुद्र के दूसरी ओर हजारों किलोमीटर की दूरी तक नुकसान कर सकते हैं।

सुनामी उस किसी भी चीज से उत्पन्न हो सकती है जो जल-भंडार को आंदोलित करती है। इसमें भूकंप जो समुद्र तल के ऊर्ध्वाधर ऑफसेट का कारण बनते हैं, जल-भंडार में ज्वालामुखीय प्रस्फुटन, जल-भंडार में भूस्खलन, पानी के नीचे विस्फोट, और उल्कापिंड के प्रभाव शामिल हैं।

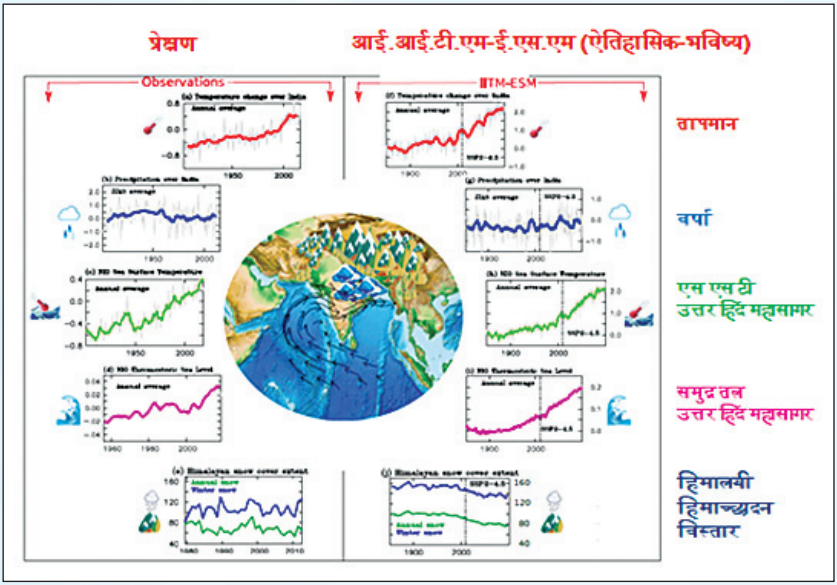
सुनामी तरंगों में हवा के कारण महासागर में पैदा हुई तरंग की तुलना में तरंग दैर्ध्य और वेग अधिक होते हैं। जेट विमान के वेग के समान ही इसका भी वेग कई सौ कि.मी./घंटा के क्रम का होता है। वे आम तौर पर एक से अधिक तरंगें होती हैं, जो घंटों या दसियों मिनटों के अंतराल में तट से टकराती रहती हैं।

प्रशांत महासागर के बेसिन के लिए सुनामी चेतावनी प्रणाली विकसित की गई है और, हाल ही में हिंद महासागर के लिए भी, जहां 2004 में 250,000 से अधिक लोगों की सुनामी की वजह से जान गंवानी पड़ी थी। लेकिन, इस तरह की चेतावनी प्रणाली भूकंप आने के बाद सुनामी का पता लगाने और पूर्वानुमान करने की इसकी क्षमता पर निर्भर करती है जो तरंग ऊंचाइयों और यात्रा-समय के सटीक पूर्वानुमान करने में कई घंटे लगा देते हैं।

6. एमओईएस वेबिनार-2020: जलवायु परिवर्तन अनुसंधान केंद्र की उपलब्धियां

डॉ. आर. कृष्णन
वैज्ञानिक जी एवं कार्यकारी निदेशक, जलवायु परिवर्तन अनुसंधान केंद्र,
भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (एम ओ ई एस) के अंतर्गत भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान (आई आई टी एम) पुणे में स्थित जलवायु परिवर्तन अनुसंधान केंद्र (सी सी सी आर) मुख्यतः जलवायु परिवर्तन संबंधी वैज्ञानिक शोध कार्यों में संलग्न है। केंद्र के कार्यकारी निदेशक डॉ. आर. कृष्णन के दिशा-निर्देशन में वैश्विक और क्षेत्रीय जलवायु परिवर्तन की वर्तमान स्थिति एवं भविष्यगत परिवर्तनों का अध्ययन करने के लिए केंद्र ने अनवरत प्रयास जारी रखा है। एम ओ ई एस वेबिनार-2020 में बोलते हुए डॉ. आर. कृष्णन ने बताया कि मुख्य तौर पर केंद्र ने आई आई टी एम-पृथ्वी प्रणाली मॉडल (आई आई टी एम-ई एस एम) का विकास (चित्र 6.1) एवं दक्षिण-एशियाई क्षेत्र के लिए समन्वित क्षेत्रीय सकल-विस्तार के अनुकलनों (कॉर्डेक्स) को आलोचनात्मक, प्रभाव और मूल्यांकन विश्लेषण विशेषज्ञों के लिए सहज उपलब्ध करने में महती भूमिका निभाई है। यह वैज्ञानिक लेख डॉ. आर. कृष्णन द्वारा एम ओ ई एस वेबिनार-2020 में दिये गए व्याख्यान एवं भारतीय क्षेत्र पर जलवायु परिवर्तन का आकलन विषय पर प्रकाशित रिपोर्ट पर आधारित है। केंद्र में पर्यवेक्षण कार्यक्रमों में मेटफ्लक्स के अंतर्गत हरितगृह गैस फ्लक्स, जैव-भूरासायनिक प्रक्रियाओं, भूमि की नमी एवं सतह पर होने वाली प्रक्रियाओं का मापन किया जा रहा है जिससे भारतीय क्षेत्र के विभिन्न पारिस्थितिक तंत्रों में इनकी विविधताओं को समझा जा सकेगा। सी



चित्र 6.1: आईआईटीएम-पृथ्वी प्रणाली मॉडल (आई आई टी एम-ई एस एम) द्वारा प्रक्षेप

सी सी आर में किये गये पैलियोक्लाइमेट अध्ययन के अंतर्गत अनेक प्रॉक्सी आंकड़ों के संकलन एवं विश्लेषणात्मक अध्ययन द्वारा दक्षिण एशिया, विशेषकर मॉनसून में, अतीत के जलवायु परिवर्तन को समझने का प्रयास किया जा रहा है। साथ ही, केंद्र ने वायुमंडलीय रसायन विज्ञान एवं हरितगृह गैसों के वायुमंडल में बढ़ती मात्रा से संबन्धित आंकड़े भी संकलित किए हैं और इनके विश्लेषण एवं उपयुक्त अनुकलनों द्वारा जलवायु परिवर्तन, विशेषतः मानवजनित क्रियाकलापों, से प्राभावित वैज्ञानिक मुद्दों का अध्ययन किया जा रहा है।

आई आई टी एम-ई एस एम जलवायु परिवर्तन के अंतर-सरकारी पैनल (इंटर गवर्नमेंटल पैनल ऑन क्लाइमेट चेंज, आई पी सी सी) के अंतर्गत होने वाले युग्मित मॉडल अंतर-तुलनात्मक परियोजना चरण-6 (कपल्ड मॉडल इंटर कम्पेरिजन प्रोजेक्ट फेज 6, सीमिप-6) में भारत की ओर से प्रथम बार भाग ले रहा है। आई आई टी एम-ई एस एम के नवीन प्रतिरूप में वायुमंडल के ऊपरी क्षोभमण्डल के स्तर पर विकिरण में असंतुलन काफी कम हुआ है जो कि युग्मित जलवायु मॉडलों के लिए अत्यंत महत्त्वपूर्ण मापदंड है। इसके साथ-साथ इस मॉडल द्वारा दक्षिण एशिया में मॉनसून वर्षा, आर्कटिक और अंटार्कटिक क्षेत्रों में हिम वितरण, अटलांटिक

मिरिडियोनल ओवर्टर्निंग सर्कुलेशन, इंटरैक्टिव महासागर जैव-भूरसायन क्रियाएँ, समयाधारित वायु-विलय परिवर्तन, भूमि से महासागर तक जल निर्वहन जैसे घटकों का यथार्थवादी अनुकलन एवं इनमें उचित संतुलन इत्यादि शामिल हैं। केंद्र ने कॉर्डेक्स दक्षिण एशिया के उच्च वियोजन वाले संगणकीय अनुकलन के साथ ही साथ उनके अभिलेखन, प्रबंधन और प्रसार के लिए एक पृथ्वी-प्रणाली ग्रिड (ई एस जी नोड) का भी विकास किया है।

इसके अतिरिक्त हाल में ही सी सी सी आर ने पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय, भारत सरकार प्रेरित भारतीय क्षेत्र पर जलवायु परिवर्तन का आकलन विषय पर एक प्रथम रिपोर्ट एक पुस्तक के रूप में प्रस्तुत की है। इस पुस्तक में उपलब्ध अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर मान्यता प्राप्त वैज्ञानिक साहित्य, टिप्पणियों, जलवायु मॉडल अनुमानों और प्रकाशित आई पी सी सी रिपोर्टों के आधार पर भारतीय उपमहाद्वीप पर मानव-प्रेरित वैश्विक जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के विश्लेषण के साथ ही, भारतवर्ष में वैश्विक और क्षेत्रीय जलवायु में विगत दशकों और भविष्य के अनुमानित परिवर्तनों का भी एक संश्लेषण प्रस्तुत किया गया है। आंकड़े दर्शाते हैं कि पिछले शतक (करीब-करीब) 1901-2018 के दौरान भारत में वार्षिक सतह के तापमान में 0.7 डिग्री सेल्सियस की वृद्धि दर्ज की गई है, और साथ ही साथ वायुमंडलीय नमी की मात्रा में भी बढ़ोतरी दर्ज की गई है। उल्लेखनीय है कि 1976-2005 के सापेक्ष इक्कीसवीं सदी के अंत तक (2070 के दशक के पश्चात्) हरितगृह गैस वार्मिंग परिदृश्यों में भारत के औसतन तापमान में 2.4 डिग्री सेल्सियस से 4.2 डिग्री सेल्सियस तक की वृद्धि हो सकती है। उष्णकटिबंधीय हिंद महासागर में समुद्र की सतह के तापमान में 1951-2015 के दौरान औसतन 1 डिग्री सेल्सियस की वृद्धि दर्ज की गई। अनुमान है कि तापमान में हुए ऊपरोक्त परिवर्तन मानवजनित प्रभाव एवं समुद्र-और-वायुमंडल के युग्मित प्रभाव से प्रेरित हैं। यूं तो वायुमंडलीय नमी के बढ़ने से मॉनसूनी वर्षा में वृद्धि होना चाहिए लेकिन रिकॉर्ड दर्शाते हैं कि 1950 के बाद से मॉनसून की वर्षा में गिरावट आई है जिसका प्रमुख कारण उत्तरी गोलार्ध में मानवजनित वायुविलय एवं भूमि उपयोग और आच्छादन में बदलाव है। इन कारकों ने हरितगृह गैस वार्मिंग परिदृश्य में वर्षा को बढ़ाने की प्रवृत्ति को प्रभावहीन कर दिया है। इसके विपरीत, मध्य भारत में पिछले कुछ दशकों में स्थानीय भारी वर्षा की घटनाओं की आवृत्ति काफी बढ़ गई है। वैश्विक नियंत्रण एवं भारत सरकार की नीतियों के अंतर्गत भविष्य में वायुविलय उत्सर्जन में कटौती के साथ जी एच जी वार्मिंग के घटते प्रभाव से, सुदूर भविष्य में मॉनसून की वर्षा में वृद्धि हो सकती है। तापमान और वायुमंडलीय नमी में वृद्धि के साथ ही सदी के अंत तक औसत

मॉनसूनी वर्षा एवं चरम घटनाओं और उनकी परिवर्तनशीलता में भी वृद्धि हो सकती है। जलवायु परिवर्तन मॉडल दर्शाते हैं कि भविष्य में वर्षा के वितरण में आने वाले इन परिवर्तनों के कारण मिट्टी की नमी में कमी एवं सूखा और सूखे के क्षेत्रों में भी वृद्धि हो सकती है। 1950 के पश्चात् बाढ़ की घटनाओं में वृद्धि हुई है जिसका एक महत्वपूर्ण कारण स्थानीय स्तर पर कम समय में होने वाली तीव्र वर्षा की बढ़ी हुई घंटनाएँ हैं। भविष्य में भी तीव्र वर्षा के कारण आने वाली बाढ़ की घटनाओं के वृद्धि होने का अनुमान है। वैश्विक तापमान में वृद्धि के साथ हिमनद और हिम विगलन की उच्च दर की वजह से हिमालय की घाटियों में नदी के जल प्रवाह में वृद्धि हो सकती है जिससे बाढ़ का जोखिम बढ़ सकता है, जिंसमें मुख्यतया सिंधु, गंगा और ब्रह्मपुत्र घाटियों को ज्यादा खतरा है।

वैश्विक तापमान में वृद्धि के साथ-साथ उत्तरी हिन्द महासागर के जल स्तर में 1993-2017 के दौरान 3.3 मि.मी. की वृद्धि देखी गई है जिसका मुख्य कारण महासागरों में जल का ऊष्मीय विस्तार है और यह मॉनसूनी हवाओं के कमजोर होने के कारण हुआ है। यद्यपि आमतौर पर उत्तरी हिन्द महासागर में चक्रवाती तूफानों की वार्षिक गतिविधि में कमी आई है, अपितु आंकड़े दर्शाते हैं कि मॉनसून ऋतु के बाद आने वाले अत्यधिक तीव्रता के चक्रवाती तूफान की आवृत्ति में पिछले दो दशकों में वृद्धि हुई है। हिंदुकुश हिमालय में पिछले 6-7 दशकों के दौरन 0.2 डिग्री सेल्सियस प्रति दशक की दर से तापमान में बढ़ोत्तरी हुई है, जबकि तिब्बती पठार के तापमान में वृद्धि की दर 0.4 डिग्री सेल्सियस से अधिक रही है। इस क्षेत्र में पिछले 4-5 दशकों में बर्फबारी और हिमनदों के क्षेत्र में भी गिरावट आई है। इसके विपरीत, काराकोरम हिमालय में हाल के दशकों में पश्चिमी विक्षोभ की तीव्रता बढ़ी है जिससे सर्दियों में हिमवर्षा में वृद्धि हुई है। इक्कीसवीं सदी में निरंतर ग्लोबल वार्मिंग के साथ, हिंदुकुश हिमालय में तापमान के और बढ़ने का अनुमान है जिसके कारण हिंदुकुश हिमालय में बर्फबारी में निरंतर गिरावट आ सकती है। हालांकि, भिन्न-भिन्न जलवायु मॉडल इसमें व्यापक प्रसार दर्शाते हैं।

यह रिपोर्ट शोधकर्ताओं, शिक्षाविदों और नीति निर्माताओं इत्यादि के लिए एक संदर्भ संसाधन के रूप में कार्य करेगी।

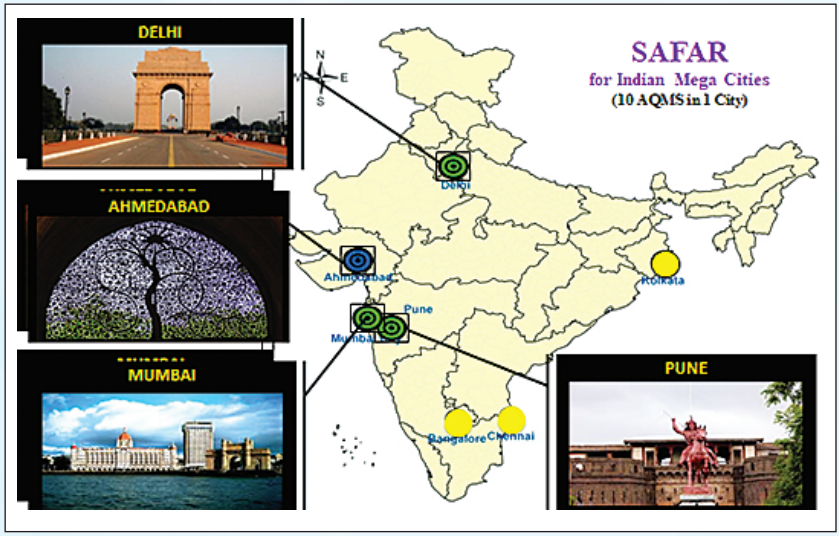
भूपेन्द्र बहादुर सिंह एवं मिलिन्द मुजुमदार

7. कोविड-19, वायु प्रदूषण और नीला आकाश

डॉ. जी. बेग
वैज्ञानिक जी, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे

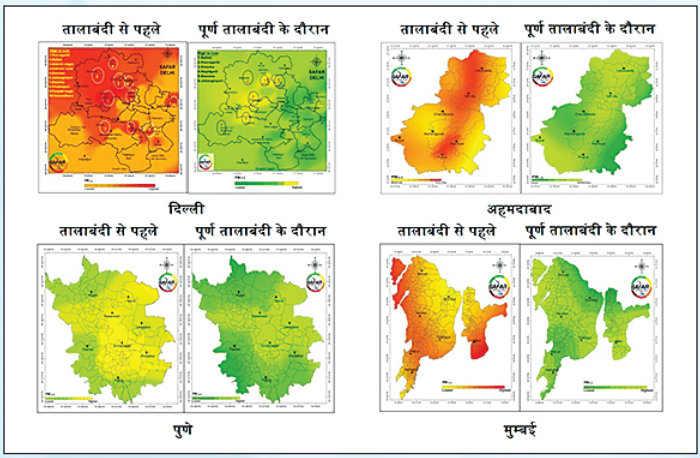
कोरोना वायरस की महामारी के कारण भारत एवं राज्य सरकारों द्वारा घोषित तालाबंदी के दौरान प्रदूषण उत्सर्जन श्रोतों से उत्सर्जन में भारी गिरावट आई है। इस परिणाम को देखते हुए हमें हमारे प्रदूषण नियंत्रण के संकल्प में एक उम्मीद की किरण दिखाई दी है। ये तो हम सबको विदित है कि वायु प्रदूषण भारत वर्ष के शहरों में कितनी बड़ी समस्या बना हुआ है। कोरोना ने तो लोगों को बीमार किया ही है, वैज्ञानिकों का मानना है कि वायु प्रदूषण इससे भी भयावह स्थिति पैदा कर सकता है।

सफर - भारत भारतवर्ष की वायु गुणवता मापने एवं वायु प्रदूषण के पूर्वानुमान की प्रणाली है जिसको आई आई टी एम, पुणे के वैज्ञानिकों ने विकसित किया है (चित्र 7.1)। सफर परियोजना के आँकड़े बताते हैं कि कोरोना महामारी के नियत्रंण (Control) के लिए जो उपाय भारत सरकार ने किए हैं और जागरुक जनता ने जिस तरह वाहनों के चालन पर रोक लगाई है उसकी वजह से 5 मार्च 2020 के बाद से पुणे में नाइट्रोजन के घटक वाले प्रदूषण में 45% की गिरावट आई है। वहीं मुम्बई और अहमदाबाद में 50% तथा दिल्ली में अब गिरावट शुरु हुई है (चित्र 7.2)। नाइट्रोजन डाइ ऑक्साइड प्रदूषण हमारे स्वास्थ्य के लिए बहुत हानिकारक है; खासकर, अस्थमा, मधुमेह और दिल के मरीजों के लिए। यह गिरावट पेट्रोल, डीजल तथा अन्य प्रकार के ईंधनों के कम जलने की वजह से दर्ज हुई है तथा इसका मुख्य कारण तालाबंदी के दौरान आप सब का घर से बाहर न निकलना है। तालाबंदी के कारण ही सही, पर यदि इस तरह के किसी भी प्रयास से प्रदूषण कम होता है तो मनुष्यों



चित्र 7.1: भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान की भारतवर्ष के मानचित्र पर दर्शाये गये स्थानों में चलने वाली सफर (SAFAR) परियोजना

में Immune Power मजबूत होता है तथा उनकी कोरोना से लड़ने की क्षमता बढ़ती है। इस प्रकार आप जितना quarantine मे रहेंगे, प्रदूषण के लिहाज से आपको उतना ही फायदा होगा।

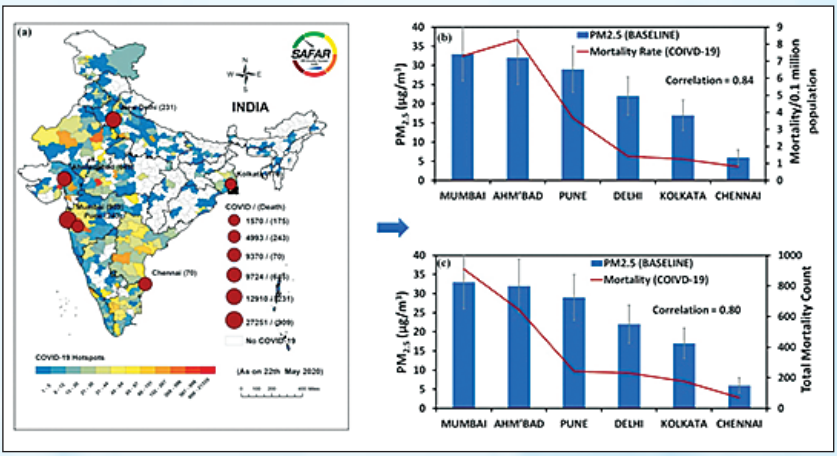


चित्र 7.2: तालाबंदी से पहले तथा पूर्ण तालाबंदी के दौरान भारतवर्ष के विभिन्न शहरों में $PM_{2.5}$ का स्तर

भारत के शहरों में $PM_{2.5}$ और PM_{10} प्रदूषण की समस्या अधिक गंभीर है। ये कण उस कोरोना वायरस जैसे ही हैं पर उनका आकार कोरोना, जो जीवित कण है, से 10-50 गुना अधिक है।

भारत में वाहनों के चलाने से पक्के और कच्चे रास्तों पर जो धुल उड़ती है और हवा में लटकी रहती है वो भी PM_{10} व $PM_{2.5}$ कणों के प्रदूषण का एक मुख्य कारण है। अगर वाहन पूरी तरह बंद कर दिए जाएं जैसे लॉकडाउन में हुआ है तो कणीय प्रदूषण भी कम हो जाएगा। और हम सबको प्रकृति-प्रदत्त स्वच्छ हवा तथा नीला आसमान उपलब्ध हो जाएगा ऐसी स्थिति हमें अपना Immune System मजबूत करने में सहायक होगी तथा मनोवैज्ञानिक तौर पर हम और अधिक प्रबल हो जाएंगे। प्रसन्नता की बात है कि उपर्युक्त कारण से कणीय प्रदूषण दिल्ली में अभी कम होना शुरू हुआ है। पुणे और मुम्बई में तो कणीय प्रदूषण काफी हद तक कम हो गया है तथा अभी भी इसमें गिरावट की प्रवृति जारी है।

गहरे श्वसन में कठिनाई के लक्षण वाले ~~कोरोनावायरस~~ 2 (SARS-CoV-2) के कारण होने वाला कोविड-19 महामारी अपनी छुआ-छूत से मानव में फैलने की प्रकृति के कारण दुनिया भर में तेजी से फैल रहा है। भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान के वैज्ञानिकों ने भारत के छह महानगरीय शहरों में दो सबसे खतरनाक वायु प्रदूषकों (~~PM2.5~~ एवं NO_2) के आधारभूत स्थायी स्तर का अनुमान लगाया है, जो लॉकडाउन



चित्र 7.3: वायुमंडल में बेसलाइन $PM_{2.5}$ स्तर तथा कोविड-19 संक्रमण के कारण मृत्यु दर एवं कुल मरने वालों की संख्या में स्थानिक परिवर्तनशीलता (सौजन्यः बेग एट आल, 2020)

के कारण प्रदूषक उत्सर्जन में अभूतपूर्व गिरावट के कारण पहली बार संभव हो सका है। हमने विभिन्न पर्यावरण और मौसम मापदंडों के साथ कोविड-19 के सहसंबंध का भी अध्ययन किया है। यद्यपि महामारी के लिए कई संदिग्ध कारक हैं, हमने वायुमंडल में बेसलाइन $PM_{2.5}$ स्तर के साथ कोविड-19 के कारण घोषित मृत्यु दर में एक मजबूत संबंध (80% सहसंबंध गुणांक) पाया है (चित्र 7.3)। विदित हो कि किसी भी वायुमंडलीय घटक का वायुमंडल में बेसलाइन स्तर वह स्तर है जो स्वाभाविक रूप से वायुमंडल में मौजूद होता है और जिससे हर समय लोगों का सामना होता रहता है। ऐसे कारकों की परिवर्तनशीलता परिस्थिति-जन्य घटनाओं की परिवर्तनशीलता की व्याख्या कर पाने में बखुबी सक्षम होती है। अतः वायुमंडल में $PM_{2.5}$ के स्तर को कोविड-19 द्वारा लोगों में होने वाले संक्रमण के लिए एक महत्वपूर्ण सूचक माना जा सकता है। कोविड-19 संक्रमण के फैलने के मध्यम अवधि के दौरान इसका अधिकतम तापमान के साथ अच्छा संबंध (-56% सहसंबंध गुणांक) पाया गया है। हमारे उपरोक्त निष्कर्ष वर्तमान में उपलब्ध प्रारंभ से लेकर मई तक के डेटा पर आधारित हैं, पर ये निष्कर्ष महामारीविदों के लिए कम से कम एक प्रारंभिक जानकारी तो प्रदान करते ही हैं। आशा है यह प्रारंभिक जानकारी प्रभावी स्वास्थ्य जोखिम प्रबंधन नीतियों के विकास में काफी उपयोगी सिद्ध होगी ।

8. भारतवर्ष में कृषि–जलवायु सेवाओं की बेहतरी हेतु पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय की पहल और कोविड–19 (COVID-19) आपदा से निपटने में इसकी भूमिका

डॉ. अतुल कुमार सहाय
वैज्ञानिक जी, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान

भूमिका

यहाँ हम कृषि-जलवायु, जलवायु परिवर्तन एवं मॉनसून संबंध, जलवायु पूर्वानुमान की आवश्यकता, कृषि-जलवायु सेवाओं के विस्तार में पृथ्वी विज्ञान मंत्रलाय की पहल और कोविड-19 के ऊपरांत रोजगार सृजन में इसकी भूमिका इत्यादि पर चर्चा करेंगे। यह इसलिए भी आवश्यक है क्योंकि भारतीय कृषि काफी हद तक मौसम पर निर्भर है। यद्यपि सकल घरेलू उत्पादन में कृषि का योगदान घट रहा है, तथापि एक बड़ी आबादी अभी भी आजीविका के लिए इस पर निर्भर है। अतः जलवायु परिवर्तन के बढ़ते जोखिम के प्रभावों और संभावित अनुकूलन को समझने की आवश्यकता है।

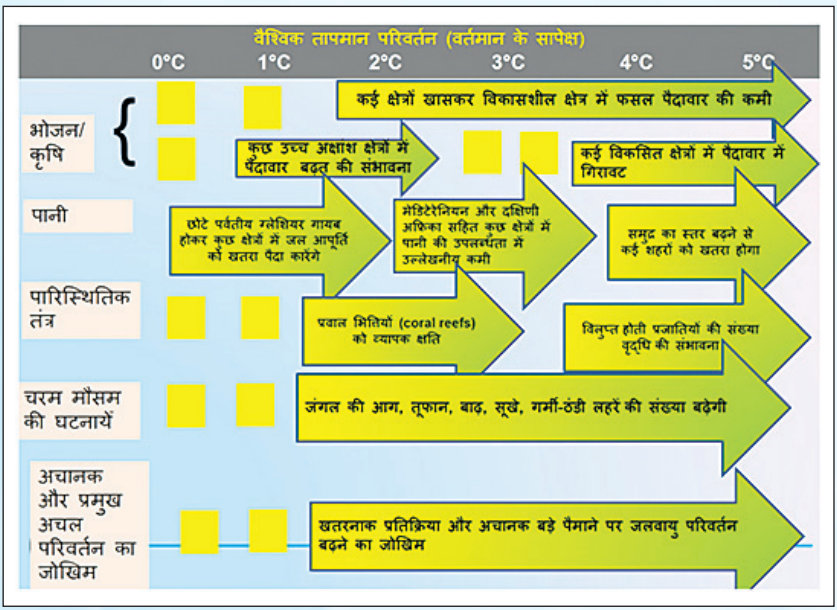
कृषि पर मौसम का प्रभाव

खरीफ फसलें बारिश के परिवर्तनशीलता से अधिक प्रभावित होती हैं जबकि रबी फसलें न्यूनतम तापमान से प्रभावित होती हैं। लगातार अति-गर्मी (लू) के कारण रबी में गेहूँ पर बुरा असर पड़ सकता है। गंगा के समतल क्षेत्र में तापमान और पानी दोनों की विविधता के द्वारा चावल की उत्पादकता प्रभावित होती है। तापमान कार्बनडाइऑक्साइड बढ़ने तथा पानी की भरपूर उपलब्धता होने से सोयाबीन और मूंगफली जैसे फलीदार फसलों को तो लाभ होता है, पर उष्णलहर (लू) का पशुओं

के दूध उत्पाद पर विपरीत असर पड़ता है। मौसम के बदलाव के साथ प्रजनन और समुद्री मत्स्य पालन में भी बदलाव आता है। मुर्गीपालन के व्यवसाय में लगातार उष्णता से बुरा असर पड़ सकता है। भारी वर्षा से जल संचयन के लिए अधिक अवसर तो प्राप्त होता है, लेकिन भूमि की ऊपरी सतह के बहाव से बहुत नुकसान भी होता है।

जलवायु परिवर्तन का भारतीय कृषि पर प्रभाव

जलवायु परिवर्तन के कारण फसल के पैटर्न तथा फसलों की किस्मों में बदलाव, मुख्य फसलों के क्षेत्र में कमी, आकस्मिक फसलों के क्षेत्र में वृद्धि आदि देखे जा सकते हैं (चित्र 8.1)। तापमान परिवर्तन के परिणामस्वरूप क्रॉपिंग ज़ोन शिफ्ट हो सकते हैं। खरीफ फसलों का कुल या आंशिक नुकसान, बुवाई में देरी, बुवाई प्रारम्भ करने के दिनों में बदलाव तथा जल-भंडारण में परिवर्तन भी देखे जा सकते हैं। कार्बनडाइऑक्साइड गैस की वायुमण्डल में वृद्धि के परिणामस्वरूप फसल की पैदावार बढ़ सकती है। हालांकि, तापमान में वृद्धि के परिणामस्वरूप पानी की बढ़ती मांग लाभकारी प्रभावों को कम कर सकती है। कीट और बीमारियां नए क्षेत्रों में फैल सकती हैं। ध्रुवीय बर्फ के आवरणों के पिघलने के कारण समुद्र के स्तर में वृद्धि तथा इसके



चित्र 8.1: जलवायु परिवर्तन के अनुमानित प्रभाव

परिणामस्वरूप निचले इलाकों में बाढ़ आ सकती है। उच्च ऊंचाई में स्थायी बर्फ की सीमारेखा पीछे हट सकती है, कम ऊंचाई पर ग्लेशियर गायब हो सकते हैं और उच्च ऊंचाई पर रहने वाले लोगों की संख्या लंबे समय में बारहमासी नदियों में कम जल प्रवाह (यह शुरू में बर्फ पिघलने के कारण बढ़ सकता है) के परिणामस्वरूप काफी कम हो सकती है।

तापमान बढ़ने के साथ भारत के विभिन्न भागों में फसलों की उपज में कमी हो सकती है। उदाहरण के लिए, औसत हवा के तापमान में $2^{o}C$ की वृद्धि होने की स्थिति में, चावल की पैदावार अधिक उपज वाले क्षेत्रों में लगभग 0.75 टन/हेक्टेयर और कम उपज वाले तटीय क्षेत्रों में लगभग 0.06 टन/हेक्टेयर तक घट सकती है। जलवायु परिवर्तन के प्रमुख प्रभाव वर्षा आधारित फसलों (चावल और गेहूं के अलावा) पर होंगे, जिनकी खेती भारत में लगभग 60% क्षेत्रों में होती है। भारत में सबसे गरीब किसान वर्षा आधारित कृषि पर निर्भर होते हैं। 2-3.5 डिग्री सेल्सियस के तापमान वृद्धि के कारण खेत स्तर के शुद्ध राजस्व में 9 से 25% के बीच नुकसान होगा।

जलवायु परिवर्तन: चरम घटनाएँ और अंतर-ऋत्विक मॉनसून परिवर्तनशीलता

जलवायु परिवर्तन के फलस्वरूप दैनिक भारी वर्षा दर में वृद्धि होगी जबकि आर्द्र दिनों की प्रतिशतता में कमी आयेगी। मॉनसून का देर से आगमन होगा एवं उसकी देर से वापसी होगी। भविष्य में सक्रिय / कम सक्रिय अवधि अधिक तीव्र एवं क्षेत्रीय रूप से बढ़ी हो सकती है। अधिक सक्रिय (कम सक्रिय) अवधि में वृद्धि के कारण भावी बाढ़ और विकराल एवं सूखा और भयानक हो सकता है। हालाँकि, इनके स्थानिक पैटर्न में भौगोलिक एकरूपता हो यह आवश्यक नहीं है। चरम मौसम की घटनाओं (उष्णलहर/शीतलहर/ठंढ/ओलावृष्टि) में वृद्धि हो जाएगी। ऐसे परिदृश्य में चरम घटनाओं की भविष्यवाणी चुनौतीपूर्ण हो जाती है। ऐसे में जल संसाधनों, कृषि पैदावार, बुनियादी ढांचे और भारतीय उपमहाद्वीप में रहने वाले लाखों लोगों के जीवन प्रभावित हो सकते हैं।

मॉनसून परिवर्तनशीलता

अंतर-वार्षिक परिवर्तनशीलता: मॉनसून के वार्षिक चक्र में बदलाव, जो कि आम तौर पर एनसो (हिंद और प्रशान्त महासागरों के सतहों के तापमानों एवं दाबों पर आधारित प्राचल) या उसमें अंतर्निहित परिवर्तनशीलता के साथ जुड़े समुद्र की सतह के तापमान की विविधता से प्रभावित होता है, अनियमित अतिवृष्टि या सूखे को जन्म देता है।

मॉनसून मौसम: मौसमी उच्च और निम्न दाब, उष्णकटिबंधीय चक्रवात (तूफान) इत्यादि अल्पकालिक स्थानीय बाढ़ (या सूखा), मृदा-कटाव, एवं उच्च हवाओं को जन्म देते हैं।

अंतरा-मौसमी परिवर्तनशीलता: 20-40 दिन की संगृहीत मौसमी घटनाएं सूखे या बाढ़ को जन्म देती हैं। इनकी भविष्यवाणी सबसे मुश्किल है लेकिन आर्थिक और कृषि क्षेत्रों के लिए शायद सबसे महत्वपूर्ण है।

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय इसकी भविष्यवाणी को अनिवार्य करता है क्योंकि-

यह जलवायु मौसम के प्रति संवेदनशील क्षेत्रों में विभिन्न निर्णय लेने की बेहतर स्थिति करने के लिए प्रयास करेगा। भविष्य के जलवायु परिवर्तन और प्रभावों, और जलवायु और मौसम की भविष्यवाणी के बारे में विज्ञान आधारित मौसम और जलवायु की जानकारी का सृजन और वितरण करेगा। पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय की मौसम और जलवायु मॉडलिंग गतिविधियां इसके दो प्रमुख कार्यक्रमों, सेंटर फॉर क्लाइमेट चेंज एंड रिसर्च और मॉनसून मिशन, के माध्यम से संचालित की जाती हैं। ये मॉडलिंग गतिविधियाँ मौसम और जलवायु पर विज्ञान आधारित सहज जानकारी प्रदान करने की ओर उन्मुख हैं।

कृषि के लिए दीर्घावधि पूर्वानुमान (3-4 माह पूर्व) की उपयोगिता

मौसम आधारित कृषि कार्यों हेतु प्रारंभिक रणनीतिक योजना बनाने के संदर्भ में यह निम्न तरीके से किसानों की मदद करता है; फसलों/बीजों का चयन एवम भंडारण तथा जल संसाधनों का प्रबंधन। कम वर्षा की मौसमी भविष्यवाणी के आधार पर राज्यों को वैकल्पिक किस्मों की पहचान और फसल बीज और अन्य आदानों की व्यवस्था के माध्यम से आकस्मिक योजना तैयार करने के लिए जागरुक किया जाता है।

कृषि के लिए विस्तारित अवधि पूर्वानुमान (3-4 सप्ताह पूर्व) की उपयोगिता

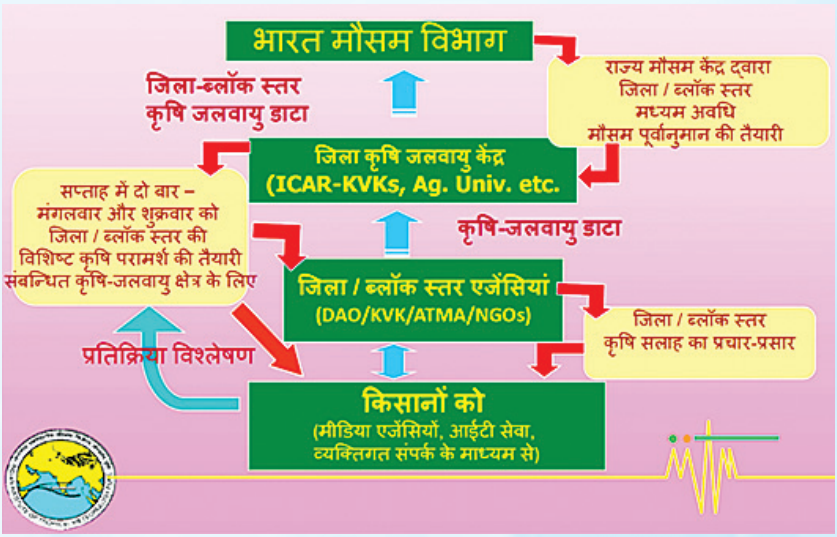
इस पूर्वानुमान के आधार पर कृषि कार्यों पर सामरिक निर्णय के लिए सलाह तैयार की जाती है। यह पूर्वानुमान निम्न की पहले से तैयारियों में मदद करता है - फसलों/बीजों का चयन; बुवाई/कटाई के लिए अवसर चुनना; सिंचाई के समय की शेड्यूलिंग (योजना) - इष्टतम पानी का उपयोग; प्रतिकूल मौसम की घटनाओं से निपटना; तथा पोषक तत्व प्रबंधन: उर्वरक प्रयोग।

मॉनसून मिशन से पूर्व भारतीय पूर्वानुमान की स्थिति

मॉनसूनी वर्षा की भविष्यवाणी के लिए कोई युग्मित गतिशील मॉडल प्रणाली नहीं थी। मॉनसून की अति वर्षा (कम वर्षा) अवधि श्रृंखला के अनुमान के लिए कोई विस्तारित रेंज गतिविज्ञान आधरित पूर्वानुमान प्रणाली नहीं थी। पूर्वानुमान प्रणाली के लिए युग्मित मॉडल के संचालन में कोई विशेषज्ञता नहीं थी। युग्मित डाटा समावेशन प्रणाली नहीं थी। मॉनसून अनुसंधान को प्रोत्साहित करने में विश्व में भारत की भूमिका नगण्य थी। मॉडल विकसित करने की प्रक्रिया में महत्तवपूर्ण HPC संसाधनों कमी थी।

मॉनसून मिशन के तहत विस्तारित रेंज मौसम के पूर्वानुमान (ईआरएफएस) पर आधारित राष्ट्रीय कृषि-जलवायु सलाहकार सेवा बुलेटिन

आईएमडी, नई दिल्ली वर्षा, अधिकतम तापमान और न्यूनतम तापमान के लिए CFSv2 मॉडल का उपयोग करके विस्तारित रेंज पूर्वानुमान उत्पन्न करता है (चित्र 8.2)। आईएमडी और सेंट्रल रिसर्च इंस्टीट्यूट फॉर ड्राईलैंड एग्रीकल्चरल रिसर्च (CRIDA), ICAR, हैदराबाद, संयुक्त रूप से विस्तारित रेंज पूर्वानुमान का उपयोग करके राष्ट्रीय AAS बुलेटिन तैयार करते हैं। ईआरएफएस पर आधारित एग्रोमेट सलाह फसल के मौसम से पहले और उसके दौरान रणनीतिक योजना के लिए बहुत ही



चित्र 8.2: जिला/ब्लॉक स्तर एग्रोमेट (कृषि जलवायु) सलाहकार सेवा प्रणाली

उपयोगी है। इन बुलेटिनों को न केवल किसानों के लिए बल्कि योजनाकारों और अन्य सरकारी एजेंसियों के लिए भी कृषि में नीतिगत निर्णय लेने के लिए उपयोगी माना जाता है।

ग्रामीण कृषि मौसम सेवा (GKMS) का नेटवर्क

वर्तमान में GKMS परियोजना में 130 कृषि मौसम क्षेत्र इकाइयाँ (AMFUs) मौजूद हैं। AMFUs के अलावा 530 DAMU को चरण वार तरीके से स्थापित करने की दिशा में कार्य प्रगति पर है। ब्लॉक स्तर की सलाह शुरू करने के लिए पहले चरण में 200 जिला एग्रोमेट इकाइयों (DAMU) की स्थापना की जा रही है। वर्तमान में 668 जिलावार बुलेटिन और 2100 ब्लॉक वार बुलेटिन (प्रयोग के आधार पर) 97 AMFU और 129 DAMU द्वारा तैयार किए जा रहे हैं।

भारतीय कृषि के विकास की गति तथा उसके अन्य पहलू

पिछले कई दशकों में कृषि विकास में 2% से 3% सतत वृद्धि के फलस्वरूप अनेक व्यक्ति गरीबी रेखा से ऊपर आ सके हैं। प्रतिकूल जलवायु की अनेक घटनाओं और भौगोलिक चुनौतियों से निपटा गया। उत्पादन वृद्धि के लिए मान्य अनुसंधान हुए हैं। औसत उत्पादन क्षमता वाले अनेक राज्य और व्यक्तिगत किसान अंतरराष्ट्रीय या उससे अधिक स्तर पर आ सके हैं। परंतु, यह पाया गया है कि स्थानीय स्तर पर एक गांव में भूमि और जलसंसाधनों की समानता होते हुए भी किसानों में असमान विकास होता है, एक लाभ कमाता है जबकि दूसरा आत्महत्या करता है। कृषि भूमि को औद्योगिक और व्यावसायिक उपयोग के तहत लाया जा रहा है, जिससे शेष कृषि भूमि में तनाव पैदा हो रहा है। जलवायु परिवर्तन के प्रतिकूल प्रभाव से सफल किसान भी अक्सर गरीबी में वापस आ जाते हैं। अभी भी लगभग 30 प्रतिशत किसान गरीबी रेखा के नीचे हैं।

COVID-19 महामारी द्वारा पलायन की पलटी दिशा हमें एक अवसर प्रदान करेगी

वैश्विक तापमान के कारण कृषि क्षेत्र में काम के घंटों की बरबादी को बढ़े हुए श्रम शक्ति से कमी पूर्ति की जा सकेगी। कृषि और संबद्ध क्षेत्र में सामूहिक प्रयासों के माध्यम से समावेशी विकास 'सबका साथ, सबका विकास' को सरकार पहली प्राथमिकता दे रही है। कृषि के लिए सरकार की सब्सिडी एक सर्वकालिक उच्च स्तर

पर है। न्यूनतम आय मूल्य समर्थन योजना या कृषि ऋण माफी से क्षेत्र को अस्थायी रूप से मदद मिल रही है, परंतु लंबे समय तक संरचनात्मक सुधार के लिये कृषि बुनियादी ढांचे में निरंतर निवेश की जरूरत है। जिसको ध्यान में रखते हुये सरकार ने 20 लाख करोड़ का आर्थिक पैकेज दिया है।

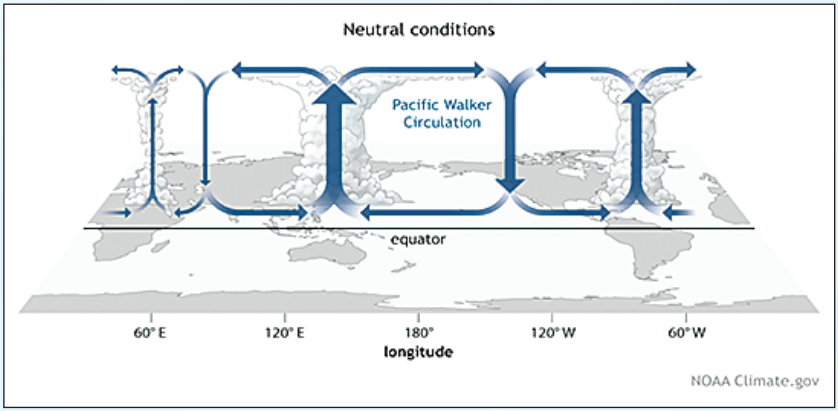
सरकार द्वारा उठाये गए कदमों से कृषि क्षेत्र में निम्नलिखित बदलाव होंगे

फसल के पैटर्न गन्ने और रबड़ जैसी नकदी फसलों के पक्ष में स्थानांतरित होना, सहकारी खेती जैसे - ई - चौपाल आदि का आरंभ करना, स्वयं सहायता समूह (जैसे कि लिज्जत पापड़) को प्रोत्साहित करना, कृषि वस्तुओं के लिए कई निर्यात क्षेत्र खोलना, खाद्य प्रसंस्करण उद्योग को प्राथमिकता देना, कृषि आधारित उद्योगों को बढ़ावा मिलना और इससे LOCAL के लिए VOCAL को बढ़ावा मिलेगा जिससे भारत आत्मनिर्भर बनेगा।

9. मॉनसून परिवर्तनशीलता, दूरसंयोजन एवं भविष्यवाणी

डॉ. सी. ज्ञानशीलन
वैज्ञानिक एफ, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान

भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून (आई एस एम) पर महासागर और वायुमंडलीय युग्मन प्रक्रियाएं, संबद्ध दूरसंयोजन एवं परिवर्तनशीलता मॉडल के लिए सबसे जटिल भूभौतिकीय समस्याएं हैं। गर्म समुद्री सतह तापमान (एस एस टी) और अधिकतम वर्षा के क्षेत्र वार्षिक समय पैमाने और मौसमी समय पैमाने दोनों पर बहुत अच्छी तरह से मेल खाते हैं। ग्रीष्म-मॉनसून के मौसम में भारतीय मॉनसूनी क्षेत्रों पर अद्वितीय संवहन की पुष्टि उपग्रह के बहिर्गामी दीर्घ-तरंग विकिरण (ओ एल आर) चित्रों से भी की जा सकती है। मॉनसून प्राचलों में परिवर्तनशीलता जैसे कि दक्षिण-पश्चिमी निचले-तल का सोमाली जेट, भूमध्यरेखीय हिंद महासागर और बंगाल की खाड़ी में एस एस टी का विकास और संबंधित संवहन भारतीय ग्रीष्मकालीन मॉनसून वर्षा (आई एस एम आर) में परिवर्तनशीलता को समझने के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। मजबूत दक्षिण-पश्चिमी हवाओं की चार आयामी संरचना जो भारतीय भूमि की ओर नमी लाती है, भारतीय भूमि पर वर्षा का निर्धारण करने के लिए निर्णायक होती है। वार्षिक वर्षा का लगभग 80% वर्षा ग्रीष्म मॉनसून अवधि में प्राप्त होता है। आई एस एम आर का मानक विचलन पूरे देश भर में होने वाली वर्षा का लगभग 10% होता है, लेकिन मध्य भारत और पश्चिमी घाट जैसे क्षेत्रों में अधिक भिन्नता पायी जाती है। कम वर्षा वाले



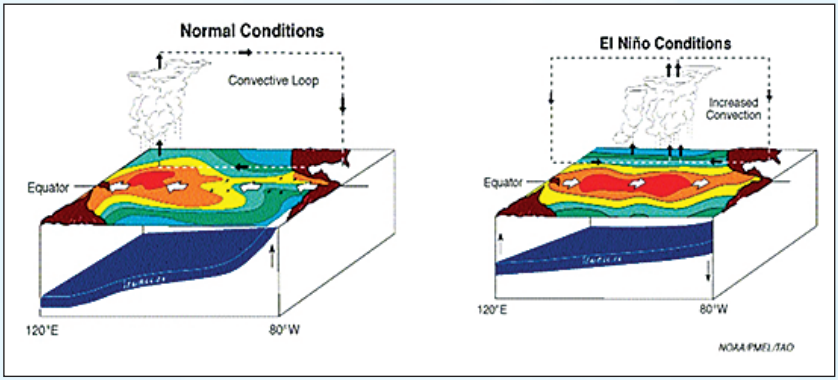
चित्र 9.1: भूमध्यरेखीय क्षेत्र में उदासीन परिस्थिति में वॉकर परिसंचरण का आरेख

वर्ष अधिकतर एल-नीनो वर्ष होते हैं और अधिक वर्षा वाले वर्ष ला-नीना वर्ष, हालांकि इन संबंधों को व्यापक रूप नहीं दिया जा सकता है।

चूंकि एल-नीनो भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर क्षेत्र में सबसे महत्वपूर्ण परिवर्तनशीलताओं में से एक है जो भारतीय मॉनसून को नियंत्रित करता है, इसके निर्माण एवं एक वर्ष से अधिक समय तक इसके संरक्षण के लिए उत्तरदायी विस्तृत क्रियाविधि को विस्तार में समझने की आवश्यकता है। उष्णकटिबंधीय प्रशांत महासागर में इसके सामान्य स्थितियों में पश्चिम में गर्म एस एस टी और पूर्व में ठंढा एस एस टी होता है। इसलिए गर्म पश्चिमी प्रशांत महासागर पर संवहन और ठंढे पूर्वी प्रशांत महासागर पर अवतलन होता है। इसके परिणामस्वरूप एक बड़ा जोनल उर्ध्वाधर परिसंचरण पैदा हो जाता है जिसे वॉकर सेल (या परिसंचरण) कहा जाता है (चित्र 9.1)। यह भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर पर पूर्वी व्यापारिक हवाओं की तीव्रता को और अधिक बढ़ा देता है जो गर्म सतही-जल को पश्चिमी प्रशांत महासागर की ओर धकेल देता है और थर्मोक्लाइन को भी समुद्र में नीचे की ओर धकेल देता है। वहाँ, यह मुख्य रूप से पश्चिम में एक गहरे थर्मोक्लाइन और पूर्व में छिछले थर्मोक्लाइन के लिए उत्तरदायी होता है। यहाँ यह जान लेना आवश्यक है कि थर्मोक्लाइन एक अंतरा-पृष्ठ तल अथवा विच्छिन्नता सतह है जो समूद्र में निचले तल के ठंढे पानी को ऊपर के तल के गर्म पानी से अलग करता है। इसलिए पश्चिम में ठंढे पानी की उपलब्धता बहुत अधिक गहराई (लगभग 200 मीटर) में होती है, जबकि ठंढा पानी पूर्व में कम गहराई (लगभग 50 मीटर) में सुलभ होता है। इसलिए प्रशांत महासागर

पर औसत परिसंचरण के रूप पश्चिम में गर्म एस एस टी और पूर्व में ठंढे एस एस टी के लिए उत्तरदायी हैं। ये सतह की स्थितियां इन क्षेत्रों पर दबाव के उतार-चढ़ाव से दृढ़ता से संबंधित होती हैं, जो नीनो 3.4 (औसत 170° W से 120° W तक और 5° S से 5° N तक) एस एस टी विसंगतियां और दक्षिणी दोलन सूचकांक (जो डार्विन और ताहिती के बीच सतह के दबाव विसंगतियों का अंतर है) के बीच गहरे संबंध में स्पष्ट रूप से देखी जा सकती हैं। पश्चिम और मध्य भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर में पश्चिमी हवा के मजबूत झोंके (Wind Bursts) सामान्य रूप से एल-नीनो के पूर्ववर्ती कारक होते हैं। भूमध्य रेखा के पास उसके समानांतर बहने वाली हवाएं भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर के नजदीक में केल्विन तरंगों को नीचे गिरा देती हैं, जो बाद में पूर्व की ओर बढ़ती हैं और थर्मोक्लाइन को नीचे धकेल देती हैं जिससे ठंढा पानी आसानी से पहुंच के बाहर हो जाता है और इस कारण सतह ठंढा नहीं हो पाता। इसलिए एल-नीनो या ला-नीना का विकास आई एस एम आर के लिए एक भविष्यवक्ता का काम करता है। नीनो 3.4 एस एस टी विसंगतियों और आई एस एम आर के बीच सहसंबंध बहुत मजबूत होता है, हालांकि यह सहसंबंध भारत के ऊपर स्थानिक तौर पर परिवर्तनशील है जिसमें कई क्षेत्रों, विशेष रूप से मध्य भारत, पर मजबूत ऋणात्मक होता है। वायुमंडल और महासागर के बीच मजबूत युग्मन के अस्तित्व को जर्कनीज फीडबैक प्रणाली (Bjerknes Feedback Mechanism) के रूप में समझाया गया है, जो मुख्य रूप से एल-नीनो दक्षिणी दोलन (ENSO) के विकास के लिए उत्तरदायी है। पूर्वी प्रशांत महासागर में प्रारंभिक एस एस टी गर्म (अर्थात अधिक) होने से वहां दबाव कम हो जाता है जो पश्चिमी हवाओं के बहने में सहयोग प्रदान करता है। भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर के नजदीक उसके समांतर बहने वाली ये पश्चिमी हवाएँ केल्विन तरंगों से संबंधित थर्मोक्लाइन को नीचे लाने के लिए बल लगाती हैं जो एस एस टी अधिक होने की प्रवृति को सहयोग प्रदान करती है और उसके द्वारा एक धनात्मक फीडबैक क्रियाविधि को दर्शाती है।

जिन क्रियाविधिओं के द्वारा एल-नीनो भारतीय मॉनसून को प्रभावित करता है वे मुख्य रूप से वाकर परिसंचरण के मॉडुलन या उलटाव के माध्यम से होते हैं (चित्र 9.2)। हिंद महासागर बेसिनवाइड ऊष्मन और एल-नीनो के बीच एक गहरा संबंध स्थापित हो जाता है। हाल ही में उत्तर-पश्चिमी प्रशांत महासागरीय परिसंचरण के माध्यम से हिंद-प्रशांत महासागरीय दूरसंयोजन को मजबूत करने में हिंद महासागर की भूमिका पर प्रकाश डाला गया है। हिंद महासागर ऊष्मन और उत्तर-पश्चिमी प्रशांत महासागर पर प्रति-चक्रवाती परिसंचरण के बीच मजबूत युग्मन की मौजूदगी का भारतीय मॉनसून

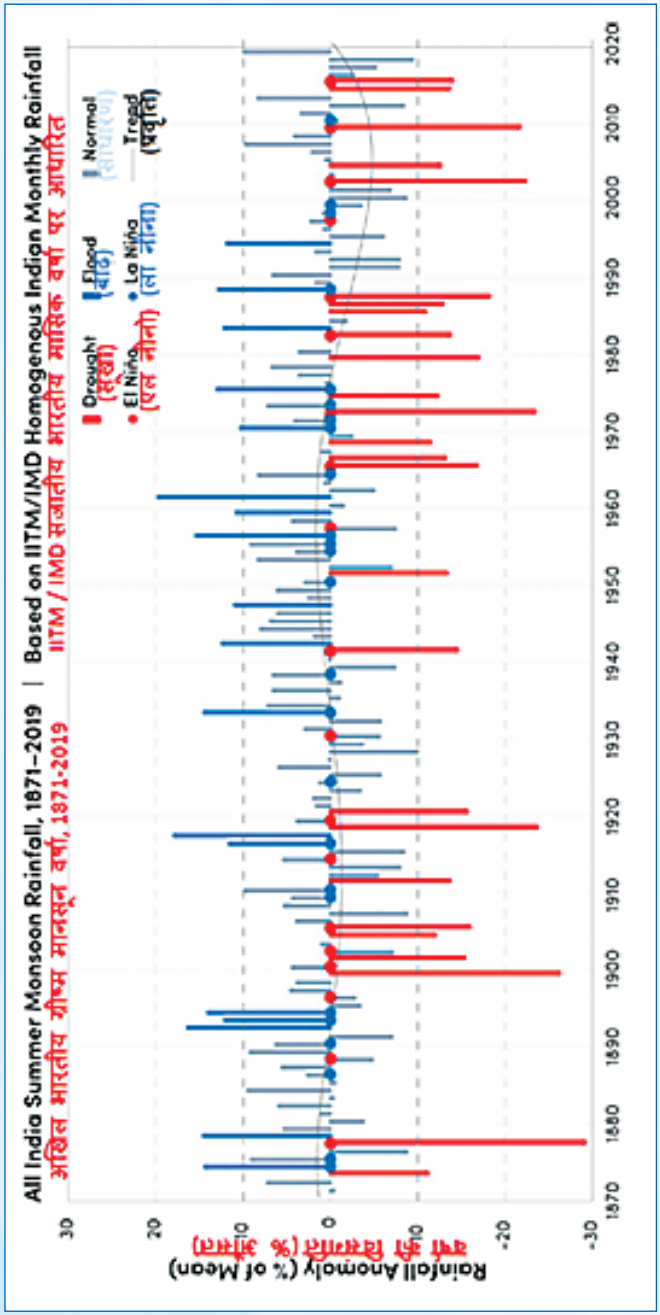


चित्र 9.2: सामान्य वर्ष (बांए) एवं एल-नीनो वर्ष (दाएं) के दौरान थर्मोक्लाइन और एस एस टी (श्रोतः नोआ)

पर भी मजबूत प्रभाव पड़ता है। उत्तर-पश्चिम प्रशांत महासागरीय प्रति-चक्रवात की तीव्रता का बढ़ना एवं इसका विस्तार इस क्षेत्र पर संवहन को दबाकर पूर्वी-मध्य भारतीय क्षेत्र में होने वाली वर्षा को प्रभावित करता है। दूसरी ओर, हिंद महासागर ऊष्मन और संबंधित क्षोभमंडलीय ऊष्मन गर्म वायुमंडलीय केल्विन तरंगों को उत्तेजित करता है जो उत्तर की ओर बढ़ती हैं, उत्तर-पश्चिम प्रशांत महासागरीय परिसंचरण को फीडबैक प्रदान करती हैं तथा भारत के दक्षिणी क्षेत्रों की ओर नमी के परिवहन को प्रभावित करती हैं। गर्म हिंद महासागर भी नम हवा के एक प्रमुख स्रोत के रूप में कार्य करता है जो भारत में, विशेष रूप से पश्चिमी घाटों पर, अधिक वर्षा होने में सहायता करता है।

हिंद महासागरीय द्विध्रुव अथवा आई ओ डी (Indian Ocean Dipole, IOD) और भूमध्यरेखीय हिंद महासागर दोलन अथवा ईक्वीनू (Equatorial Indian Ocean Oscillation, EQINOO) हिंद महासागर पर अंतर-वार्षिक परिवर्तनशीलता हैं और ये आई एस एम आर के साथ अच्छे सहसंबंध रखते हैं। हालाँकि, इन परिवर्तनशीलताओं का आपस में गहरा संबंध होता है और साथ ही ये ई एनसो (ENSO) से भी संबंधित होते हैं, जिससे इसे समझना और भी जटिल हो जाता है। मॉनसून की परिवर्तनशीलता और भविष्यवाणी की समझ में सुधार के लिए इस क्षेत्र में और शोध कार्य करना अनिवार्य है।

आई एस एम आर में दस सालों (दशकीय) में होने वाली परिवर्तनशीलता चित्र 9.3 में स्पष्ट है, जो अटलांटिक महासागरीय बहुदशकीय दोलन अथवा ए एम ओ (Atlantic Multi-decadal Oscillation or AMO) और प्रशांत महासागरीय



चित्र 9.3: आई एस एम आर में अंतर-वार्षिक परिवर्तनशीलता

दशकीय दोलन अथवा पी डी ओ (Pacific Decadal Oscillation or PDO) से बहुत निकटता से संबंधित होता है। ध्यान दें कि ए एम ओ एक दशकीय समय पैमाने पर उत्तरी गोलार्ध के अटलांटिक महासागर का एस एस टी होता है तथा पी डी ओ $20^{o}N$ के उत्तर में एक दशकीय समय पैमाने पर प्रशांत महासागर के सतही जल में दोलन होता है। यह ध्यान रखना महत्वपूर्ण है कि ऊपरोक्त परिवर्तनशीलताओं के दशकीय मोड का उष्णकटिबंधीय परिवर्तनशीलता के साथ भी मजबूत संबंध है। उदाहरण के लिए, पी डी ओ के धनात्मक चरण के दौरान, भूमध्यरेखीय प्रशांत महासागर, एल-नीनो जैसी स्थितियों को प्रदर्शित करता है और पी डी ओ के ऋणात्मक चरण के दौरान, यह ला-नीना जैसी एस एस टी विसंगतियां अनुभव करता है। इसलिए आई एस एम आर के दशकीय मॉडुलन को बहुत सावधानी से देखा जाना चाहिए।

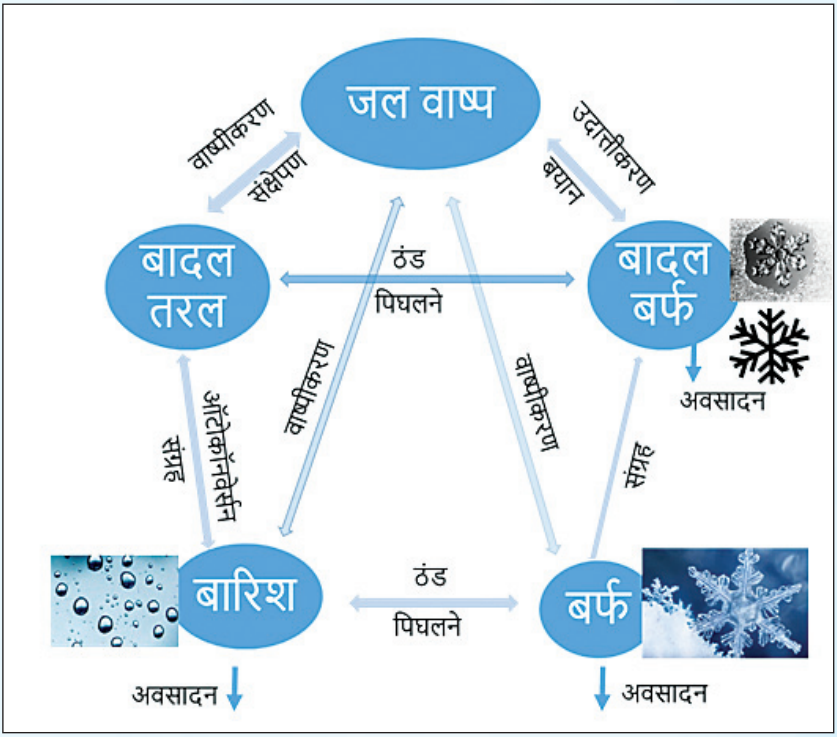
आई एस एम आर की पूर्वानुमेयता (Predictability) काफी हद तक एनसो के पूर्वानुमेयता पर निर्भर करती है। वर्तमान में उपलब्ध जलवायु मॉडलों को एनसो को अनुकरण करने के अनुकूल तैयार किया गया है, लेकिन ये मॉडल एल-नीनो की भविष्यवाणी में अस्वीकार्य धनात्मक त्रुटि पैदा करते हैं। अधिकांश जलवायु मॉडल एनसो और मॉनसून में उतना मजबूत संबंध दिखलाते हैं जितना वास्तव में होता नहीं है। इस कारण मॉनसून की भविष्यवाणी, विशेष रूप से मौसमी, अंतर-वार्षिक एवं दशकीय समय के पैमाने पर, एक बड़ी चुनौती है। यहाँ यह भी पूछना महत्वपूर्ण हो जाता है कि क्या आई एस एम आर में अंतर-वार्षिक एवं दशकीय परिवर्तनशीलता वैश्विक तापन परिदृश्य में जाएगी? एक सकारात्मक नोट पर, जलवायु मॉडल परिवर्तनशीलता में बहुत कम वृद्धि प्रक्षिप्त करते हैं।

10. वर्षा का भौतिकी: वर्षा कैसे होती है?

डॉ. तारा प्रभाकरन
वैज्ञानिक एफ, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान

वर्षा ठोस या तरल के रूप में होती है, और बादलों में होने वाली बहुत जटिल प्रक्रियाओं के द्वारा बनती है। वायुमंडल में जलवाष्प, जो भूमि और महासागर से वाष्पीकरण, पौधों से वाष्प-उत्सर्जन, अभिवहन प्रक्रियाओं इत्यदि के द्वारा वायुमंडल में आती है, की उपस्थिति से वर्षा नियंत्रित होती है। जब पृथ्वी का तापमान पानी के त्रिपक्षीय बिंदु (Triple Point) के करीब हो जाता है तब वायुमंडल में अवस्था परिवर्तन होता है। इस प्रक्रिया के कारण जल वाष्प, तरल और ठोस तीनों रूपों में वायुमंडल में साथ-साथ मौजूद होता है। ठोस वर्षा बर्फ, ओलों आदि के रूप में होती है। ओले तीव्र संवहनी मेघ में पाये जाते हैं। ये मेघ तब पैदा होते हैं जब भूमि-सतह काफी गर्म एवं शुष्क होती है और मध्य वायुमंडल आर्द्र होता है। तरल वर्षा मुख्य रूप से उष्णकटिबंधीय क्षेत्रों में होती है।

बादल में दो अलग-अलग वर्षा प्रक्रियाएं होती हैं, जो गर्म और ठंडी वर्षा प्रक्रियाएँ कहलाती हैं (चित्र 10.1)। गर्म वर्षा प्रक्रिया में, बादल केवल $0^{o}C$ से अधिक तापक्रम वाले स्थानों में पैदा होते हैं। गर्म बादलों के बनने की घटना में, बादल की बूंदें तब बनती हैं जब वायुमंडल संतृप्त होता है और जलवाष्प वायुविलयों (मेघ संघनन केंद्रक) पर संघनित होता है। बादल की बूंदें वायुमंडल में उपलब्ध जलवाष्प के संघनन से बड़ी होती हैं, बादल के मध्य नीचे गिरने लगती हैं और अन्य बादल की बूंदों से टकराती हैं। इस प्रक्रिया को संघट्ट-सम्मिलन (Collision-Coalescence) कहा जाता है और इसे गर्म बादलों में वर्षा के निर्माण में प्राथमिक प्रक्रिया माना जाता है। हालांकि,



चित्र 10.1: जलवाष्प, मेघ एवं वर्षा बनने की प्रक्रियाएँ

कभी-कभी गर्म बादल उच्चतर ऊंचाईयों या हिमांक बिंदु के नीचे के तापक्रम तक की ऊंचाईयों तक विकसित हो सकते हैं और बादल की बूंदें जमकर बर्फ के कणों जैसे ग्रौपेल (छोटे ओलों), बर्फ और अन्य बर्फ के क्रिस्टल में परिवर्तित हो सकती हैं। उच्चतर ऊंचाईयों पर उपलब्ध तापमान और नमी की मात्रा तथा जल अथवा बर्फ के संदर्भ में उपलब्ध अतिसंतृप्ति तय करता है कि किस प्रकार के बर्फ के कण बनेंगे। विदित हो कि बर्फ के ऊपर अतिसंतृप्त जल की सतह के ऊपर की अतिसंतृप्ति से कम होता है।

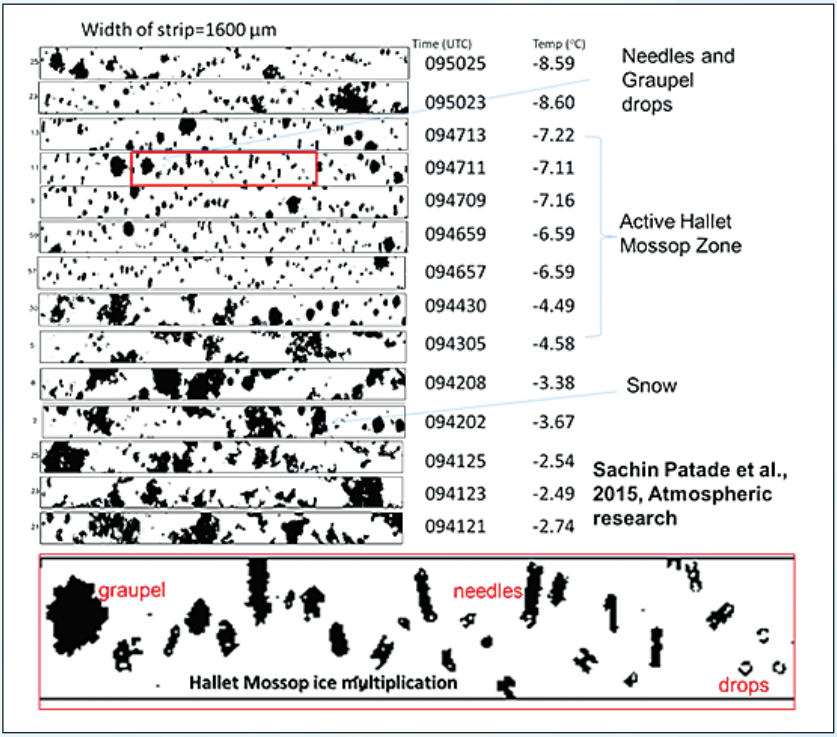
बर्फ के कण वायुमंडल में दो अलग-अलग तरीकों से बन सकते हैं, सजातीय और विषम न्युक्लिएशन के माध्यम से। सजातीय न्युक्लिएशन में बर्फ बनने के लिए वायुविलय की आवश्यकता नहीं होती है और ऐसे में पानी की बूंदें -38^{o}C से नीचे के तापमान पर जम जाती हैं। इसके विपरीत, विषम हिम न्युक्लिएशन में वायुमंडल में बर्फ के कणों को बनने के लिए बर्फ के केंद्रक कण (यानि वायुविलय) की

आवश्यकता होती है। ये बर्फ के कण जटिल प्रक्रियाओं के द्वारा बनते हैं जो हमारे पर्यावरण में अब तक कम से कम समझ में आ पाये हैं। वायुमंडल में बर्फ के केंद्रक केवल थोड़े (<10 प्रति लीटर हवा) ही पाये जाते हैं। तिस पर भी मेघ प्रक्रियाओं में वे बहुत महत्वपूर्ण होते हैं क्योंकि वे बादलों में द्वितीयक बर्फ बनने में भी मदद करते हैं। ये द्वितीयक बर्फ वर्षा की बूंदों के जमने के द्वारा या बादल की बूंदों के वाष्पन से उपलब्ध जलवाष्प के व्यय होने पर बर्फ के कणों के बढ़ने के द्वारा बनते हैं। बर्फ के केंद्रक कण या तो धूल और कृष्ण-कार्बन हो सकते हैं या जैविक कण जैसे वायरस, बैक्टीरिया या कवक। इस बात के प्रमाण हैं कि $-12^{o}C$ तापमान पर भी प्राकृतिक रूप से उत्पन्न होने वाले जैविक कण बर्फ के निर्माण को सुविधाजनक बना सकते हैं। इन तापमानों पर बर्फ के न्युक्लिएशन की समझ के बारे में यह कहा जा सकता है कि मेघ-भौतिकी में अनुसंधान का यह अभी एक विकसित होता हुआ क्षेत्र है।

हालांकि, मॉनसून के वातावरण में विभिन्न प्रकार के बादल पाये जाते हैं, पर सभी वर्षा नहीं देते। इन बादलों में जो प्रमुख रूप से बादल होते हैं वो हैं स्तरी (Strati-form) बादल (जैसे, स्ट्रेटस, अल्टोस्ट्रेटस, स्ट्रेटो-क्युमुलस इत्यादि) जो एक बड़े क्षेत्र पर फैले हुए होते हैं और विभिन्न प्रकार के संवहनी (Convective) बादल (जैसे, क्युम्यलस, अल्टोक्युमुलस और क्युमुलोनिम्बस)। निंबोस्ट्रेटस बादलों में क्युमुलोनिम्बस बादलों की तुलना में वर्षा की छोटी बूंदें होती हैं जो लम्बे समय तक वर्षा देती हैं। मॉनसून के दौरान, वायुमंडल के निचले तल में पाया जाने वाला मॉनसून जेट भूमि क्षेत्रों पर पर्याप्त नमी लाता है। यही नमी अनिवार्य रूप से बादल बनने और वर्षा होने के लिए जिम्मेदार है।

भारतीय क्षेत्र में, वर्षा की प्रक्रियाएं पूर्व-मॉनसून और मॉनसून के मौसमों में बहुत भिन्न होती हैं। पूर्व-मॉनसून में वायुमंडल की हवा बहुत शुष्क होती है और सतह से ऊपर उठने वाली हवा का पार्सल अधिक ऊंचाई पर जाकर संतृप्त (100% आर्द्रता) हो पाता है और कमतर क्षैतिज तथा अधिक ऊर्ध्वाधर मोटाई वाले बादल बनाता है। दूसरी ओर, मॉनसून मौसम में, पर्याप्त वायुमंडलीय आर्द्रता होने के कारण कम ऊंचाई पर बादल बनना संभव हो पाता है। मॉनसून मौसम के बादल अधिक क्षैतिज तथा कम ऊर्ध्वाधर मोटाई वाले बादल होते हैं। ओले बर्फ के जमीन तक पहुंच पाने की संभावना जिन स्थानों (जैसे, उच्च हिमालयी क्षेत्र में) पर होती है, वहाँ बर्फ की वर्षा भी होती है। हालाँकि, भारतीय क्षेत्रों में अधिकांश वर्षा तरल रूप में होती है।

भारतीय क्षेत्र में, बादलों की ऊर्ध्वाधर संरचना और बादलों में कैसे वर्षा बनती है इसे हम देख सकते हैं। ज्यादातर मामलों में, वर्षा की बूंदे बर्फ के रूप में उत्पन्न



चित्र 10.2: काईपीक्स के दौरान निम्बोस्ट्रेटस मेघों में प्रेक्षित मेघ-बूँदें, वर्षा-बूँदें और वर्फ के कण

हुई होती है और विगलन परत (0^oC) से होकर गिरने के बाद गर्म तापमान में आती हैं और पिघलकर कुछ मिलीमीटर व्यास की तरल बूंदें बन जाती हैं। यदि उन बूंदों में ओले मौजूद होते हैं तो वे बिना पूरी तरह से पिघले धरती तक भी पहुंच सकते हैं। अन्य बर्फ के कण जैसे कि हिमपात ठंढे तापमान में बन सकते हैं और विगलन परत से गुजरते हुए वर्षा की बूंदों में परिवर्तीत हो सकते हैं।

वैश्विक जल चक्र के लिए बर्फ अवस्था की प्रक्रियाएँ बहुत महत्वपूर्ण होती हैं। भूमि पर दुनिया की अधिकांश वर्षा का योगदान बर्फ अवस्था की प्रक्रियाओं से ही होता है। समुद्र के ऊपर, तरल अवस्था की प्रक्रियाओं से बने बादल अधिक वर्षा देते हैं। मिश्रित अवस्था के बादलों में बर्फ और तरल दोनों शामिल होते हैं, जो ध्रुवीय क्षेत्रों के साथ-साथ उन क्षेत्रों में भी मौजूद होते हैं जहां अधिक ऊर्ध्वाधर मोटाई वाले क्युमुलस बादल और निंबोस्ट्रेटस बादल मौजूद होते हैं, खासकर मॉनसून के बादलों में।

बादल और वर्षा दोनों का निर्माण एक बड़े स्थान और काल के पैमानों पर होता है। संवेग स्थानांतरण का प्रवाह टरबुलेंस (turbulence) के पैमाने से भी छोटा या यों कहें कि गति का सबसे छोटा पैमाना होता है। तरल मेघ की बूंदों के बनने के साथ ही गुप्त ऊष्मा मुक्त होती है जिसके कारण ऊष्मा पैदा होती है और यह बड़े पैमाने, जैसे वायुमंडल में मौसम क्रियाविधि, पर स्थानांतरित हो जाती है। इस प्रकार बादल वायुमंडल में ऊर्जा के पैदा होने एवं उसके पुनर्वितरण और वायुमंडल के जल और विकिरण संतुलन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। बादल विकिरण को वापस अंतरिक्ष में परावर्तित कर देते हैं जिसके परिणामस्वरूप सतह ठंढी हो जाती है और जब वे रात के दौरान मौजूद होते हैं तो दीर्घ तरंगदैर्ध्य के विकिरण को ग्रहण कर सकते हैं जिससे रात की गर्मी बढ़ जाती है। भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान की एक परियोजना काईपीक्स (C-IPEEX, Cloud Aerosol Interaction and Precipitation Enhancement Experiment) में प्रेक्षित निम्बोस्ट्रेटस मेघों में विद्यमान मेघ-बूँदें, वर्षा-बूँदें और वर्फ के कण चित्र 10.2 में दिखाए गये हैं ।

मानवजनित गतिविधियां वायुमंडल में वायुविलय की संख्या लगातार बढ़ाती जा रही हैं और ये वायुविलय जो प्रदूषण पैदा करने वाले वायुविलय भी कहे जाते हैं बादल एवं वर्षा के गुणों को नाटकीय ढंग से परिवर्तित करते हुए पाये जा रहे हैं। हवा के प्रति घन आयतन में वायुविलय की संख्या में वृद्धि से वायुमंडल की स्वच्छ स्थिति, जिसमें कुछ ही वायुविलय होते हैं, की तुलना में छोटे आकार के अनेक मेघ-बूंदों का निर्माण होता है। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि वायुमंडल में उपलब्ध जलवाष्प की नियत मात्रा अनेक वायुविलयों जो मेघ संघनन केंद्रक का काम करते हैं के बीच साझा कर लिया जाता है। यह प्रथम अप्रत्यक्ष प्रभाव (टाऊमी प्रभाव) कहलाता है जिसमें बादल और अधिक विकिरण अंतरिक्ष में परावर्तित करने में सक्षम हो जाते हैं। एक बार जब बादल लंबे समय तक टिके रह जाते हैं और वर्षा नहीं होती है, तो बादलों का जीवनकाल बढ़ जाता है। यह दूसरा अप्रत्यक्ष प्रभाव (जीवन-काल प्रभाव) कहलाता है। ये दो प्रक्रियाएँ जिनके द्वारा बादल अप्रत्यक्ष रूप से विकिरण और ऊर्जा और जल संतुलन को प्रभावित करते हैं 'वायुविलय-मेघ अन्योन्यक्रिया' कहलाता है। एक बार जब ये पहलू वर्षा होने की संभावना को बदल देते हैं तो यह वायुविलय-मेघ-वर्षा अन्योन्यक्रिया कहलाता है।

11. मेघ भौतिकी: बादल कैसे बनते हैं?

डॉ. जी. पांडीतुरई
वैज्ञानिक एफ, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान

प्रस्तुत व्याख्यान में बादलों से संबंधित कुछ मूल बातों, जैसे वे वायुमंडल में कैसे बनते हैं, मेघ प्रक्रियाओं की समझ में हाल में क्या प्रगति हुई है और इस शोध क्षेत्र में एम ओ ई एस की पहल को समाविष्ट किया गया है।

बादलों का महत्व

- बादल मौसम के पूर्वानुमान और चेतावनी में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।
- ये जलवायु परिवर्तन के अध्ययन में प्रमुख अनिश्चितताओं में से एक हैं।
- बादल जलवायु को कैसे प्रभावित करते हैं और बदलती जलवायु बादलों को कैसे प्रभावित करेगी इसे बेहतर तरीके से समझने की आवश्यकता है।
- बादल जल चक्र में तथा जल संसाधनों के वैश्विक वितरण को आकार देने में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

बादल क्या हैं?

बादल छोटी बूंदों के रूप में तरल पानी से बने होते हैं जो इतने हल्के होते हैं कि गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध हवा में तैरने में सक्षम हो पाते हैं। बादल एक प्रकार के वायुविलय हैं जो वायुमंडल के जल के संदर्भ में अतिसंतृप्त होने पर अस्तित्व में आते हैं और तेजी से बढ़कर दृष्टिगोचर होते हैं।

पृथ्वी के विकिरण बजट में बादलों की भूमिका

ऊर्जा सूर्य से लघु-तरंग विकिरण के रूप में चलकर पृथ्वी प्रणाली में प्रवेश करती है और दीर्घ-तरंग विकिरण के रूप पृथ्वी को छोड़ती है। पृथ्वी की ओर आने वाले सौर विकिरण में से लगभग 30% बादलों, वायुविलय और भूमि-सतह द्वारा अंतरिक्ष में वापस परावर्तित कर दिया जाता है। शेष 70% सौर विकिरण पृथ्वी प्रणाली में अवशोषित हो जाता है। इनमें से कुछ विकिरण वायुमंडल को गर्म करता है, लेकिन अधिकांश भाग वायुमंडल के माध्यम से ही भूमि तथा सागर सतहों को गर्म करता है। वायुमंडल में बादलों की उपस्थिति पृथ्वी-सतह तक पहुंचने वाले लघु-तरंग विकिरण की मात्रा को कम कर देती है और साथ ही साथ हरितगृह गैसों की तरह अतिरिक्त अवरक्त विकिरण सतह की ओर प्रकीर्णित करके सतह की ओर आने वीली विकिरणों में योगदान करती है। पृथ्वी-वायुमंडल प्रणाली द्वारा अवशोषित शुद्ध सौर विकिरण को संतुलित करने के लिए स्वयं वायुमंडल (बादलों और गैसों सहित) अंतरिक्ष में अधिकांश ऊर्जा का विकिरण करता है। प्लैनेटरी अल्बिडो काफी हद तक मेघों (मेघ-खंड) की प्रसार सीमा पर निर्भर करता है, लेकिन यह उन बादलों की प्रकाशीय मोटाई (Optical thickness) पर भी निर्भर करता है। जलवायु की सभी चर्चाओं में बादलों को ध्यान में रखना महत्वपूर्ण है, क्योंकि उनके अल्बिडो बहुत अधिक बदल सकते हैं, 10% से कम से लेकर 90% से अधिक तक।

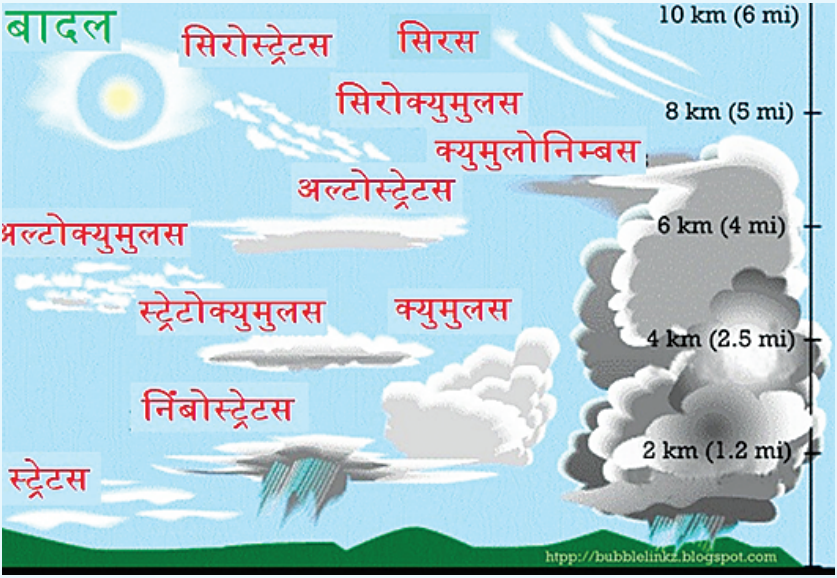
बादलों का वर्गीकरण

सबसे पहला मेघ वर्गीकरण ल्यूक हावर्ड (भेषजज्ञ एवं शौकिया मौसम विज्ञानी) द्वारा 1802 में प्रस्तावित किया गया था। यह वर्गीकरण उनकी आकृति और उस ऊंचाई पर आधारित है जिस पर वे मुख्य रूप से पाये जाते हैं। मध्यम ऊंचाई वाले बादलों के नाम में उपसर्ग, अल्टो, तथा अधिक ऊंचाई वाले बादलों के नाम में सिरो लगा दिया जाता है (चित्र 11.1)।

पारंपरिक रूप से बादलों के निम्लिखित चार बुनियादी प्रकार हैं:

- क्युमुलस = ऊर्ध्वाधर विकास वाले बादल
- स्ट्रेटस = स्तरित बादल
- सिरस = पतले महीन बर्फ के बादल
- निम्बस = वर्षा उत्पन्न करने वाले बादल

वर्तमान में बादलों का जो वर्गीकरण उपलब्ध है उसके अनुसार बादलों के निम्नलिखित दस प्रकार हैं:



चित्र 11.1: बादलों का वर्गीकरण

- कम ऊंचाई वाले बादल (2 कि.मी. के नीचे) = स्ट्रेटस, निंबोस्ट्रेटस, स्ट्रेटोक्युमुलस
- मध्यम ऊंचाई वाले बादल (2-6 कि.मी.) = अल्टोस्ट्रेटस, अल्टोक्युमुलस
- अधिक ऊंचाई वाले बादल (6 कि.मी. से ऊपर) = सिरस, सिरोस्ट्रेटस, सिरोक्युमुलस
- ऊर्ध्वाधर विकास वाले बादल (इनका विस्तार ऊंचाई में बहुत अधिक होता है।) = क्युमुलस, क्युमुलोनिम्बस।

उपग्रह मौसम विज्ञान के उद्भव ने नए मेघ वर्गीकरण योजनाओं के विकास को प्रेरित किया है जिसकी जानकारी नीचे दी जा रही है।

बादलों को उनके मेघ-शिखर के तापमान, जिसे अवरक्त संवेदक (Infrared Sensor) के द्वारा शुद्धता से मापा जाता है और उनकी प्रकाशीय गहराई जिसे सरलता से उनके दृश्य एल्बिडो द्वारा मापा जा सकता है, के अनुसार वर्गीकृत किया जाता है।

ऐसा आसानी से कहा जा सकता है कि ठंढे शिखर के साथ प्रकाशतः मोटे बादल वर्षा के साथ जुड़े हुए होते हैं।

उच्च पतले बादलों का हरितगृह प्रभाव बहुत मजबूत होता है।

मेघ-बूंदों को बनाने वाले कारक

1. नमी 2. वायुविलय 3. शीतलन

बादल कैसे बनते हैं?

वास्तविक वाष्प-दाब हवा के कुल जलवाष्प की मात्रा को इंगित करता है, जबकि संतृप्त वाष्प-दाब बताता है कि किसी तापमान पर हवा को संतृप्त करने के लिए कितना जलवाष्प आवश्यक है। संतृप्त सापेक्षिक आर्द्रता 100% है। वाष्प-दाब बढ़ाने या तापमान में कमी करने से हवा अतिसंतृप्त हो जाती है। नियमानुसार, नमी बढ़ाने की तुलना में ठंढा करके हवा को संतृप्ति तक लाना आसान होता है। जलवाष्प के संघनन के लिए वायुमंडल में केवल 100% सापेक्षिक आर्द्रता का होना ही पर्याप्त नहीं है। इसके लिए हवा में तैरते हुए छोटे कण जिन्हें संघनन केंद्रक कहा जाता है का उपलब्ध होना आवश्यक है। ये कण बेहद छोटे और हल्के होते हैं। इनके बिना जलवाष्प को संघनित होने के लिए कई प्रतिशत सापेक्षिक आर्द्रता की आवश्यकता होती है (चित्र 11.2)।

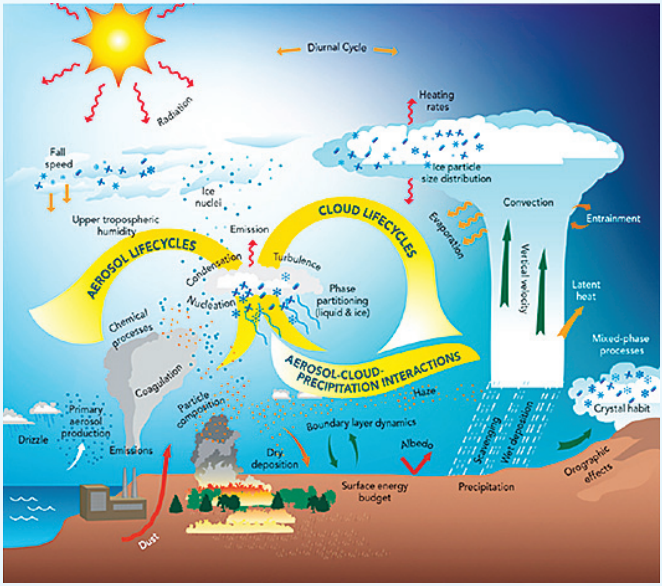
जलवाष्प को वायुमंडल में संघनित होकर बादलों में परिवर्तित होने का काम अक्सर हवा के ऊपर की ओर उठने के द्वारा पूरा होता है।

वायु को ऊपर उठाने वाली प्रक्रियाएँ निम्न हैं:

1. स्थानीयकृत संवहन (Localized Convection) - उत्प्लावकता गर्म हवा के पार्सल को उठाता है।
2. पर्वतीय उत्तोलन (Orographic Lifting) - एक स्थलाकृतिक अवरोध के साथ बाध्यकारी उत्तोलन
3. अभिसरण (Convergence) - हवाएँ अभिसरित होती हैं और वायु ऊपर की ओर उठने के लिए बाध्य हो जाती है।
4. फ्रंट के कारण उत्तोलन (Frontal Lifting) - उत्प्लावकता गर्म हवा को ठंढी हवा के ऊपर विक्षेपित करती है।

बादलों के गुण

बादलों को जो महत्वपूर्ण बनाता है वो है उनके विकिरण का गुण, दृश्य विकिरण को प्रकीर्णित करने और अवरक्त विकिरण को अवशोषित करने एवं उत्सर्जित करने की सहजप्रवृति। दृश्य विकिरण का प्रकीर्णन निलंबित जल द्रव्यमान की मात्रा और निलंबित कणों के आकार दोनों पर निर्भर करता है, जबकि अवरक्त विकिरण को अवशोषित एवं उत्सर्जित करने में बादलों की प्रभावकारिता मुख्य रूप से निलंबित जल



चित्र 11.2: वायुविलय-मेघ-वर्षा अन्योन्यक्रिया से संबंधित प्रक्रियाएं

द्रव्यमान पर निर्भर करती है। यद्यपि निलंबित जल द्रव्यमान जिसे तरल जल-पथ कहा जाता है एक मेघ स्थूल प्राचल है, पर यह काफी हद तक गतिक प्रक्रियाओं द्वारा नियंत्रित किया जाता है। अभिलाक्षणिक बूंदों का आकार एक सूक्ष्मभौतिकी का प्राचल है और यह मेघभौतिकी की प्रक्रियाओं द्वारा प्रभावशाली ढंग से प्रभावित किया जा सकता है।

स्थूल प्राचल

- मेघ व्याप्ति (मेघ-खंड)
- मेघ आधार एवं मेघ शिखर की ऊंचाई, ऊर्ध्वाधर प्रसार
- निलंबित जल द्रव्यमान (तरल जल-पथ),
- प्रकाशीय मोटाई

सूक्ष्मभौतिकी संबंधित गुण

- मेघ बूंदों का संख्या सांद्रण
- बूंद का आकार
- मेघ संघनन केंद्रक सक्रियण
- बर्फ न्यूक्लिएशन

संपादक मंडल

डॉ. ए. सूर्यचंद्र राव
अध्यक्ष

डॉ. कौसर अली
सदस्य

डॉ. मिलिन्द मुजुमदार
सदस्य

डॉ. ओ.एन. शुक्ल
सदस्य

श्री अजित प्रसाद
संयोजक

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान

(पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय, भारत सरकार का एक स्वायत्त संस्थान)

डॉ. होमी भाभा मार्ग पाषाण, पुणे– ४११ ००८