# Water: **Brief**

12

## Freshwater Availability for Agriculture in Sundarbans

*Variability due to changes in the summer monsoon under current and climate change conditions*

February 2020

INDIA-UK
Water Centre
भारत-यूके
जल केन्द्र

12

# Freshwater Availability for Agriculture in Sundarbans

*Variability due to changes in the summer monsoon under current and climate change conditions*

# सुंदरबन में कृषि के लिए ताजे पानी की उपलब्धता

वर्तमान एवं जलवायु परिवर्तन परिस्थितियों के तहत ग्रीष्म मानसून में बदलाव के कारण परिवर्तनशीलता


**CITATION**

*Das L., Gagnon A.S., Roy I., and Saha, G. (2020). Freshwater Availability for Agriculture in Sundarbans. Water Brief 12. The India-UK Water Centre. 29pp. Wallingford, UK and Pune, India.*

एल दास, ए एस गैगनॉन, आई रॉय, और जी साहा (2020)। सुंदरबन में कृषि के लिए ताजे पानी की उपलब्धता । जल संक्षिप्त 12। भारत-यूके जल केंद्र । 29पीपी । वॉलिंगफॉर्ड, यूके एवं पुणे, भारत

*Front Cover Photo: Field, Sundarbans (Emma Bennett, IUKWC)*




Natural Environment Research Council

सत्यमेव जयते

The India-UK Water Centre (IUKWC) promotes cooperation and collaboration between the complementary priorities of NERC-MoES water security research.

भारत-यूके जल केंद्र एम.ओ.ई.एस - एन.ई.आर.सी (यूके ) जल सुरक्षा अनुसंधान की परिपूरक प्राथमिकताओ के बीच सहकार्यता और सहयोग को बढ़ावा देता है ।


This Knowledge Exchange Water Brief was produced as an output of the IUKWC pump priming project on "The influence of the monsoon on freshwater availability for agriculture in the Sundarbans region of West Bengal, India, under current and climate change conditions" undertaken in 2019.

ज्ञान आदान प्रदान का यह जल संक्षिप्त आईयूकेडब्ल्यूसी द्वारा 2019 में किए गए पंप प्राइमिंग परियोजना "जलवायु परिवर्तन एवं मौजूदा परिस्थितियों के तहत भारत के पश्चिम बंगाल राज्य के सुंदरबन क्षेत्र में कृषि के लिए ताजे पानी की उपलब्धता पर मानसून का प्रभाव" का प्रतिफल था।

## 1. Background

The India–UK Water Centre (IUKWC) funded a Pump Priming Project (PPP) titled: “The influence of the monsoon on freshwater availability for agriculture in the Sundarbans region of West Bengal, India, under current and climate change conditions” between June and September 2019. This Knowledge Exchange brief was developed from the outputs of the activities conducted during this study: i) investigating the variability of the Indian Summer Monsoon (ISM) and the ensuing freshwater availability for agriculture in the Sundarbans region through the collection and analysis of climatic data and outputs from Global Climate Models (GCMs); and ii) understanding how changes in water resource availability are affecting livelihoods and discussing issues related to adaptation to those changes through meetings with farmers, NGOs and local government officials engaged in water resource management. The research results were communicated through a workshop with agricultural, water and climate scientists, NGOs and government stakeholders working in the Sundarbans region, where the team gained feedback, and shared knowledge and ideas for future research. This Brief was prepared by Professor Lalu Das, Principal Investigator (PI) and India Project Lead, and Professor Gautam Saha, both from Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya (BCKV) in India, and Dr Alexandre Gagnon, UK Project Lead, and Dr Indrani Roy from Liverpool John Moores University (LJMU) in the UK.

# 1. पृष्ठभूमि

भारत-यूके जल केंद्र (आईयूकेडब्ल्यूसी) ने पम्प प्राइमिंग परियोजना(पीपीपी), जिसका शीर्षक था : " जलवायु परिवर्तन एवं मौजूदा परिस्थितियों के तहत भारत के पश्चिम बंगाल राज्य के सुंदरबन क्षेत्र में कृषि के लिए ताजे पानी की उपलब्धता पर मानसून का प्रभाव " को सन 2019 में जून से सितंबर तक फंड प्रदान किया गया था । ज्ञान के आदान प्रदान का यह संक्षिप्त इस अध्ययन के दौरान जारी गतिविधियों के प्रतिफल से विकसित किया गया था : i) ग्लोबल समर मॉडल्स (GCMs) से आउटपुट तथा जलवायु डेटा के संग्रह और विश्लेषण के माध्यम से सुंदरबन क्षेत्र में कृषि के लिए भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून (आईएसएम) की परिवर्तनशीलता और आगामी मीठे पानी की उपलब्धता की जांच; ii) यह समझना कि जल संसाधन उपलब्धता में परिवर्तन आजीविका को कैसे प्रभावित कर रहे हैं और जल संसाधन प्रबंधन में लगे किसानों, गैर सरकारी संगठनों और स्थानीय सरकारी अधिकारियों के साथ बैठकों के माध्यम से उन परिवर्तनों के अनुकूलन से संबंधित मुद्दों पर चर्चा कर रहे हैं। सुंदरबन क्षेत्र में काम करने वाले कृषि, जल और जलवायु वैज्ञानिकों, गैर सरकारी संगठनों और सरकारी हितधारकों के साथ एक कार्यशाला के माध्यम से शोध परिणामों का संचार किया गया, जहां टीम ने प्रतिक्रिया प्राप्त की, और भविष्य के अनुसंधान के लिए ज्ञान और विचारों को साझा किया। इस संक्षिप्त को भारत के बिधान चंद्र कृषि विश्व विद्यालय (बीसीकेवी) के प्रोफेसर लालू दास, प्रिंसिपल इंवेस्टिगेटर (पीआई) एवं इंडिया प्रोजेक्ट लीड, और प्रोफेसर गौतम साहा, तथा यूके के लिवरपूल जॉन मूरेस विश्वविद्यालय (एलजेएमयू) के डॉ अलेक्जेंडर रेगन, यूके प्रोजेक्ट लीड एवं डॉ इंद्राणी रॉय ने मिलकर तैयार किया था।

## 2. Key Findings

Freshwater availability is a major problem in the Sundarbans region of India (Figure 1), where people struggle to have year-round access to a sufficient water supply for domestic use and irrigation. Although the region receives significant precipitation on an annual basis (approximately 1660 mm (Gopal and Chauhan, 2006), its seasonal distribution is not uniform. Approximately 80% of total annual precipitation occurs during the southwest monsoon season between June and September. Additionally, both the surface and groundwater resources are becoming more saline due to the frequent occurrence of severe tropical cyclones, such as Aila in 2009, which are common during the post-monsoon season and which inevitably affect agriculture adversely (DasGupta and Shaw, 2015). Saltwater intrusion into the groundwater supply, together with the limited and declining availability of this source of water, inevitably results in communities being dependent on surface water resources, whose size and temporal availability vary according to the timing and duration of the monsoonal rains. Groundwater depletion in Sundarbans is more acute during the hot summer months of March, April and May, and in recent years, this depletion has been exacerbated by the growing irrigation needs for a second annual rice crop, called Baro rice. The timing of this depletion, during the pre-monsoon season when surface water resources are depleted, has caused, what the locals call, a water crisis in many blocks of Sundarbans.

## 2. मुख्य निष्कर्ष

भारत के सुंदरबन क्षेत्र(चित्र 1) में मीठे पानी की उपलब्धता एक बड़ी समस्या है, जहां लोग घरेलू उपयोग एवं सिंचाई के लिए पर्याप्त पानी की आपूर्ति के लिए साल-दर-साल उपयोग करने के लिए संघर्ष करते हैं। यद्यपि इस क्षेत्र में वार्षिक आधार पर सार्थक बारिश होती है (लगभग 1660 मिमी (गोपाल और चौहान, 2006)), इसका मौसमी वितरण एक समान नहीं है। जून और सितंबर के बीच दक्षिण-पश्चिम मानसून के मौसम के दौरान कुल वार्षिक वर्षा का लगभग 80% होता है। इसके अतिरिक्त, सतह और भूजल दोनों संसाधन गंभीर उष्णकटिबंधीय चक्रवातों के निरंतर घटित होने के कारण अधिक खारे हो रहे हैं, जैसे कि 2009 में ऐला, जो मानसून के बाद के मौसम के दौरान आम हैं और जो अनिवार्य रूप से कृषि(दासगुप्ता और शॉ, 2015) पर प्रतिकूल प्रभाव डालते हैं। भूजल आपूर्ति में खारे पानी की घुसपैठ, पानी के इस स्रोत की सीमित और घटती उपलब्धता के साथ, अनिवार्य रूप से सतह के जल संसाधनों पर निर्भर समुदायों के परिणाम हैं, जिनका आकार और लौकिक उपलब्धता मानसूनी वर्षा के समय और अवधि के अनुसार भिन्न होती है। सुंदरवन में मार्च, अप्रैल और मई की गर्मी के महीनों में भूजल की कमी अधिक तीव्र होती है, और हाल के वर्षों में, इस कमी को बारो चावल नामक एक दूसरी वार्षिक चावल की फसल के लिए बढ़ती सिंचाई जरूरतों से तेज किया गया है। प्री-मॉनसून सीज़न के दौरान जब सतह के जल संसाधन कम हो जाते हैं, तो इस कमी का समय हो जाता है, जिसे स्थानीय लोग कहते हैं, सुंदरवन के कई ब्लॉकों में पानी का संकट।

*Figure 1. Location of the Sundarbans region of India and its 19 administrative blocks. Courtesy of Professor Saon Banerjee, BCKV.*

चित्र 1. भारत के सुंदरवन क्षेत्र का स्थान और इसके 19 प्रशासनिक खंड। प्रोफेसर सौन बनर्जी, बीसीकेवी के सौजन्य से।

## 2.1. Stakeholders' Perceptions of Monsoon Variability

The Indian Sundarbans region supports a population of almost 4.43 million people (Bhadra *et al*., 2018), which is facing severe problems in terms of freshwater availability due to the abnormal behaviour of the monsoonal rains and the frequent occurrence of tropical storms. The latter contaminate water resources by increasing their salinity level, affecting agriculture and hence peoples' livelihoods. Agricultural activities in the region greatly depend on the monsoonal rains, particularly the timing of the onset and withdrawal of the Indian Summer Monsoon (ISM). There is a perception amongst community residents that the occurrence of the ISM is becoming highly irregular, mainly that its onset has been delayed by up to one month, affecting water resource availability, and thus hampering agricultural activities in the region, with inevitable impacts on the livelihoods of the deprived farming communities. A delay in the monsoon, for instance, affects seed sowing and transplanting, which requires good quality water. A late ISM means rainwater storage ponds have run dry, or the remaining water is too saline for irrigation, and this means only farmers with access to groundwater can irrigate. However, this then means a lowering of the water table, affecting the domestic water supply. In years with a rainfall deficit, or when a severe storm contaminates the water supply, such as in years subsequent to cyclone Aila in 2009, farmers have to migrate out of the region, mainly to Kolkata, to provide for their families remaining in Sundarbans.

## 2.1. मानसून परिवर्तनशीलता पर हितधारकों की धारणाएँ

भारतीय सुंदरवन क्षेत्र लगभग 4.43 मिलियन लोगों की आबादी (भद्रा एट अल, 2018) का समर्थन करता है, जो मानसूनी बारिश के असामान्य व्यवहार और उष्णकटिबंधीय तूफानों की लगातार घटना के कारण मीठे पानी की उपलब्धता के मामले में गंभीर समस्याओं का सामना कर रहे हैं। खारापन के स्तर के बढ़ने से उत्तरवर्ती दूषित जल संसाधनों से कृषि प्रभावित होती है तथा इस वजह से लोगों की आजीविका भी। इस क्षेत्र में कृषि गतिविधियाँ मानसूनी वर्षा पर बहुत निर्भर करती हैं, विशेष रूप से भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून (आईएसएम) की शुरुआत और वापसी का समय। समुदाय के निवासियों के बीच एक धारणा है कि आईएसएम की घटना अत्यधिक अनियमित हो रही है, मुख्य रूप से इसकी शुरुआत में एक महीने तक की देरी हुई है, जिससे जल संसाधन की उपलब्धता प्रभावित होती है, और इस तरह क्षेत्र में कृषि गतिविधियों में बाधा उत्पन्न होती है, जिससे अपरिहार्य प्रभाव पड़ता है। वंचित कृषक समुदायों की आजीविका। उदाहरण के लिए, मानसून में देरी, बीज बोने और रोपाई को प्रभावित करती है, जिसके लिए अच्छी गुणवत्ता वाले पानी की आवश्यकता होती है। देर से आईएसएम का मतलब है कि वर्षा जल भंडारण तालाब सूख गए हैं, या शेष पानी सिंचाई के लिए बहुत खारा है, और इसका मतलब केवल भूजल तक पहुंच वाले किसान ही सिंचाई कर सकते हैं। हालांकि, इसका मतलब घरेलू जल आपूर्ति को प्रभावित करने वाली जल तालिका का कम होना है। वर्षा की कमी के साथ वर्षों में, या जब एक गंभीर तूफान पानी की आपूर्ति को दूषित करता है, जैसे कि 2009 में चक्रवात ऐला के बाद के वर्षों में, किसानों को सुंदरबन में शेष अपने परिवारों को प्रदान करने के लिए, मुख्य रूप से कोलकाता से बाहर पलायन करना पड़ता है।

## 2.2. Temporal Changes in Surface Water Availability

A temporal analysis of surface water availability, calculated as the difference between precipitation and Potential Evapo-Transpiration (PET), during the period 1948-2010 shows decreasing trends in most of the 19 blocks of Sundarbans. These decreasing trends are mainly a result of increasing trends in PET (which is driven by warmer temperatures), as rainfall has increased in half the blocks and decreased in the other half.

## 2.3. Anthropogenic Pressure on Water Resources

Because of changes in surface water availability and to meet a growing demand for food, which is the result of an increasing population, farmers in the region have been pumping groundwater for irrigation. The latter is particularly acute in some blocks, where a second rice crop, called Baro rice, is grown. The cultivation of this second crop requires sowing during the winter dry season and harvesting during the hot summer months of April and May, putting additional pressure on the groundwater resource, particularly when this is compounded with decreasing availability in surface water and an increase in water and soil salinity, causing the water crisis mentioned above. Some rain occasionally fall during the summer months due to thunderstorms, providing some but limited relief to farmers.

## 2.2. सतही जल उपलब्धता में अस्थायी परिवर्तन

सतह के पानी की उपलब्धता का एक अस्थायी विश्लेषण, 1948-2010 की अवधि के दौरान वर्षा और संभावित वाष्पीकरण-वाष्पोत्सर्जन (पीईटी) के अंतर के रूप में गणना की गई, सुंदरबन के 19 ब्लॉकों में से अधिकांश में घटते रुझान को दर्शाता है। ये घटते रुझान मुख्य रूप से PET (जो कि गर्म तापमान से प्रेरित है) में बढ़ते रुझान का एक परिणाम है, क्योंकि बारिश आधे ब्लॉकों में बढ़ी है और दूसरे आधे में कम हुई है।

## 2.3. जल संसाधनों पर मानवजनित दबाव

सतही जल उपलब्धता में परिवर्तन और भोजन की बढ़ती माँग को पूरा करने के लिए, जो बढ़ती हुई जनसंख्या का परिणाम है, क्षेत्र के किसान सिंचाई के लिए भूजल पंप कर रहे हैं। उत्तरार्द्ध कुछ ब्लॉकों में विशेष रूप से तीव्र है, जहां एक दूसरी चावल की फसल, जिसे बारो चावल कहा जाता है, उगाया जाता है। इस दूसरी फसल की खेती के लिए सर्दियों के शुष्क मौसम के दौरान बुवाई की आवश्यकता होती है और अप्रैल और मई की गर्मी के महीनों में कटाई, भूजल संसाधन पर अतिरिक्त दबाव डालती है, खासकर जब यह सतह के पानी में घटती उपलब्धता और पानी में वृद्धि के साथ जटिल होती है और मिट्टी की लवणता, जिसके कारण ऊपर पानी का संकट है। गरमी के मौसम में गरज के साथ कुछ बारिश कभी-कभी होती है, जिससे किसानों को कुछ राहत मिलती है।

## 2.4. Adaptation to Monsoon Variability

Community residents have adapted to the temporal variability in water availability by collecting rainwater in storage ponds, which most households in the region have (Figure 2). Other adaptive actions were proposed during the interactive sessions with stakeholders and were not limited to physical adaptation, but also included managerial, technological and behavioural adaptation, the latter mainly to reduce water use, although it was mentioned that government initiatives are needed to support adaptation. Accordingly, the Government of West Bengal has introduced the "*Jal Dharo Jal Bharo*" mission and awareness campaign to save water. The use of storage ponds has long been practiced in the region, with the stored water used for domestic tasks (e.g. washing, bathing) and for small-scale irrigation. There is limited land available to increase the number of ponds to mitigate against a decreasing trend in water availability. Moreover, not all the water in the ponds can be used due to high salinity deeper into the ponds. There is thus high demand by community residents to increase the volume of existing ponds by increasing their depth, but also for a large-scale rainwater-harvesting scheme with the water stored in a dammed reservoir, and for community irrigation facilities. Alternative adaptation strategies such as the "less water and more crop" initiative have to be demonstrated. Drought and salt tolerant crop varieties have to be introduced to mitigate against the salt level of the regional soils and the limited freshwater resources.

## 2.4. मानसून परिवर्तनशीलता का अनुकूलन

समुदाय के निवासियों ने भंडारण तालाबों में बारिश का पानी इकट्ठा करके पानी की उपलब्धता में अस्थायी परिवर्तनशीलता के लिए अनुकूलित किया है, जो इस क्षेत्र के अधिकांश घरों (चित्रा 2) में है। हितधारकों के साथ इंटरेक्टिव सत्रों के दौरान अन्य अनुकूली कार्रवाइयां प्रस्तावित की गईं और यह केवल शारीरिक अनुकूलन तक ही सीमित नहीं थी, बल्कि इसमें प्रबंधकीय, तकनीकी और व्यवहारिक अनुकूलन भी शामिल था, जो मुख्य रूप से पानी के उपयोग को कम करने के लिए था, हालांकि यह उल्लेख किया गया था कि अनुकूलन का समर्थन करने के लिए सरकार की पहल की आवश्यकता है। तदनुसार, पश्चिम बंगाल सरकार ने जल बचाने के लिए "जल धरो जल भरो " मिशन और जागरूकता अभियान शुरू किया है। भंडारण तालाबों का उपयोग लंबे समय से क्षेत्र में किया गया है, घरेलू कार्यों (जैसे धोने, स्नान) के लिए और छोटे पैमाने पर सिंचाई के लिए उपयोग किए जाने वाले संग्रहित पानी के साथ। पानी की उपलब्धता में कमी के रुझान को कम करने के लिए तालाबों की संख्या बढ़ाने के लिए सीमित भूमि उपलब्ध है। इसके अलावा, तालाबों में सभी पानी का उपयोग उच्च लवणता के कारण तालाबों में गहराई से नहीं किया जा सकता है। इस प्रकार समुदाय के निवासियों द्वारा अपनी गहराई में वृद्धि करके मौजूदा तालाबों की मात्रा बढ़ाने के लिए उच्च माँग की जाती है, लेकिन एक बड़े पैमाने पर वर्षा जल संचयन योजना के लिए भी, जो एक क्षतिग्रस्त जलाशय में संग्रहीत पानी के साथ, और सामुदायिक सिंचाई सुविधाओं के लिए है। वैकल्पिक अनुकूलन रणनीतियों जैसे कि "कम पानी और अधिक फसल" पहल का प्रदर्शन करना होगा। सूखे और नमक सहिष्णु फसल किस्मों को क्षेत्रीय मिट्टी के नमक स्तर और सीमित मीठे पानी के संसाधनों के खिलाफ कम करने के लिए पेश किया जाना है।

*Figure 2. Example of a storage pond in Sundarbans, providing water for domestic task and for irrigating an adjacent vegetable garden. Photograph taken by A. Gagnon, LJMU.*

चित्र 2. सुंदरबन में एक भंडारण तालाब का उदाहरण, घरेलू कार्य के लिए और आसन्न सब्जी उद्यान की सिंचाई के लिए पानी उपलब्ध कराना। ए। गगनोन, एलजेएमयू द्वारा ली गई तस्वीर।

## 2.5. CMIP5 Models' Simulations of the Sundarbans Climate and Freshwater Resources

Sundarbans only has one meteorological rain-gauge station, which is situated on Sagar Island, with no other observational data collected in the region to provide information on the climate and freshwater availability. For this reason, alternative data have to be used, with simulations by GCMs being one such alternative. Hence, the ability of the GCMs of the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) in simulating the regional climate of Sundarbans was evaluated using conventional statistical measures for the period 1971-2000. It was found that some CMIP5 GCMs are unable to reproduce the means of the observed seasonal cycle of rainfall over Sundarbans, with dry and wet biases in different months. Nonetheless, some models have skills to reproduce the observed features to a satisfactory extent.

After ranking the models according to their ability to simulate the climate of Sundarbans, the best five CMIP5 GCMs (Table 1) were used to construct time series of past water resource availability, as well as scenarios of future rainfall and freshwater availability for the region. However, the resolution of existing GCMs is too coarse for their use in decision-making at the local and even regional scale. Hence, GCM outputs need to be downscaled using downscaling techniques. These were applied to the selected group of CMIP5 models' outputs to simulate the climate and freshwater resources of Sundarbans for the recent past and projected

## 2.5. CMIP5 मॉडल 'सुंदरवन जलवायु और मीठे पानी के संसाधनों का अनुकरण

सुंदरवन में केवल एक मौसम संबंधी वर्षा-गेज स्टेशन है, जो सागर द्वीप पर स्थित है, इस क्षेत्र में जलवायु और ताजे पानी की उपलब्धता के बारे में जानकारी प्रदान करने के लिए कोई अन्य अवलोकन डेटा एकत्र नहीं किया गया है। इस कारण से, वैकल्पिक डेटा का उपयोग किया जाना है, जीसीएम द्वारा सिमुलेशन एक ऐसा विकल्प है। इसलिए, 1971-2000 की अवधि के लिए पारंपरिक सांख्यिकीय उपायों का उपयोग करके सुंदरबन के क्षेत्रीय जलवायु का अनुकरण करने में युग्मित मॉडल इंटरकंपेरिसन प्रोजेक्ट (सीएमआईपी 5) के पांचवें चरण की जीसीएम की क्षमता का मूल्यांकन किया गया था। यह पाया गया कि कुछ CMIP5 जीसीएमविभिन्न महीनों में सूखे और गीले गैसों के साथ, सुंदरवन के ऊपर वर्षा के देखे गए मौसमी चक्र के साधनों को पुन: उत्पन्न करने में असमर्थ हैं। फिर भी, कुछ मॉडलों में अवलोकन सुविधाओं को संतोषजनक हद तक पुन: पेश करने का कौशल है।

सुंदरवन की जलवायु का अनुकरण करने की अपनी क्षमता के अनुसार मॉडलों की रैंकिंग करने के बाद, पिछली जल संसाधन उपलब्धता की समय श्रृंखला के निर्माण के लिए सबसे अच्छे पांच CMIP5 जीसीएमएस (तालिका 1) का उपयोग किया गया, साथ ही इस क्षेत्र के लिए भविष्य की वर्षा और मीठे पानी की उपलब्धता के परिदृश्य भी। हालाँकि, मौजूदा जीसीएम का रिज़ॉल्यूशन स्थानीय और यहाँ तक कि क्षेत्रीय स्तर पर निर्णय लेने में उनके उपयोग के लिए बहुत कठिन है। इसलिए, जीसीएम आउटपुट को डाउनस्कूलिंग तकनीकों का उपयोग करके डाउनस्कॉल किया जाना चाहिए। हाल ही में और अनुमानित जलवायु के लिए सुंदरबन के जलवायु और मीठे पानी के संसाधनों को अनुकरण करने के लिए सीएमआईपी 5 मॉडल के आउटपुट के चयनित समूह पर लागू किया गया था। डाउनस्कूलिंग तकनीक जो सुंदर ग्रीन्स की क्षेत्रीय जलवायु का अनुकरण करने के लिए सबसे अच्छी पाई गई, प्रेक्षित ग्रिडडेट्स के साथ मॉडल आउटपुट की तुलना के माध्यम

climates. The downscaling techniques that were found to be best at simulating the regional climate of Sundarbans, through comparison of the model outputs with observed gridded datasets, were used to produce regional climate change scenarios during this project.

## 2.6. Uncertainty in the Climate Change Projections

The the skill of the latest generation of GCMs to reproduce the current climate of Sundarbans is not always adequate, and in addition to modelling uncertainties and variations in the downscaling results between techniques, there are uncertainties in the climate change projections for the region.

This work investigated how uncertainty varies amongst the selected GCMs, i.e., those that are best at simulating the regional climate of Sundarbans, and downscaled their outputs to provide regional scenarios for the 21st century using the Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5 and 8.5, which were adopted for the latest Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2014.

The downscaled scenarios of four of the five GCMs project an increase in precipitation during the ISM while a decrease is projected by the fifth model under both warming scenarios.

से, इस परियोजना के दौरान क्षेत्रीय जलवायु परिवर्तन परिदृश्यों का उत्पादन करने के लिए उपयोग किया गया।

## 2.6. जलवायु परिवर्तन अनुमानों में अनिश्चितता

सुंदरवन की वर्तमान जलवायु को पुन: पेश करने के लिए जीसीएम की नवीनतम पीढ़ी का कौशल हमेशा पर्याप्त नहीं होता है, और तकनीक के बीच परिणाम में अनिश्चितता और विविधताओं के अलावा, इस क्षेत्र के लिए जलवायु परिवर्तन अनुमानों में अनिश्चितताएं हैं।

इस कार्य की जांच की गई कि चयनित जीसीएम, अर्थात, जो सुंदरवन के क्षेत्रीय जलवायु का अनुकरण करने में सर्वश्रेष्ठ हैं, और प्रतिनिधि एकाग्रता मार्ग (आरसीपी) 4.5 और 8.5 का उपयोग करके 21 वीं सदी के लिए क्षेत्रीय परिदृश्य प्रदान करने के लिए अपने आउटपुट को घटा देते हैं, अनिश्चितता कैसे बढ़ी। 2014 में जलवायु परिवर्तन पर अंतर सरकारी पैनल (IPCC) की नवीनतम आकलन रिपोर्ट के लिए अपनाया गया था।

पांच जीसीएमएस में से चार के नीचे के परिदृश्य ISM के दौरान वर्षा में वृद्धि का अनुमान है, जबकि दोनों वार्मिंग परिदृश्यों के तहत पांचवें मॉडल द्वारा कमी का अनुमान लगाया जाता है।

# 3. Specific Recommendations

The present PP project assessed how rainfall and PET has changed over the 19 blocks of the Sundarbans region using conventional gridded and observational datasets, and GCM simulations. The ability of the CMIP5 GCMs to simulate the climate of Sundarbans was evaluated with the five best models selected to examine future changes in climate under two warming scenarios. The simulations from those five models were downscaled to construct scenarios of freshwater availability for the region, calculated as the difference between precipitation and PET, which provided scientific context to the stakeholders' perceptions. The impacts of changes in the ISM and associated variability in surface water availability on livelihoods were also examined, together with issues related to adaptation to mitigate those risks.

## 3.1. Clarifying the Differences in Projections between Models

Further research is recommended to understand the physical mechanisms explaining the difference amongst the CMIP5 GCMs, not only in the magnitude of the projected change in rainfall over Sundarbans, but also in the direction of change, as well as to explain the contradicting results between the downscaled model outputs and the coarser resolution GCM outputs.

# 3. विशिष्ट अनुशंसाए

वर्तमान पीपी परियोजना ने मूल्यांकन किया कि कैसे पारंपरिक ग्रीड और अवलोकन संबंधी डेटासेट और जीसीएम सिमुलेशन का उपयोग करके सुंदरबन क्षेत्र के 19 ब्लॉकों में बारिश और पीईटी बदल गए हैं। सुंदरवन की जलवायु का अनुकरण करने के लिए सीएमआईपी 5 जीसीएम की क्षमता का मूल्यांकन दो वार्मिंग परिदृश्यों के तहत जलवायु में भविष्य के परिवर्तनों की जांच करने के लिए चुने गए पांच सर्वश्रेष्ठ मॉडलों के साथ किया गया था। उन पाँच मॉडलों के सिमुलेशन क्षेत्र के लिए मीठे पानी की उपलब्धता के परिदृश्यों का निर्माण करने के लिए नीचे किए गए थे, जो कि वर्षा और पीईटी के बीच अंतर के रूप में गणना की गई थी, जिसने हितधारकों की धारणाओं को वैज्ञानिक संदर्भ प्रदान किया था। आईएसएम में परिवर्तन और आजीविका पर सतही जल उपलब्धता में संबंधित परिवर्तनशीलता के प्रभावों की भी जांच की गई, साथ ही उन जोखिमों को कम करने के लिए अनुकूलन से संबंधित मुद्दों के साथ।

## 3.1. मॉडल के बीच अनुमानों में अंतर को स्पष्ट करना

सीएमआईपी 5 जीसीएम के बीच अंतर को समझाने वाले भौतिक तंत्रों को समझने के लिए आगे के शोध की सिफारिश की जाती है, न केवल सुंदरवन में वर्षा पर अनुमानित परिवर्तन की परिमाण में, बल्कि परिवर्तन की दिशा में भी, और साथ ही साथ डाउनस्केल्ड के बीच विरोधाभासी परिणामों की व्याख्या करने के लिए भी। मॉडल आउटपुट और मोटे रेजोल्यूशन GCM आउटपुट।

Table 1. The five CMIP5 GCMs used to provide climate change projections for the Sundarbans region, ranked from 1 to 5, on their ability to simulate the region's climate.

| Model | Resolution | Source | Rank |
|---|---|---|---|
| HadGEM2-AO | 1.25˚ x 1.875˚ | Met Office Hadley Centre, UK | 1 |
| MIROC5 | 1.4˚ x 1.4˚ | Atmosphere and Ocean Research institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology | 2 |
| CESM1-BGC | 0.95˚ x 1.25˚ | National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research USA | 3 |
| ACCESS1-0 | 1.25˚ x 1.875˚ | CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia) | 4 |
| CESM1-CAM5 | 0.95˚ x 1.25˚ | National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research USA | 5 |

तालिका 1. पांच सीएमआईपी 5 जीसीएम सुंदरवन क्षेत्र के लिए जलवायु परिवर्तन अनुमान प्रदान करने के लिए उपयोग किया जाता है, जो क्षेत्र की जलवायु को अनुकरण करने की उनकी क्षमता पर 1 से 5 वें स्थान पर है।

| मॉडल | विभेदन | विभेदन | रैंक(ओहदा) |
|---|---|---|---|
| HadGEM2-AO | 1.25˚ x 1.875˚ | मेट ऑफिस हैडली सेंटर, यूके | 1 |
| MIROC5 | 1.4˚ x 1.4˚ | वायुमंडल और महासागर अनुसंधान संस्थान (टोक्यो विश्वविद्यालय), राष्ट्रीय पर्यावरण अध्ययन संस्थान, और समुद्री-पृथ्वी विज्ञान और प्रौद्योगिकी के लिए जापान एजेंसी | 2 |
| CESM1-BGC | 0.95˚ x 1.25˚ | राष्ट्रीय विज्ञान फाउंडेशन, ऊर्जा विभाग, राष्ट्रीय वायुमंडलीय अनुसंधान केंद्र | 3 |
| ACCESS1-0 | 1.25˚ x 1.875˚ | सीएसआईआरओ (राष्ट्रमंडल वैज्ञानिक और औद्योगिक अनुसंधान संगठन, ऑस्ट्रेलिया), और बीओएम (ब्यूरो ऑफ मौसम विज्ञान, ऑस्ट्रेलिया) | 4 |
| CESM1-CAM5 | 0.95˚ x 1.25˚ | राष्ट्रीय विज्ञान फाउंडेशन, ऊर्जा विभाग, राष्ट्रीय वायुमंडलीय अनुसंधान केंद्र | 5 |

## 3.2. Reducing Evaporation as an Adaptation Option

Although the downscaled outputs of the majority of the selected climate models project an increase in precipitation in a warmer climate, evapotranspiration will also increase, offsetting to some extent, the impact of an increase in rainfall on surface water availability. In light of the government programmes to enhance water capture and storage, it is important that the long-term impacts of these initiatives are also considered. Research is thus recommended on the identification of potential techniques to reduce evaporation losses from water storage ponds and their suitability to the region, and acceptability through stakeholders' engagement.

## 3.3. Alternative Agronomic Management Practices

Another adaption option is to further research, from both engineering and social science perspectives, and roll-out of alternative agronomic management practices such as changes in the sowing dates, changes in irrigation through the use of modern irrigation techniques that increase production with less water, and introduction/ testing of drought and salt tolerant crop varieties.

## 3.4. Visualisations of Climate Change Risks

To engage with stakeholders in the development of adaptation options or strategies, it is recommended that visualisations of climate change

## 3.2. एक अनुकूलन विकल्प के रूप में वाष्पीकरण को कम करना

हालांकि चयनित जलवायु मॉडल के अधिकांश हिस्से के डाउनस्ट्रीम आउटपुट एक गर्म जलवायु में वर्षा में वृद्धि का कारण बनते हैं, वाष्पीकरण भी कुछ हद तक बढ़ेगा, सतह के पानी की उपलब्धता पर वर्षा में वृद्धि का प्रभाव। पानी पर कब्जा और भंडारण को बढ़ाने के लिए सरकारी कार्यक्रमों के प्रकाश में, यह महत्वपूर्ण है कि इन पहलों के दीर्घकालिक प्रभावों पर भी विचार किया जाए। इस प्रकार जल भंडारण तालाबों से वाष्पीकरण के नुकसान को कम करने और क्षेत्र के लिए उपयुक्तता, और हितधारकों की सगाई के माध्यम से स्वीकार्यता के लिए संभावित तकनीकों की पहचान पर अनुसंधान की सिफारिश की जाती है।

## 3.3. वैकल्पिक एग्रोनॉमिक मैनेजमेंट प्रैक्टिस

एक अन्य अनुकूलन विकल्प इंजीनियरिंग और सामाजिक विज्ञान दोनों दृष्टिकोणों से और अधिक शोध के लिए है, और वैकल्पिक कृषि प्रबंधन प्रथाओं के रोल-आउट जैसे बुवाई की तारीखों में बदलाव, कम पानी के साथ उत्पादन बढ़ाने वाली आधुनिक सिंचाई तकनीकों के उपयोग के माध्यम से सिंचाई में परिवर्तन, आदि और सूखे और नमक सहिष्णु फसल किस्मों का परिचय / परीक्षण।

## 3.4. जलवायु परिवर्तन जोखिमों के दृश्य

अनुकूलन विकल्पों या रणनीतियों के विकास में हितधारकों के साथ संलग्न करने के लिए, यह सिफारिश की जाती है कि जलवायु परिवर्तन के जोखिमों के दृश्य विकसित किए जाएं, उदाहरण के लिए, जलवायु में अनुमानित बदलाव और जल संसाधनों में आगामी उपलब्धता के अनुसार फसल की उपज के परिदृश्यों का उत्पादन करके। यह उपलब्ध कराई गई जलवायु जानकारी के समय-पैमाने, संकल्प और कौशल को देखते हुए हितधारकों की

risks be developed, for instance, by producing scenarios of crop yield according to the projected changes in climate and the ensuing availability in water resources. This is in addition to examining stakeholders' willingness to adapt in view of the time-scale, resolution and skills of the climatic information provided. Documenting evidence of the use of visualisations to support adaptation decision-making is recommended for the benefits of this research to extend beyond the study region.

## 4. Future

This project provided a better understanding of the impact of the variability and change in the southwest monsoon on agriculture and livelihoods in the Sundarbans region of India and how the surface water resources of this region could be affected by climate change.

It is anticipated that the creation of future downscaled climate change information and scenarios of future fresh water availability for the Sundarbans region and its communication to local stakeholders will give farmers the opportunity to adapt their selection of crops under different scenarios of change as well as raising awareness of potential changes to the regional water storage infrastructure.

The next step is to use this knowledge to target interventions and develop policies that are effective at mitigating risks. Such interventions should also be put in the context of a declining groundwater resource and that

इच्छा की जांच करने के अलावा है। अध्ययन क्षेत्र से परे विस्तार करने के लिए इस शोध के लाभों के लिए अनुकूलन निर्णय लेने के समर्थन के लिए विज़ुअलाइज़ेशन के उपयोग के दस्तावेजी सबूत की सिफारिश की जाती है।

## 4. भविष्य

इस परियोजना ने भारत के सुंदरवन क्षेत्र में कृषि और आजीविका पर परिवर्तनशीलता और दक्षिण-पश्चिम मानसून में परिवर्तन के प्रभाव की बेहतर समझ प्रदान की और जलवायु परिवर्तन से इस क्षेत्र के सतही जल संसाधन कैसे प्रभावित हो सकते हैं।

यह अनुमान है कि सुंदरवन क्षेत्र के लिए भविष्य की ताजा जलवायु परिवर्तन की जानकारी और भविष्य के ताजे पानी की उपलब्धता के परिदृश्य और स्थानीय हितधारकों के लिए इसके संचार के निर्माण से किसानों को बदलाव के विभिन्न परिदृश्यों के साथ-साथ फसलों के चयन को अनुकूलित करने का अवसर मिलेगा। क्षेत्रीय जल भंडारण अवसंरचना में संभावित बदलाव।

अगला कदम इस ज्ञान का उपयोग हस्तक्षेपों को लक्षित करने और नीतियों को विकसित करने के लिए है जो जोखिम को कम करने में प्रभावी हैं। इस तरह के हस्तक्षेप को एक गिरते भूजल संसाधन के संदर्भ में भी रखा जाना चाहिए और यह कि अन्य पर्यावरणीय जोखिमों के खिलाफ अनुकूलन की भी आवश्यकता होगी, उदाहरण के लिए, समुद्र के

adaptation will also be required against other environmental risks, for example, sea level rising and cyclones.

Finally, the development of a new project tentatively titled: “Water saving techniques for rice production under challenging available freshwater scenarios over different blocks of Indian Sundarbans” is proposed.

## References

Bhadra, T., Das, S., Hazra, S. and B.C. Barman. Assessing the demand, availability and accessibility of potable water in Indian Sundarban Biosphere reserve area. International Journal of Recent Scientific Research (2018) 9: 25437-25443

DasGupta, R. & Shaw, R. An indicator based approach to assess coastal communities’ resilience against climate related disasters in Indian Sundarbans. J Coast Conserv (2015) 19: 85. https://doi.org/10.1007/s11852-014-0369-1

Gopal, B. & Chauhan, M. Biodiversity and its conservation in the Sundarban Mangrove Ecosystem. Aquat. Sci. (2006) 68: 338. https://doi.org/10.1007/s00027-006-0868-8

स्तर में वृद्धि और चक्रवात।

अंत में, एक नई परियोजना का विकास अस्थायी रूप से शीर्षक: "भारतीय सुंदरवन के विभिन्न ब्लॉकों में उपलब्ध ताजे पानी के परिदृश्य के तहत चावल उत्पादन के लिए पानी की बचत तकनीक" प्रस्तावित है।

## संदर्भ


भद्रा, टी।, दास, एस।, हाजरा, एस। और बी.सी. बर्मन। भारतीय सुंदरवन बायोस्फीयर रिजर्व क्षेत्र में पीने योग्य पानी की मांग, उपलब्धता और पहुंच का आकलन करना। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ हालिया वैज्ञानिक अनुसंधान (2018) 9: 25437-25443

दासगुप्ता, आर एंड शॉ, आर। भारतीय सुंदरबन में जलवायु संबंधी आपदाओं के खिलाफ तटीय समुदायों की लचीलापन का आकलन करने के लिए एक संकेतक आधारित दृष्टिकोण। J Coast Conserv (2015) 19: 85. https://doi.org/10.1007/s11852-014-0369-1

गोपाल, बी। और चौहान, एम। जैव विविधता और सुंदरवन मैंग्रोव इकोसिस्टम में इसका संरक्षण। Aquat। विज्ञान। (2006) 68: 338. https://doi.org/10.1007/s00027-006-0868-8

12

*Back Cover Photo: Field, Sundarbans (Emma Bennett, IUKWC).*
*All other images courtesy of project leads.*

INDIA-UK
Water Centre
भारत-यूके
जल केन्द्र

Natural
Environment
Research Council

सत्यमेव जयते

UK Centre for
Ecology & Hydrology

@IndiaUKWater

www.iukwc.org