जलवायु परिवर्तन अनुमानों में अनिश्चितताएं

मनोहर अरोड़ा

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की

सारांश

वैश्विक जलवायु मॉडलों (GCMs) से अनुरूपित मौसम संबंधी मानक, वर्षा और तापमान, जलवायु परिदृश्यों की जलग्रहण स्तर पर अनुक्रिया का अध्ययन करने हेतु जलविज्ञानीय निदर्शो के लिए एक प्रमुख इनपुट के रूप में कार्य करते हैं। वर्षा और तापमान के GCM सिमुलेशन, हालांकि, मॉडल संरचना, परिदृश्यों और प्रारंभिक स्थितियों के कारण अनिश्चित हैं, जिसके परिणामस्वरूप यदि अनिश्चितता के कारण पर विचार किए बिना इनका उपयोग प्रभाव मूल्यांकन के लिए किया जाता है, तो परिणाम पक्षपातपूर्ण होते हैं। यह मुख्य रूप से तीन कारकों के कारण होता हैः प्राकृतिक परिवर्तनशीलता, मॉडल की अनिश्चितता और जी.एच.जी उत्सर्जन परिदृश्य अनिश्चितता। सामान्य तौर पर, परिदृश्य और मॉडल विन्यास अनिश्चितता दीर्घकालिक जलवायु परिवर्तन को, विशेष रूप से वैश्विक स्तर पर, प्रभावित करती है। आंतरिक परिवर्तनशीलता का योगदान निकट अवधि के अनुमानों और उच्च क्रम जलवायु आँकड़ों के लिए बढ़ जाता है। डाउन स्कैलिंग अनिश्चितता मुख्य रूप से स्थानीय प्रक्रियाओं से प्रभावित चरों, जैसे कि ग्रीष्मकालीन संवहन वर्षा, के लिए महत्वपूर्ण है। यह तर्क दिया जाता है कि अनिश्चितता के इन स्रोतों के कारण, जलवायु पूर्वानुमान संबंधी समस्याओं का निर्धारण एक संभाव्य तरीके से किया जाना चाहिए, न कि नियतात्मक तरीके से। अंतर–मॉडल भिन्नता को हल करने से अनिश्चितता में काफी कमी आ सकती है, लेकिन अभी भी निकट अवधि में जलवायु परिवर्तनशीलता, विशेष रूप से तापमान में, के कारण दीर्घकालिक भविष्य के उत्सर्जन परिदृश्यों में एक प्रचुर अलघुकरणीय अप्रासंगिक अनिश्चितता है।

मुख्य शब्द : जलवायु परिवर्तन, सामान्य परिसंचरण मॉडल, वैश्विक जलवायु मॉडल, ग्रीन हाउस गैसें, मानसून

Abstract

The meteorological parameters Rainfall and temperature, simulated using Global Climate Models (GCMs), serve as a key inputs for hydrological models in studying catchment response to climate scenarios. GCM simulations of rainfall and temperature, however, are uncertain due to model structure, scenarios and initial conditions, which results in biased outcomes if used for impact assessment without due consideration of the uncertaintiesThis is mainly due to three factors: natural variability, model uncertainty, and GHG emission scenario uncertainty. In general, scenarioand model configuration uncertainty dominate for long term climate change, especiallyat the global scale. The contribution of internal variability increases for near term projections and for higher order climate statistics. Downscaling uncertainty is significant for variables primarily affected by local processes, such as summer convective precipitation. It is argued that because of these sources of uncertainty, the climate prediction problemshould be addressed in a probabilistic, rather than deterministic way. Resolving inter–model differences could reduce uncertainty significantly, but there is still a large irreducible uncertainty due to climate variability in the near–term and, particularly for temperature, future emissions scenarios in the long–term.

Key words : Climate change, General Circulation Model, Global Climate Models, Green House Gases, Monsoon

परिचय

ग्रीन हाउस गैसों (जीएचजी) के कारण भूमण्डलीय तापक्रम वृद्धि के प्रभावों का आकलन करने और उपयुक्त अनुकूलन और शमन प्रतिक्रिया रणनीतियों को विकसित करने के लिए, 21 वीं शताब्दी हेतु, ग्रीन हाउस गैसों (जीएचजी) के उत्सर्जन में वृद्धि के कारण वैश्विक स्तर से क्षेत्रीय स्तर पर जलवायु परिवर्तन के अनुमान आवश्यक हैं। जलवायु परिवर्तन न केवल मानव जनित कारणों, उदाहरणार्थ, वायुमंडलीय जी.एच.जी और एरोसोल सांद्रता में वृद्धि के कारण, बल्कि प्राकृतिक कारकों, जैसे कि सौर गतिविधि में परिवर्तन, और/या जलवायु प्रणाली में प्राकृतिक अप्रत्याशित परिवर्तनशीलता के कारण भी हो सकते हैं। इन सभी मानव जनित कारको और प्राकृतिक कारकों के साथ–साथ अनिश्चितता के कारणों को भविष्य के जलवायु अनुमानों के उत्पादन के लिए जानना आवश्यक है।

इसके अलावा, जलवायु अनुमानों को मॉडलिंग उपकरणों की एक श्रृंखला के माध्यम से, जिसमें युग्मित

वायुमंडल–महासागर वैश्विक जलवायु मॉडल (AOGCMs) से सांख्यिकीय और गतिशील डाउनस्केलिंग तकनीक (जैसे क्षेत्रीय जलवायु मॉडल या आर.सी.एम.एस) शामिल हैं, उत्पादित किया जाता है। ये उपकरण हमारे प्रासंगिक प्रक्रियाओं और जलवायु प्रणाली में अनिश्चितताओं के वर्णन के अपूर्ण ज्ञान से भी प्रभावित हैं।

इस प्रकार यह स्पष्ट है कि 21 वीं सदी के लिए जलवायु परिवर्तन अनुमानों के उत्पादन में अनिश्चितता के कई स्रोत मौजूद हैं। वे अनुमानों को उत्पन्न करने में शामिल कदमों के कैस्केड में मिश्रित होते हैं और उनका पूर्ण निरूपण जलवायु परिवर्तन समस्या का एक प्रमुख तत्व है, क्योंकि यह जलवायु परिवर्तन से संबंधित जोखिमों और अनुकूलन और शमन विकल्पो की लागतों के आकलन के लिए आवश्यक जानकारी का एक आवश्यक भाग है। दरअसल, पिछले एक दशक के दौरान बढ़ती अनुसंधान रुचि ने, जलवायु परिवर्तन अनुमानों में अनिश्चितताओं के मूल्यांकन, मात्रा निर्धारण और अनिश्चितताओं के प्रतिनिधित्व के प्रभाव आकलन और जोखिम विश्लेषण अध्ययन का रूप ले लिया है।

यह ध्यान रखना महत्वपूर्ण है कि "अनिश्चितता" शब्द का आम तौर पर नकारात्मक अर्थ होता है, जिसका अर्थ है कि अनिश्चितता हमारे समस्या के अल्प ज्ञान से संबंधित है और इसे अनुसंधान को आगे बढ़ाकर यथासंभव कम किया जाना चाहिए। यह निश्चित रूप से अनिश्चितता के कुछ स्रोतों के लिए सच है, जिसे हम मोटे तौर पर "ज्ञान अनिश्चितता" के रूप में संदर्भित कर सकते हैं। दूसरी ओर, जैसा कि निम्नलिखित चर्चा से स्पष्ट होगा, अनिश्चितता के कुछ तत्व जलवायु परिवर्तन की समस्या के लिए आंतरिक हैं और इस प्रकार यह सबसे महत्वपूर्ण है कि उनका संभावित परिणामों की पूरी श्रृंखला प्रदान करने के लिए, विशेष रूप से कम संभावना–उच्च प्रभाव परिणाम हेतु, पूरी तरह से निरूपण किया जाये। हम इसे "आंतरिक अनिश्चितता" के रूप में संदर्भित कर सकते हैं और इस मामले में, विरोधाभासी रूप से, बढ़े हुए ज्ञान से अनिश्चितता में वृद्धि हो सकती है। समझना और ज्ञान की समस्याओं को (या "बुरा") अनिश्चितता और आंतरिक (या "अच्छा") अनिश्चितता से जोड़ना एक मुश्किल काम है, खासकर जब गैर–विशेषज्ञों के साथ इस मुद्दे को संवाद करना हो।

यह आकलन करके कि मॉडल परिणाम, अवलोकन आधारित आंकडों (अनुभवजन्य सटीकता) के लिए कितने उपयुक्त हैं, और वे अन्य मॉडलों या मॉडल संस्करणों (सुदृढ़ता) से कितनी अच्छी तरह सहमत हैं, जलवायु मॉडल का मूल्यांकन किया गया है (उदाहरण फ़्लैटो इत्यादि. **2013**)। पार्कर (**2011**) ने तर्क दिया है कि सुदृढ़ता से भविष्य के जलवायु परिवर्तन के अनुकरण के आत्मविश्वास में वृद्धि नहीं होती है। बम्बरगर इत्यादि. (**2017**) भविष्य के जलवायु मॉडल भविष्यवाणियों में आत्मविश्वास को बनाये रखने की चुनौती को सटीकता, मजबूती और पृष्ठभूमि ज्ञान के साथ संयोजन के माध्यम से संबोधित करते हैं। जटिल मॉडलो के अनुभवजन्य मापदण्डीकरण और ज्ञानात्मक क्षमता के सीमित ज्ञान के साथ सुसंगतता का आकलन करना सिमित है(लेनहार्ड और विंसबर्ग **2010**) ।

सुंग इत्यादि., **2018** ने **26** जलवायु अनुमानों का चयन किया, जो प्रतिनिधि एकाग्रता मार्ग (आरसीपी) **4.5** के तहत दैनिक वर्षण प्रदान करते हैं। परिणाम बताते हैं कि एक संदर्भ अवधि (**1980~2005**) के लिए **20** वर्ष के प्रत्यागमन काल की वर्षा, **2011** से **2040** के लिए **16.6** वर्ष, **2041** से **2070** के लिए **14.1** वर्ष और **2071** से **2100** के लिए **12.8** वर्ष के सदृश है, जिससे भविष्य में अधिकतम चरम दैनिक वर्षा के संकेत मिलते हैं और आगे संकेत मिलता है कि संदर्भ जलवायु के तहत डिजाइन किये गए मानक जलवायु परिवर्तन से निपटने में कामयाब नहीं है, और तदनुसार आधारभूत संरचना की स्थिरता में सुधार के लिए डिजाइन मानकों के संशोधन की आवश्यकता है।

कार्बन डाई ऑक्साइड (CO_2) के फैलाव की गणना में विसंगतियां जलवायु परिवर्तन मॉडल अनुमानों में अनिश्चितता को जन्म देती हैं, यह एक समस्या है जो दो दशकों से अधिक समय से बनी हुई है (सोडेन, इत्यादि. 2018) फैलाव के बल की स्पष्ट गणना और फैलाव के परिवहन के मापदंडों की सावधानीपूर्वक व्याख्या इन अनिश्चितताओं को काफी हद तक कम करने और अनुमानों को बेहतर बनाने के लिए एक सीधा साधन प्रदान करती है।

विभिन्न जलवायु चरों के अनुमानों में अनिश्चितताओं को आमतौर पर केवल संभावित मूल्यों की सीमाओं द्वारा वर्णित किया जाता है। जलवायु परिवर्तन के संभावित प्रभाव के आकलन के लिए, इन चरों का संभाव्यता वितरण अधिक उपयोगी होगा। इस तरह के वितरणों को प्राप्त करना आमतौर पर संगणना के रूप से महंगा होता है और जलवायु अनुमानों को प्रभावित करने वाली जलवायु प्रणाली की विशेषताओं के लिए संभाव्यता वितरण के ज्ञान की आवश्यकता होती है। इस तरह के कुछ अध्ययन ऊर्जा संतुलन/अपवर्तन प्रसार मॉडल के साथ किए गए हैं (वेबस्टर और सोकोलोव, 2000)।

यह लेख अनिश्चितता के कुछ संभावित स्रोतों को दर्शाता है। हालांकि, इस तरह की अनिश्चितताओं के उत्तर नियोजन प्रयासों के लिए जलवायु अनुमानों का उपयोग करते समय ली जानी वाली सावधानियों के लिए मार्गदर्शन प्रदान कर सकते हैं।

जलवायु पूर्वानुमान बनाम प्रक्षेपण

जलवायु पूर्वानुमान, जलवायु प्रणाली की वर्तमान स्थिति (और एक बाहरी प्रभावित करने वाला परिदृश्य) के ज्ञान के तहत जलवायु प्रणाली के वास्तविक विकास के बारे में कथन हैं। वे आम तौर पर प्रेक्षण में अनिश्चितता का प्रतिनिधित्व करने वाली प्रारंभिक परिस्थितियों से शुरू करके प्राप्त किए जाते हैं। तब मॉडल का उपयोग कर जलवायु चर के पूर्वानुमान को

प्राप्त करने के लिए सामूहिक प्रभाव को विकसित किया जाता है। जलवायु को प्रभावित करने वाले कारक वे हैं: जो जलवायु प्रणाली को बदलने के लिए "बल" या "सहज प्रवृत्ति" देते हैं, उदाहरणार्थ सूर्य के ऊर्जा उत्पादन में भिन्नताएं, ग्रीनहाउस गैसें या ज्वालामुखी विस्फोट। बाहरी प्रभावित करने वाले कारक जलवायु प्रणाली के लिए बाहरी हैं (जैसे इसकी मॉडलिंग की जाती है), उदाहरण के लिए, सूर्य के ऊर्जा उत्पादन में भिन्नता।

जलवायु प्रक्षेपण प्रणाली के बाहरी प्रभावित करने वाले परिदृश्यों की प्रतिक्रिया के बारे में बतलाते हैं (आईपीसीसी 2014)। वे आमतौर पर प्रारंभिक परिस्थितियों से प्रारंभ करके प्राप्त किये जाते हैं, जो कि (भविष्यवाणियों के विपरीत) पूर्व–औद्योगिक समय में जलवायु प्रणाली की प्रारंभिक परिस्थितियों (जहां प्रणाली को बाहरी प्रभावित करने वाले कारको के लिए कम से कम आंशिक रूप से समायोजित किया गया है) की संभावित (और अवलोकन आधारित नहीं) आरंभिक स्थिति का प्रतिनिधित्व करते हैं। पूर्व–औद्योगिक समय पर)। तब जलवायु चर के पूर्वानुमान (एक निश्चित बाहरी प्रभावित करने वाले परिदृश्य की कल्पना करते हुए) प्राप्त करने के लिए इस सामूहिक प्रभाव को आगे बढ़ाने के लिए मॉडल का उपयोग किया जाता है। भविष्यवाणियां और प्रक्षेपण महत्वपूर्ण हैं: वे भविष्य की जलवायु प्रणाली और नियमित रूप से नीतिगत फैसलों के बारे में सबसे महत्वपूर्ण जानकारी प्रदान करते हैं। वास्तव में, यह दावा करने में कोई अतिशयोक्ति नहीं लगती है कि नीति निर्माताओं को जो पूर्वानुमान सबसे अधिक बार दिखाए गए हैं, वे प्रक्षेपण हैं।

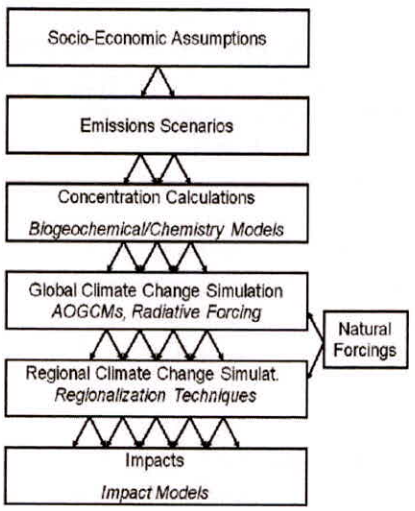
जलवायु परिवर्तन प्रक्षेपणों में अनिश्चितता के स्रोत

भविष्य के जलवायु परिवर्तन में अनिश्चितता अनुकूलन योजना के लिए एक महत्वपूर्ण चुनौती प्रस्तुत करती है। जलवायु परिवर्तन के प्रक्षेपण में अनिश्चितताएँ तीन प्राथमिक स्रोतों से उत्पन्न होती हैं:

· **प्राकृतिक जलवायु परिवर्तनशीलता** जो जलवायु प्रणाली के भीतर प्राकृतिक प्रक्रियाओं से उत्पन्न कारणों से अपेक्षाकृत कम समय के लिए जलवायु परिवर्तन का कारण बनती है;

· **ग्रीनहाउस गैसों का भविष्य का उत्सर्जन** मानव समाज द्वारा भविष्य में वैश्विक ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन के पैमाने से, और इस प्रकार भविष्य के प्रभावित करने वाले कारको के पैमाने से उत्पन्न अनिश्चितता; यह 50 साल या उससे अधिक के समय के पैमाने पर अनिश्चितता का प्रमुख स्रोत बन जाता है।

· **मॉडल की अनिश्चितता** पृथ्वी प्रणाली प्रक्रियाओं की अधूरी समझ और जलवायु मॉडल में इन प्रक्रियाओं के अधूरे प्रतिनिधित्व से उत्पन्न होने वाली ।



चित्र 1 : जलवायु प्रक्षेपणों में अनिश्चितताओं का कैस्केड।

चित्र 1 उन चरणों के अनुक्रम को दिखाता है जो आमतौर पर वैश्विक और क्षेत्रीय पैमानों पर जलवायु परिवर्तन के प्रक्षेपण के लिए किए जाते हैं। चित्र में वर्णित प्रक्रिया का प्रत्येक चरण अनिश्चितता के एक निश्चित स्तर से प्रभावित होता है, जो कि कैस्केड प्रक्रिया में अगले में संयोजित हो जाता है जिसके परिणामस्वरूप प्रक्षेपण में अनिश्चितता का एक समग्र स्तर होता है।

वैश्विक और क्षेत्रीय जलवायु परिवर्तन (आईपीसीसी) के प्रक्षेपणों में प्रमुख अनिश्चितताएं

• वैश्विक औसत और कुछ भौगोलिक क्षेत्रों के लिए मॉडल परिणामों के आधार पर वार्षिक से दशकीय औसत तापमान की भविष्यवाणी में सीमित विश्वास है। वर्षा के लिए बहु–मॉडल परिणाम आम तौर पर कम पूर्वानुमेयता का संकेत देते हैं। प्राकृतिक कारको के अनुमानों में अनिश्चितता से अल्पकालिक जलवायु प्रक्षेपण भी सीमित हैं ।

• उत्तरी गोलार्ध तूफान पथ और पश्चिमी हवा के के उत्तर की ओर खिसकने के निकट भविष्य के अनुमानों में मध्यम विश्वास है।

• 21 वीं सदी के लिए उष्णकटिबंधीय चक्रवात आवृत्ति और तीव्रता के बेसिन–पैमाने के **प्रक्षेपणों** के महत्वपूर्ण रुझानों पर आम तौर पर कम विश्वास है।

• कई क्षेत्रों में मृदा नमी और सतह के अपवाह के अनुमानित परिवर्तन ठोस नहीं हैं।

• जलवायु प्रणाली में कई घटक या घटनाएं संभावित रूप से अचानक या विषम परिवर्तन प्रदर्शित कर सकती हैं, लेकिन 21 वीं शताब्दी के लिए ऐसी कई घटनाओं की संभावना पर कम विश्वास और थोड़ी सहमति है।

• परमैफ्रॉस्ट के पिघलने से CO_2 या CH_4 के उत्सर्जन के माध्यम से वायुमंडल में कार्बन के नुकसान की तीव्रता पर कम विश्वास है । वेटलैंड्स और समुद्र तल से गैस हाइड्रेट रिलीज में बदलाव के कारण प्राकृतिक स्रोतों से भविष्य में अनुमानित CH_4 उत्सर्जन में कम विश्वास है।

• 21 वीं सदी के लिए बर्फ की चादर की गतिशीलता के मॉडल द्वारा समुद्र के स्तर में वृद्धि के अनुमानित योगदान में मध्यम विश्वास है, और 2100 से परे उनके अनुमानों में कम विश्वास है।

• वैश्विक औसत समुद्र तल वृद्धि के अर्ध–अनुभवजन्य मॉडल अनुमानों में कम विश्वास है, और उनकी विश्वसनीयता के बारे में वैज्ञानिक समुदाय में कोई सहमति नहीं

• क्षेत्रीय जलवायु परिवर्तन को प्रभावित करने वाली जलवायु परिघटनाओं के कई पहलुओं के अनुमानों पर कम भरोसा है, जिसमें जलवायु परिवर्तनशीलता के तरीकों के आयाम और स्थानिक पैटर्न परिवर्तन शामिल हैं।

आकार घटाने की अनिश्चितता (Downscaling Uncertainty)

डाउनस्कलिंग दो मुख्य प्रकारों से होता है: सांख्यिकीय और गतिशील। डायनेमिक डाउनस्केलिंग के मामले में, क्षेत्रीय जलवायु मॉडल (आरसीएम) का उपयोग जीसीएम सूचना को स्थानीय पैमानों पर परिवर्तित करने के लिए किया जाता है। उनके समान निर्माण (संरचनात्मक और पैरामीट्रिक) को देखते हुए, यह एक उचित धारणा है कि RCM में GCM के सामान अनिश्चितता के आंतरिक स्रोत हैं (नुट्टी इत्यादि 2008)। हालांकि, सांख्यिकीय डाउनस्कलिंग के लिए अनिश्चितता के आंतरिक स्रोत क्या हैं? सांख्यिकीय डाउनस्कलिंग को GCM और प्रेक्षणों के बीच एक सांख्यिकीय संबंध बनाकर परिभाषित किया जाता है, जो प्रभावी रूप से सांख्यिकीय मॉडलिंग में एक अभ्यास है। इसलिए, कोई यह तर्क दे सकता है कि सांख्यिकीय डाउनस्कलिंग में संरचनात्मक और पैरामीट्रिक अनिश्चितता के साथ मॉडल अनिश्चितता है जैसा कि सांख्यिकी समुदाय (चैटफील्ड 1995) द्वारा वर्णित है।

हालांकि, साहित्य के करीबी परिक्षण से पता चलता है कि सांख्यिकीय डाउनस्कलिंग में मात्र डाउनस्कलिंग तकनीक से जुड़ी मॉडल अनिश्चितता के अतिरिक्त अन्य अनिश्चितता के स्रोत शामिल हैं, (पोर्मोक्थेरियन इत्यादि 2016; ओलेर एवं निकोलस, 2018)। सांख्यिकीय डाउनस्कलिंग में आंकड़ा प्रबंधन और विशेष प्रसंस्करण दृष्टिकोणों के कई सेट शामिल हैं। ये ऐसी प्रक्रियाएं हैं, जिनमें डाउनस्कलिंग से पहले लागू की गई प्रक्रियाएँ (जैसे डेटा ट्रांसफॉर्मेशन, रीग्रिडिंग या इंटरपोलेशन) और डाउनस्कूलिंग तकनीक के साथ लागू की गई प्रक्रियाएँ (जैसे चरम मूल्यों के लिए उपचार) शामिल हैं।

प्रभाव मॉडल

प्रभाव मॉडल में अनिश्चितता के प्राथमिक स्रोत माप त्रुटियों, परिवर्तनशीलता और मॉडल संरचना से आते हैं (मॉर्गन एवं हेनरियन, 1990)। निर्वहन और बाढ़ के जोखिम में परिवर्तन के विश्लेषण के लिए, जलविज्ञानीय मॉडल का उपयोग किये जाते हैं। जलविज्ञानीय मॉडलिंग गणितीय योगों के माध्यम से अपवाह उत्पादन की भौतिक प्रक्रिया का प्रतिनिधित्व करती है। जलविज्ञानीय मॉडलिंग की दो मुख्य अनिश्चितताएँ मापन और मॉडल की संरचनात्मक अनिश्चितता से ली गई हैं (ब्रुधोम्, जैकब, एवं स्वेन्सन, 2003)। माप अनिश्चितता उस मापन से संबंधित है जिसे मॉडल को जांचने और मान्य करने के लिए उपयोग किया जाता है।

जलवायु परिवर्तन प्रक्षेपणों में अनिश्चितता का प्रतिनिधित्व करना

"आंतरिक" अनिश्चितता स्रोतों की उपस्थिति जैसे कि परिदृश्य और आंतरिक परिवर्तनशीलता, अनिवार्य रूप से समस्या के लिए एक नियतात्मक दृष्टिकोण को रोकती है। भविष्य के सामाजिक–आर्थिक और तकनीकी विकास की

अप्रत्याशित प्रकृति और गैर–रेखीयकरण जलवायु प्रणाली (जो इसकी आंतरिक अप्रत्याशित परिवर्तनशीलता निर्धारित करती है) के कारण 21 वीं शताब्दी की जलवायु क्या होगी, इसका सटीक अनुमान लगाना असंभव है। यह भी तब है जब हमारे पास सही जलवायु मॉडल और अवलोकन प्रणाली हो। वर्तमान मॉडल और अवलोकन प्रणालियों का अपूर्ण ज्ञान, एक नियतात्मक जलवायु भविष्यवाणी को अपनाने से रोकने में वृद्धि करता है।

इसका तात्पर्य यह है कि जलवायु परिवर्तन की भविष्यवाणी की समस्या को एक संभाव्य तरीके से हल किया जाना चाहिए, जिसके द्वारा हम संभावित परिणामों की सीमा का मूल्यांकन कर सकते हैं और प्रत्येक परिणाम के होने की एक निश्चित संभावना निर्धारित कर सकते हैं। तकनीकी दृष्टिकोण से यह भविष्य के जलवायु (या जलवायु परिवर्तन) चरों के संभाव्यता घनत्व फलन (पीडीएफ) का उत्पादन करके प्राप्त किया जा सकता है। पीडीएफ की चौड़ाई (उदाहरण के लिए इसका मानक विचलन) प्रक्षेपण में समग्र अनिश्चितता का एक पैमाना है और पीडीएफ का उपयोग जोखिम–आधारित प्रभाव मूल्यांकन अध्ययन में प्रभावों की लागत (व्यापक अर्थ में) की गणना के लिए किया जा सकता है। तब उम्मीद है कि पृथ्वी की जलवायु प्रणाली का वास्तविक परिवर्तन अनुमानित परिणामों के पीडीएफ की सीमा के अन्दर होगा।

भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून

वर्तमान में, भूमण्डलीय तापक्रम वृद्धि के कारण जलवायु परिवर्तन को समझने और कल्पना करने के लिए सामान्य प्रचलन मॉडल (GCM) सबसे अच्छे उपकरण हैं। पहले के संस्करणों की तुलना में, जलवायु परिवर्तन पर अंतर सरकारी पैनल (IPCC) के नवीनतम युग्मित अंतर तुलना मॉडल परियोजना, चरण 5 (CMIP5) युग्मित सामान्य परिसंचरण मॉडल (CGCM) परियोजना वर्तमान भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून की महत्वपूर्ण विशेषताओं का प्रतिनिधित्व करने में थोडे बेहतर कौशल के साथ जलवायु परिवर्तन को प्रोजेक्ट करता है (आईएसएम, स्पैरबर इत्यादि, 2012; जयसंकर इत्यादि, 2015)। बड़े पैमाने के मौसम प्रणालियों को चिह्नित करने की उनकी क्षमता के बावजूद, 2° के अपने मोटे विभेदन के कारण वे क्षेत्रीय और सूक्ष्म पैमाने की संरचनाओं की कुछ महत्वपूर्ण घटनाओं को पकड़ने में विफल होते हैं, जैसे कि, तटीय क्षेत्र की जानकारी और पर्वतीय प्रभाव जो क्षेत्रीय जलवायु को प्रभावित करते हैं। यह CMIP5 मॉडल को संकीर्ण पर्वतीय और पश्चिमी तट की वनस्पति विविधता को हल करने के लिए विशेष रूप से सीमित करता है।

जयशंकर इत्यादि (2015) ने दिखाया है कि तब भी उच्चतम विश्वसनीयता वाले सीएमआईपी 5 सीजीसीएम के एक समूह ने पश्चिमी तट पर वर्षा सहित भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून वर्षा (आईएसएमआर) के भविष्य के तीव्रीकरण का अनुमान लगाया, जो हालांकि वर्षा की प्रेषित प्रवृत्ति के विपरीत था। इससे पता चलता है कि वैश्विक GCM द्वारा अनुमानित जलवायु परिवर्तन जानकारी का सीधे क्षेत्रीय पैमाने पर जलवायु परिवर्तन आकलन और प्रभाव अध्ययन के लिए उपयोग करना त्रुटिपूर्ण है।

भारतीय मानसून पर भूमण्डलीय तापक्रम वृद्धि के प्रभाव को समझने और भविष्य की मानसून की जलवायु का आकलन करने का एकमात्र तरीका ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन के परिदृश्य पर आधारित जलवायु मॉडल का उपयोग करना है (राजीवन और नंजुंदैया, 2009)।

वैश्विक और साथ ही क्षेत्रीय पैमानों पर पृथ्वी की जलवायु प्रणाली का अध्ययन करने के लिए विभिन्न जलवायु मॉडल विकसित किए गए हैं, जो विभिन्न उत्सर्जन परिदृश्यों के आधार पर मान्यताओं आधारित हैं, जो भविष्य के उत्सर्जन में अनिश्चितता को संबोधित करने का प्रयास करते हैं और भविष्य की जलवायु परिस्थितियों का आकलन करने का एक महत्वपूर्ण पहलू हो सकते हैं। विभिन्न जलवायु मॉडल सिमुलेशन की एक श्रृंखला का उपयोग अनुमानों में अनिश्चितता की बेहतर समझ प्रदान करता है (जोन्स इत्यादि, 2012) और सामूहिक प्रभाव दृष्टिकोण (जैकब, 2007; रेइक्लर एवं किम, 2008) का उपयोग करके, अनुमानों में अनिश्चितता का मात्रात्मक अनुमान लगाया जा सकता है। भारतीय मानसून क्षेत्र के बारे में कई GCM के अनुकरण से यह निष्कर्ष निकालता है कि GCM को भारतीय क्षेत्र की मानसूनी जलवायु का अनुकरण करने में कठिनाइयाँ आती हैं (स्परबर एवं पामर, 1996; जियोर्गी एवं मर्न्स ; 2002; कांग; इत्यादि , 2002; डोऊविल्ले; 2005; टर्नर एवं अन्नामलाई, 2012)। कई GCMs (वायुमंडलीय और वायुमंडल–महासागर युग्मित मॉडल दोनों) के विश्लेषण से पता चला है कि औसत भारतीय मानसून जलवायु के प्रतिनिधित्व में कई समस्याएं हैं (गाडगिल एवं सजिनी, 1998; कांग इत्यादि, 2002; वांग इत्यादि, 2004 बी, 2005; राजीवन और नंजुंदैया, 2009)। इसके अलावा, अक्सर क्षेत्रीय जलवायु गतिशीलता पर जटिल स्थलाकृति के प्रभाव को चित्रित करने के लिए GCM एक बहुत ही मोटे विभेदन पर चलाया जाता है। परिणाम सवरूप, "GCM जलवायु प्रभाव और अनुकूलन अध्ययन के लिए आवश्यक स्थानिक पैमानों तक नहीं पहुँच पाते" (डब्लूएमओ, 2002), जबकि उच्च विभेदन RCM अधिक यथार्थवादी वर्षा जलवायु विज्ञान उत्पादन करने में सक्षम हैं (कुमार इत्यादि, 2013) और वे क्षेत्रीय स्तर पर जलवायु परिदृश्य उत्पन्न करने के लिए उपयुक्त अनुमान भी लगा सकते हैं। हाल के वर्षों में, विभिन्न अनुसंधान समूहों के बीच भारत के लिए विभिन्न उच्च विभेदन RCM का उपयोग करके क्षेत्रीय स्तर पर उच्च विभेदन जलवायु परिदृश्य विकसित करने की रुचि में वृद्धि हुई है।

इस विषय में, एक संख्यात्मक मॉडल द्वारा भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून परिसंचरण विशेषताओं और संबंधित वर्षा का अनुकरण अब तक की सबसे चुनौतीपूर्ण समस्याएं थीं। हालांकि आरसीएम द्वारा भारत में मानसून विशेषताओं और चरम

मौसम की घटनाओं के अनुकरण के कुछ प्रयास किए गए हैं। कुमार इत्यादि (2013), ने दो GCMs (ECHAM5-MPIOM और HadCM3) के साथ दो RCM (HadRM3 और REMO) का उपयोग करके सिमुलेशन की एक श्रृंखला में, यह देखा कि GCM के साथ जुडा RCM औसत मॉनसून वर्षा की अंतर–वार्षिक परिवर्तनशीलता का अनुकरण करने में GCM की तुलना में अधिक कुशल हैं।

RCM द्वारा तापमान और वर्षा के पूर्वानुमान प्रेक्षणों के काफी करीब हैं। भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून के अनुकरण में RCM की अनिश्चितता का विश्लेषण करने के लिए कई प्रयास किए गए हैं (भास्करन इत्यादि, 1996, 2012; दास इत्यादि, 2006)। इससे पहले के अध्ययनों (भास्करन इत्यादि, 1996; मे, 2004; दास इत्यादि, 2006; मुखोपाध्याय इत्यादि, 2010; भास्करन इत्यादि, 2012) में विभिन्न RCM आउटपुट का उपयोग करते हुए भारतीय मानसून पर भूमण्डलीय तापक्रम वृद्धि के संभावित प्रभावों का विश्लेषण किया, और उनमें से ज्यादातर ने बताया कि मॉडल आउटपुट प्रेक्षण के साथ अच्छी तरह से मेल खाते हैं; और उच्च विभेदन RCM स्थानिक और सामयिक पैमानों पर मानसूनी वर्षा के वितरण में सुधार दिखाने में सक्षम हैं।

इसके अलावा, कई अध्ययनों में विश्व के विभिन्न क्षेत्रों में जलवायु परिवर्तनशीलता और जलवायु परिवर्तन के भविष्य की अनिश्चितता का अनुमान लगाने के क्षेत्रीय जलवायु मॉडलिंग प्रणालियों पर जोर दिया है, जो कि मोटे विभेदन वाले तीसरी पीढ़ी के हैडली सेंटर आरसीएम प्रॉपर्टीज स्टडीज फॉर इम्पैक्ट्स स्टडीज (PRISIS) का उपयोग करते हैं (झांग इत्यादि, 2006; इस्लाम इत्यादि, 2007; कोट्रोनी इत्यादि, 2008; मारेंगो इत्यादि, 2009; नाज़रुल इस्लाम, 2009; जोन्स इत्यादि, 2012; मून इत्यादि; 2012; मेट ऑफिस रिपोर्ट, 2012), और PRECIS सिमुलेशन ने क्षेत्रीय स्तर के तापमान और वर्षा अंशांकन विश्लेषण में अच्छा प्रदर्शन किया है। इसलिए, मानसून परिवर्तनशीलता की संभावित विशेषताओं और जलवायु परिवर्तन में इसकी सिद्धता को समझने के लिए व्यापक बहस अभी भी मौजूद है। कई अध्ययनों में (रूपा कुमार इत्यादि, 2006; कृष्ण कुमार इत्यादि, 2010, 2011; गीतालक्ष्मी इत्यादि, 2011; रेवडेकर इत्यादि, 2012; कुलकर्णी इत्यादि, 2013; राजभंडारी इत्यादि, 2014; सीज़र इत्यादि, 2015) पूरे भारत के लिए 50 किमी x 50 किमी के क्षैतिज विभेदन पर सीमित समूह सदस्यों के साथ उच्च संकल्प जलवायु परिवर्तन परिदृश्यों का अनुकरण करने के लिए PRECIS का उपयोग किया है, और क्षेत्र के लिए बारिश और तापमान जैसे मौसम संबंधी मापदंडों की भविष्यवाणी के लिए काफी अच्छे परिणाम प्राप्त किए हैं। इन अध्ययनों ने दक्षिण एशिया पर 17 HadCM3Q के अपकेंद्रित प्रयोगों का एक मजबूत मूल्यांकन प्रदान किया है, लेकिन इनमें से अधिकांश क्षेत्रीय अध्ययनों को केवल एकल मॉडल अनुमान पर विचार किया गया है और केवल कुछ में भारत के भविष्य के जलवायु परिवर्तन अनिश्चितताओं का आकलन करने के लिए बहु–समूहों और उच्च रिज़ॉल्यूशन डाउनस्केलिंग दृष्टिकोण के साथ RCM का उपयोग किया है।

सारांश और निष्कर्ष

स्पष्ट रूप से, अनिश्चितता का मुद्दा जलवायु परिवर्तन की भविष्यवाणी की समस्या के केंद्र में है और इसकी जटिलता के कारण, वैचारिक रूप से और जब विशिष्ट प्रभाव मुद्दों पर लागू किया जायेगा, दोनों ही स्थिति में यह जलवायु परिवर्तन बहस में एक केंद्रीय मुद्दा बना रहेगा। यह शोध पत्र वैश्विक से लेकर क्षेत्रीय पैमाने पर जलवायु अनुमानों में समग्र अनिश्चितता सीमा, परिदृश्य, मॉडल विन्यास, मॉडल पूर्वाग्रह, आंतरिक मॉडल परिवर्तनशीलता और डाउनस्कलिंग के विभिन्न स्रोतों के योगदान पर विस्तार से चर्चा करता है। इन स्वीकृत अनिश्चितताओं में से कोई भी समस्या को दूर नहीं कर सकती है। यह वास्तव में निश्चित है कि मानव–निर्मित ग्रीनहाउस तापन भविष्य में लंबे समय तक, अनवरत रूप से लेकिन धीरे–धीरे जारी रहेगा। प्रभावों की गंभीरता मामूली या बड़ी हो सकती है, यह इस बात पर निर्भर करता है कि वास्तविक जलवायु प्रणाली में अंतिम परिवर्तनों के माध्यम से शेष महत्वपूर्ण अनिश्चितताओं को कैसे हल किया जाता है, और लंबे समय तक ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन को कम करने में हम कितने सफल होते हैं।

21 वीं सदी के शुरुआती अनुमानों के लिए, परिदृश्य अनिश्चितता माध्यमिक हो जाती है और आंतरिक मॉडल परिवर्तनशीलता का योगदान प्राथमिक महत्व का हो जाता है। वैश्विक से क्षेत्रीय स्तर पर जाने पर आंतरिक परिवर्तनशीलता का योगदान बढ़ जाता है और यह उच्च क्रम जलवायु आँकड़ों के लिए बढ़ जाती है।

अनिश्चितता के पूर्ण लक्षण वर्णन के लिए मॉडल अनुमानों की बड़ी संख्या की आवश्यकता होगी, जिनके लिए CMIP5, ENSEMBLES और CORDEX जैसे बड़े अंतर्राष्ट्रीय सहकारी कार्यक्रमों की आवश्यकता होगी, जिसमें दुनिया भर में समन्वित रूप से बड़ी संख्या में मॉडल और प्रयोगशालाओं द्वारा जलवायु परिवर्तन अनुमान लगाए जाते हैं। जलवायु वैज्ञानिकों और नीति निर्माताओं को जलवायु परिवर्तन की विशेषता बताने वाली संभाव्यता विधिओं की संदिग्धता और गहरी अनिश्चितता की सीमाओं को स्वीकार करने की आवश्यकता है।

References

- Baumberger, C., Knutti, R., &. Hadorn,G. H.(2017). Building confidence in climate model projections:an analysis of inferences from fit. *WIREs Climate Change*, 454, doi:10.1002/wcc.454.

- Bhaskaran, Bhaski & G. Jones, R & M. Murphy, J & Noguer, Maria. (1996). Simulations of the Indian summer monsoon using a nested regional climate model: Domain size experiments. Climate Dynamics. 12. 573-587.
- Caesar, J., Janes, T., Lindsay,A., &Bhaskaran,B.(2015). Temperature and precipitation projections over Bangladesh and the upstream Ganges, Brahmaputra and Meghna systems. *Environ. Sci. Proc. Impacts*, **17**, 1047–1056, doi:10.1039/C4EM00650J
- Chatfield, C., (1995). Model uncertainty, data mining, and statistical inference. *J. Roy. Stat. Soc.* Ser. A, 158, 419-466.
- Dash, S. K., M. S. Shekhar, & G. P. Singh (2006), Simulation of Indian summer monsoon circulation and rainfall using RegCM3, Theor. Appl. Climatol., 86, 161–172, doi:10.1007/s00704-006-0204-1.
- Douville, H.(2005). Limitations of time-slice experiments for predicting regional climate change over South Asia. *Clim. Dynam.*, **24**, 373–391, doi:10.1007/s00382-004-0509-7.
- Flato, G., &Co authors, (2013). Evaluation of climate models. *Climate Change 2013*: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M.
- Gadgil, S., &Sajini, S.(1998). Monsoon precipitation in the AMIP runs. *Clim. Dynam.*, **14**, 659–689.
- Geethalakshmi, V., Lakshmanan,A.,Rajalakshmi, D., Jagannathan, R., Gummidi,S.,Ramaraj, A. P., Bhuvaneswari,K. G.,& R. Anbhazhagan, (2011). Climate change impact assessment and adaptation strategies to sustain rice production in Cauvery basin of Tamil Nadu. *Curr. Sci.*, **101**, 3–10.
- Giorgi, F., &Mearns, L.O., (2002). Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the reliability ensemble averaging (REA) method. *J. Climate*, **15**, 1141–1158, doi:http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)
- IPCC (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland.
- Islam, M. N., Rafiuddin, M., Ahmed, A. U., &Kolli,R. K.(2007). Calibration of PRECIS in employing future scenarios in Bangladesh. *Int. J. Climatol*, **28**, 617–628, doi:10.1002/joc.1559.
- Jacob, D. (2007). An inter-comparison of regional climate models for Europe: design of the experiments and model performance. *Climatic Change*, **81**, 31–52, doi:10.1007/s10584-006-9213-4.
- Jayasankar, C. B., S. Surendran, & K. Rajendran (2015), Robust signals offuture projections of Indian summermonsoon rainfall by IPCC AR5 climatemodels: Role of seasonal cycle andinterannual variability,Geophys. Res.Lett.,42, 3513–3520, doi:10.1002/2015GL063659.
- Jones, R., Hartley, A., McSweeney, C., Mathison, C., &Buontempo, C.(2012). *Deriving high resolution climate data for West Africa for the period 1950-2100.UNEP-WCMC Technical Report*, 25 pp.
- Kang, I.S., Jin,K., Wang,B., Lau,K. M.,Shukla,J.,& Krishnamurthy,V. (2002).Intercomparison of the climatological variations of Asian summer monsoon precipitation simulated by 10 GCMs. *Clim. Dynam.*, **19**, 383–395, doi:10.1007/s00382-002-0245-9.
- Knutti, R. (2008). Should we believe model predictions of future climate change? *Phil. Trans. R. Soc. A.,* 366, 4647-4664, doi:10.1098/ rsta.2008.0169.
- Kotroni, V., Lykoudis,S.,Lagouvardos, K., & Lalas, D. (2008). A fine resolution regional climate change experiment for the Eastern Mediterranean: Analysis of the present climate simulations. *Glob. Planet. Chang.*, **64**, 93–104, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.10.003
- Krishna Kumar, K., Kamala,K.,Rajagoopalan,B.,Hoerling,M. P.,Eischeid, J. K., Patwardhan, S. K. , Srinivasan, G. , Goswami,B. N., &Nemani,R.(2010). The once and future pulse of Indian monsoonal climate. *Clim. Dynam.*, **36**, 2159–2170, doi:10.1007/s00382-010-0974-0.
- Krishna Kumar, K., Patwardhan, S. K., Kulkarni, A., Kamala,K.,Koteswara, R. K.,&Jones,R.(2011). Simulated projections for summer monsoon climate over India by a high-resolution regional climate model (PRECIS). *Curr. Sci.*, **101**, 3–10.
- Kulkarni, A., Patwardhan,S., Krishna Kumar, K., Ashok, K., and Krishnan, R.(2013). Projected climate change in the Hindu Kush-Himalayan region by using the high-resolution regional climate model PRECIS. Mt. *Res. Dev.*, **33**, 142–151, doi:http://dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00131.1.

- Kumar, P.(2013). Downscaled climate change projections with uncertainty assessment over India using a high resolution multimodel approach. *Sci. Total Environ.*, **468**, S18–S30, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.01.051.
- Lenhard, J., &Winsberg,E.(2010). Holism and entrenchment in climate model validation. Science in the Context of Application: Methodological Change, Conceptual Transformation, Cultural Reorientation, Carrier, M. and A. Nordmann, Eds., Springer, doi:10.1007/978-90-481-9051-5_8.
- Marengo, J. A., Jones,R.,Alves, L. M., &Valverde, M. C. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int. J. Climatol.*, **29**, 2241–2255, doi:10.1002/joc.1863.
- Met Office Report, (2012). Climate Change in Maharashtra. [Available online at http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/c/a/GOM_brochure_for_web.pdf].
- Mohammad, A. R., &Mujibur,R. M. (2012). A Comprehensive Modeling Study on Regional Climate Model (RCM) Application-Regional Warming Projections in Monthly Resolutions under IPCC A1B Scenario. *Atmosphere*, **3**, 557–572, doi:10.3390/atmos3040557.
- Morgan, M. G., &Henrion, M. (1990). Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nazrul Islam, Md., (2009). Rainfall and Temperature Scenario for Bangladesh. *Open Atmos. Sci. J.*, **3**, 93–103.
- Olyer, J. W. & Nicholas,R. E. (2018). Time of observation adjustments to daily station precipitation may introduce undesired statistical issues. Int. J. Climatol., 38, 364-377, doi:10.1002/joc.5377.
- Parker, W. S. (2011). When climate models agree: The significance of robust model predictions. Phil. Sci. 78, 579–600, doi:10.1086/661566.
- Pourmokhtarian, A., Driscoll, C. T., Campbell, J. L., Hayhoe,K.,& Stoner, A. M. K. (2016). The effects of climate downscaling technique and observational dataset on modeled ecological responses. Ecol. App., 26, 1321–1337, doi:10.1890/15-0745.
- Prudhomme, C., Jakob, D., &Svensson, C. (2003). Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. Journal of Hydrology, 277(1–2), 1-23. doi: 10.1016/S0022-1694(03)00065-9
- Rajbhandari, R., Shrestha,A. B., Kulkarni, A., Patwardhan,S. K.,&Bajracharya, S. R. (2014). Projected changes in climate over the Indus river basin using a high resolution regional climate model (PRECIS). *Clim. Dynam.*, **44**, 339–357, doi:10.1007/s00382-014-2183-8.
- Rajeevan, M., and Nanjundiah, R. S. (2009). Coupled model simulations of twentieth century climate of the Indian summer monsoon. *Current trends in science: platinum jubilee special*, N. Mukunda, Ed., Indian Academy of Sciences, 537–568.
- Revadekar, J. V., Kothawale, D. R. ,Patwardhan,S. K.,Pant, G. B.,&K. Rupa Kumar, (2012). About the observed and future changes in temperature extremes over India. *Nat. Hazards*, **60**, 1133–1155.
- Reichler, T., & Kim,J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate? Bull. *Amer. Meteor. Soc.*, **89**, 303–311, doi:http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-89-3-303.
- Rupa Kumar, K., Sahai,A. K., Kumar, K. K., Patwardhan, S. K., Mishra, P. K., Revadekar, J. V. , Kamala, K., & Pant, G. B. (2006). High resolution climate changes scenarios for India for the 21st century. *Curr. Sci.*, **90**, 334–345.
- Soden, B.J., Collins, W.D.,& Feldman, D.R. (2018). Reducing uncertainties in climate models. *Science* 27 Jul 2018: Vol. 361, Issue 6400, pp. 326-327 DOI: 10.1126/science.aau1864.
- Sperber, K. R., & Palmer,T. N. (1996).Interannual Tropical Rainfall Variability in General Circulation Model simulations associated with the atmospheric model intercomparison project. *J. Climate*, **9**, 2727–2750, doi:http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2727
- Sung, J.H., Eum, H-II., Park, J.,& Cho, J. (2018). Assessment of Climate Change Impacts on Extreme Precipitation Events: Applications of CMIP5 Climate Projections Statistically Downscaled over South Korea. Advances in Meteorology, Volume 2018, Article ID 4720523, 12 pages. https://doi.org/10.1155/2018/4720523.
- Tignor, S.K., Allen, J.,Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V.,Bex&. Midgley, P.M. Eds Cambridge University Press, 741–866.

- Turner, A. G., &Annamalai,H.(2012). Climate change and the South Asian summer monsoon. *Nat. Climatic Change*, **2**, 587–595, doi:10.1038/nclimate1495.
- Wang, B., Kang, I. S., & Lee, Y. J. (2004). Ensemble simulations of Asian-Australian monsoon variability during 1997/1998 El Nino by 11 AGCMs. *J. Climate*, **17**, 803–818, doi:10.1029/2005GL022734.
- Webster, M.D., &Sokolov A.P. (2000). A methodology for quantifying uncertainty in climate projections. *Climatic Change*, 46(4):417-446.
- Zhang, Y., Xu, Y. L. ,Dong, W. J., Cao, L. J., & Sparrow,M. (2006). A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L24702, doi:10.1029/2006GL027229.