Water: **Brief**

07

Satellite Soil Moisture Observations

Applications in the UK and India

December 2019

INDIA-UK
Water Centre
भारत-यूके
जल केन्द्र

07

Satellite Soil Moisture Observations

Applications in the UK and India

सैटेलाइट(उपग्रह) आधारित मिट्टी की नमी का पर्यवेक्षण

भारत एवं यूके में अनुप्रयोग।

CITATION

Tebbs, E., Wilson, H., Mulligan, M., Chan, K., Gupta, M., Maurya, V., Srivastava, P. (2019). Satellite Soil Moisture Observations: Applications in the UK and India. Water Brief 07. First Edition. Pp 29. The India-UK Water Centre, Wallingford and Pune

ई टेब्स, एच विल्सन, एम मुलिगन, के चान, एम गुप्ता, वी मौर्य, पी श्रीवास्तव, (2019) । सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी का पर्यवेक्षण: भारत एवं यूके में अनुप्रयोग। जल संक्षिप्त 29 पृष्ठ । भारत-यूके जल केंद्र, वॉलिंग़फर्ड एवं पुणे

Front Cover Photo: Copyright ESA/AOES Medialab. Images from NASA, Pixabay and 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 ।

The State of Science Brief was produced as an output from an India-UK Water Centre supported Pump Priming Project on Synergistic utilisation of EO-based soil moisture observations: Applications in the UK and India

विज्ञान सार संक्षेप की यह स्थिति भारत यूके जल केंद्र समर्थित पम्प प्राईमिंग परियोजना "ईओ- आधारित मिट्टी की नमी के पर्यवेक्षणों का आपसी तालमेल से उपयोग : भारत एवं यूके में अनुप्रयोग" का प्रतिफल था। ।

Figure 1: Word cloud generated from the responses to the question 'How might satellite-based soil moisture data benefit you and your discipline in the future?'

07

1. Background

Soil moisture is vitally important due to its fundamental role in the partitioning of water and energy between the land surface and lower atmosphere. It is also a key variable influencing plant growth and driving many water-related hazards. Knowledge of the spatial pattern of surface soil moisture, and its change over time, is critical for understanding the Earth's climate and hydrological cycles.

Ground-based observations of soil moisture are sparsely distributed and so do not adequately capture spatial variability. To counter this, soil moisture dynamics can be monitored using satellite Earth Observation (EO), which provides more complete spatial coverage.

The last decade has seen a huge increase in the number of satellite sensors capable of measuring soil moisture, and considerable improvements in EO-based soil moisture products (Brocca *et al*., 2017a). These advancements have created substantial opportunities for the wider application of satellite soil moisture products across a range of disciplines.

To investigate the challenges and opportunities of using satellite soil moisture data, the India-UK Water Centre supported a Pump Priming Activity on 'Synergistic utilisation of EO-based soil moisture observations: Applications in the UK and India' from January to November 2018.

A systematic literature review and user survey were carried out to identify current and potential future applications of satellite soil moisture data, and to investigate the barriers preventing the more widespread application of these products.

A pilot demonstration of low-cost sensors was conducted to show their potential as a source of data for

1. पृष्ठभूमि

भूतल एवं निचले वायु-मंडल के बीच पानी और ऊर्जा के विभाजन में मिट्टी की नमी अपनी मौलिक भूमिका के कारण महत्वपूर्ण है। यह पौधों की वृद्धि को प्रभावित करने तथा पानी से संबंधित अनेक खतरों के बहाव का एक प्रमुख कारक भी है। पृथ्वी की जलवायु तथा जल विज्ञान संबंधी चक्र को समझने के लिए सतही मिट्टी की नमी के स्थानिक पैटर्न(स्वरूप) का ज्ञान और समय के साथ इसके बदलाव को जानना आवश्यक है।

मिट्टी की नमी के लिए किए गए भूमि- आधारित पर्यवेक्षण असामान्य रूप से फैले हुए हैं और इस कारण स्थानिक (स्थान संबंधी) परिवर्तनशीलता को पर्याप्त रूप से दर्शा नहीं पाते हैं। इस समस्या के निवारण के लिए , सैटेलाइट अर्थ ऑब्जर्वेशन(पृथ्वी उपग्रहीय पर्यवेक्षण) के जरिए मिट्टी की नमी की गतिशीलता(आयामों) का निरीक्षण किया जा सकता है, जो अधिक स्थानिक कवरेज(आवृत्त क्षेत्र) प्रदान करता है।

पिछले दशक में मिट्टी की नमी को मापने में सक्षम उपग्रह सेंसर(संवेदक) की संख्या में भारी वृद्धि हुई है, तथा ईओ-आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों (ब्रोका एट अल, 2017 ए) में काफी सुधार हुआ है। इन उन्नतियों ने कई विषयों पर उपग्रह आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों के व्यापक अनुप्रयोग के लिए पर्याप्त अवसर पैदा किए हैं।

सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के आंकड़ों का उपयोग करने के अवसरों और चुनौतियों की जांच करने के लिए, भारत यूके जल केंद्र ने जनवरी से नवंबर 2018 तक पम्प प्राईमिंग गतिविधि "ईओ- आधारित मिट्टी की नमी के पर्यवेक्षणों का आपसी तालमेल से उपयोग : भारत एवं यूके में अनुप्रयोग " का समर्थन किया।

सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के आंकड़ों के मौजुदा एवं भविष्य के संभाव्य(संभावित) अनुप्रयोगों की पहचान करने तथा इन उत्पादों के अधिक व्यापक अनुप्रयोग को रोकने वाली बाधाओं की जांच के लिए व्यवस्थित रचनात्मक समीक्षा एवं उपयोगकर्ता सर्वेक्षण किया गया।

ईओ उत्पादों को सत्यापित करने के लिए डेटा के स्रोत के रूप में अपनी क्षमता दिखाने के लिए कम लागत वाले सेंसर का पायलट(शुरुआती) प्रदर्शन किया गया था।

validating EO products.

This State of the Science brief summarises the main findings of the Pump Priming Activity. The full report, outlining the research activities undertaken, can be found at www.iukwc.org.

2. Key Findings

2.1. Advancements in Satellite Soil Moisture Products.

The last decade has seen a proliferation of EO-based soil moisture products, largely due to advancements in methods and a rise in the number and capabilities of satellite sensors (Wigneron *et al*., 2017).

The accuracies of satellite products have improved and are now comparable to soil moisture estimates from land surface models.

Much of this has been facilitated by improvements in active and passive microwave sensors, which have advantages over optical sensors including the ability to penetrate through cloud, the ability to make observations outside of daylight hours, and a degree of vegetation penetration (Kerr et al., 2016).

Key satellite sensors include ESA's Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission launched in 2009 and NASA's Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission launched in 2015.

विज्ञान की इस स्थिति संक्षेप में पम्प प्राइमिंग गतिविधि के मुख्य निष्कर्षों को प्रस्तुत करती है है। शोध गतिविधियों की रूपरेखा की पूरी रिपोर्ट, www.iukwc.org पर देखी जा सकती है।

2. मुख्य निष्कर्ष

2.1. सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों में उन्नति।

पिछले दशक में ईओ- आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों का प्रसार देखा गया है, इसका मुख्य कारण तरीकों में प्रगति तथा सैटेलाइट सेंसर (विगनेरॉन एट अल, 2017) की संख्या एवं क्षमताओं में वृद्धि है।

सैटेलाइट आधारित उत्पादों की सटीकता में सुधार हुआ है और अब भूमि सतह मॉडल से मिट्टी की नमी के अनुमानों की तुलना की जा सकती है।

इसमें से अधिकांश को सक्रिय एवं निष्क्रिय माइक्रोवेव सेंसर में सुधार द्वारा सुगम बनाया गया है, जिसमें ऑप्टिकल सेंसर से अधिक फायदे हैं, जिसमें बादल के माध्यम से प्रवेश करने की क्षमता, दिन के उजाले में पर्यवेक्षण करने की क्षमता और वनस्पति पैठ(केर एट अल, 2016) की एक डिग्री(पीढ़ी) शामिल है ।

2009 में शुरू किया गया ईएसए का मिट्टी की नमी एवं समुद्री खारापन (एसओएमएस) मिशन और 2015 में नासा का मिट्टी की नमी सक्रिय निष्क्रिय (एसएमएपी) मिशन मुख्य सैटेलाइट सेंसर में शामिल है।

सैटेलाइट से मिट्टी की नमी का सही आकलन करने में कुछ कठिनाइयाँ रहती हैं, जिसमें रेडियो फ्रीक्वेंसी (आवृत्ति) व्यवधान, मिट्टी की बनावट या घनी वनस्पति (मुनोज़-सबेटर एट

Some difficulties remain in accurately estimating soil moisture from satellites, including the influence of factors such as radio frequency interference, soil texture or dense vegetation (Muñoz-Sabater *et al*., 2016).

To overcome the limitations of individual datasets, merged satellite products have been developed such as the ESA Climate Change Initiative (CCI) soil moisture product, the first global, multi-decadal soil moisture dataset, released in 2012.

Synergies between satellite and modelled soil moisture have been explored to improve accuracies and to manipulate the spatial and temporal resolution of soil moisture datasets (Al-Shrafany *et al*., 2014; Brocca, 2017b).

Additionally, satellite soil moisture products are increasingly being incorporated into models through the process of data assimilation - a mathematical technique which is used to integrate observations (including satellite data) into numerical models to improve model predictions.

2.2. Applications of Satellite Soil Moisture Products

EO-based soil moisture observations offer huge societal and economic benefits in both India and the UK.

Key operational applications include the enhancement of regional weather forecasting, flood and drought prediction, and agricultural management.

One of the most scientifically ‘mature’ applications of satellite soil moisture data is for weather forecasting (Wagner *et al*., 2013). Satellite soil moisture observations are incorporated into a number of Numerical Weather Prediction models including two models used operationally in the UK: The Met Office’s Unified Model and the European Centre of Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) model. The use of satellite soil moisture for

अल., 2016) जैसे कारकों का प्रभाव शामिल है।

व्यक्तिगत डेटासेट की सीमाओं को पार करने के लिए, मर्ज(विलयित) किए गए सैटेलाइट आधारित उत्पादों को विकसित किया गया है जैसे ईएसए क्लाइमेट चेंज इनिशिएटिव(जलवायु परिवर्तन पहल - सीसीआई) का मिट्टी नमी उत्पाद, 2012 में जारी किया गया पहला वैश्विक, एकाधिक-दशकों का मिट्टी की नमी का डेटासेट था।

मिट्टी की नमी के डेटासेट(अल-शराफनी एट अल, 2014; ब्रोका, 2017 बी) के स्थानिक और अस्थायी रिज़ॉल्यूशन में समुचित रुप से कार्य करने तथा सटीकता में सुधार करने के लिए सैटेलाइट आधारित एवं प्रतिरूपित मिट्टी की नमी के बीच की तालमेल की खोज की गई है ।

इसके अतिरिक्त, सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों को तेजी से डेटा आत्मसात (जोड़ने) की प्रक्रिया के माध्यम से मॉडल में शामिल किया जा रहा है - एक गणितीय तकनीक जिसका उपयोग मॉडल भविष्यवाणियों में सुधार करने के लिए संख्यात्मक मॉडल में अवलोकनों (उपग्रह डेटा सहित) को एकीकृत करने के लिए किया जाता है।

2.2. सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों के अनुप्रयोग

ईओ -आधारित मिट्टी की नमी के अवलोकन भारत एवं यूके दोनों में बड़े सामाजिक और आर्थिक लाभ प्रदान करते हैं।

प्रमुख परिचालन अनुप्रयोगों में क्षेत्रीय मौसम का पूर्वानुमान, बाढ़ एवं सूखे की भविष्यवाणी तथा कृषि प्रबंधन की वृद्धि शामिल है।

मौसम के पूर्वानुमान (वैगनर एट अल., 2013) के लिए सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के आंकड़ों को वैज्ञानिक रूप से सबसे 'परिपक्व' अनुप्रयोगों में से एक है। सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के अवलोकनों को यूके में परिचालन(काम में आने लायक) रूप से उपयोग किए जाने वाले दो मॉडलों सहित कई न्यूमेरिकल वेदर प्रेडिक्शन मॉडल (संख्यात्मक मौसम पूर्वानुमान मॉडल) में शामिल किया गया है: मेट ऑफिस का युनिफाइड(एकीकृत) मॉडल और यूरोपियन सेंटर ऑफ मीडियम-रेंज वेदर फोरकास्ट (ईसीएमडब्लुएफ) मॉडल । भारतीय वर्षा ऋतु की भविष्यवाणियों में सुधार के लिए सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उपयोग का पता लगाया जा रहा है, और इस काम को भारत-यूके के मजबूत सहयोगों द्वारा समर्थन प्राप्त है। भारत में क्षेत्रीय मौसम प्रक्रियाओं में मिट्टी की नमी के महत्व

improving predictions of the Indian monsoon is being explored, and this work is supported by strong India-UK collaborations. This work is likely to lead to substantial benefits, given the importance of soil moisture in the regional weather processes in India.

Satellite soil moisture data are also used for monitoring of water-related hazard, such as regional droughts and flood forecasting.

EO data are widely used to quantify drought severity often using purely meteorologically-based drought indices (Nicolai-Shaw *et al*., 2016); however, this can result in the incorrect parameterization of drought (Halwatura *et al*., 2017). The use of satellite soil moisture products can improve the detection of agricultural drought. Additionally, multidecadal products, such as ESA CCI Soil Moisture, are advancing our understanding of long-term trends in drought (Nicolai-Shaw *et al*., 2017).

Flood forecasting is a well explored application for satellite soil moisture products. However, significant challenges remain for the assimilation of such data into flood models, including the mismatch in spatial resolution and soil depth between models and satellite products (Brocca *et al*., 2017b).

The use of satellite soil moisture products for flood forecasting in India is rare, due to the coarse spatial resolution of satellite products. For this reason, studies have focused on developing downscaling methods to improve the spatial resolution of soil moisture data (Singh *et al*., 2016).

को देखते हुए इस काम में काफी लाभ होने की संभावना है।

सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के डेटा का उपयोग पानी से संबंधित खतरों की निगरानी के लिए भी किया जाता है, जैसे कि क्षेत्रीय सूखा और बाढ़ का पूर्वानुमान।

ईओ डेटा का उपयोग व्यापक रूप से सूखे की गंभीरता का आकलन करने के लिए किया जाता है, जो शुद्ध रूप से मौसम आधारित सूखे सूचकांकों(निकोलाई-शॉ एट अल) का उपयोग करता है; हालाँकि, सूखे(हलवातुरा एट अल, 2017) के गलत पैरामीटर में इसका परिणाम हो सकता है। सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों के उपयोग से कृषि संबंधी सूखे का पता लगाया जा सकता है। इसके अतिरिक्त, ईएसए सीसीआई मिट्टी की नमी जैसे एकाधिक-दशकों के उत्पाद, सूखे (निकोलाई-शॉ एट अल, 2017) में दीर्घकालिक प्रवृत्तियों की हमारी समझ को आगे बढ़ा रहे हैं।

बाढ़ की भविष्यवाणी सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों के लिए एक अच्छी तरह से पता लगाया गया अनुप्रयोग है। हालांकि, बाढ़ के मॉडल में इस तरह के डेटा को आत्मसात (जोड़ने) के लिए सार्थक चुनौतियां हैं, जिसमें मॉडल एवं सैटेलाइट आधारित उत्पादों के बीच मिट्टी की गहराई तथा स्थानिक रिज़ॉल्यूशन(समाधान) में बेमेल शामिल हैं (ब्रोका एट अल., 2017 बी)।

सैटेलाइट आधारित उत्पादों के अपरिष्कृत स्थानिक रिज़ॉल्यूशन(संकल्प) के कारण भारत में बाढ़ के पूर्वानुमान के लिए सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों का उपयोग विरल है। इस वजह से, मिट्टी की नमी के डेटा के स्थानिक रिज़ॉल्यूशन (संकल्प) को बेहतर बनाने के लिए अध्ययनों में डाउनस्केलिंग(अवश्रेणीयन) पद्धतियों को विकसित करने पर ध्यान केंद्रित किया गया है ।

बहरहाल, भारत बाढ़ एवं सूखे की घटनाओं की गंभीरता के कारण सैटेलाइट आधारित

Nonetheless, India stands to benefit substantially from the application of satellite soil moisture products for flood and drought forecasting due to the severity of drought and flood events it experiences.

In the UK, the possibility of assimilating satellite soil moisture data into the JULES (Joint UK Land Environment Simulator) land surface model to improve flood prediction is being explored (e.g. the SINATRA and Hydro-JULES projects).

Agricultural applications of EO-based soil moisture include assessing crop condition, predicting yields and monitoring irrigation. These applications have potential to be developed into commercial agricultural services or used operationally to support government decision-making. However, there are challenges that must be addressed before the use of satellite soil moisture products becomes operational, including spatial and temporal resolution and penetration depth (Petropoulos *et al*., 2018). New satellite products provided in near-real-time and with finer (less than 10 km) spatial resolution will help to address some of these issues (for example, the SMAP passive enhanced and SMOS near-real-time products).

मिट्टी के नमी के उत्पादों के अनुप्रयोग से बाढ़ एवं सूखे के पूर्वानुमान के लिए काफी हद तक लाभान्वित होता है।

यूके में, बाढ़ की भविष्यवाणी में सुधार करने के लिए जूल्स (जॉइन्ट यूके लैंड़ एन्वाइरन्मन्ट सिम्युलेटर) भूमि सतह मॉडल में सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के डेटा को जोड़ने की संभावना का पता लगाया जा रहा है (उदाहरण के लिए सिनात्रा और हाइड्रो- जूल्स प्रोजेक्ट)।

ईओ आधारित मिट्टी की नमी के कृषि अनुप्रयोगों में फसल की स्थिति का आकलन करना, उपज की भविष्यवाणी करना और सिंचाई की निगरानी करना शामिल है। यह अनुप्रयोग व्यावसायिक कृषि सेवाओं में विकसित हो सकते हैं या उनका सरकार के निर्णय लेने के लिए परिचालन में उपयोग किया जा सकता हैं।

हालांकि, ऐसी चुनौतियां हैं, जिन्हें सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों के उपयोग से पहले संबोधित किया जाना चाहिए, जिसमें स्थान संबंधी और अस्थायी रिज़ॉल्यूशन और प्रवेश की गहराई शामिल हैं (पेट्रोपोलस एट अल., 2018)।

3. Future Directions and Opportunities

Arguably, EO-based soil moisture products are currently under-utilised in India and the UK. There is huge potential to extend the use of satellite soil moisture data in a range of different disciplines.

3.1. User Identified Future Applications of Satellite Soil Moisture Products

The applications identified by users as having the most potential to benefit from satellite soil moisture data in future were:

- drought monitoring and forecasting
- hydrological modelling
- water management
- agricultural management
- land surface modelling
- flood monitoring and forecasting

A wide range of other potential applications were mentioned by users including climate change studies, land management, crop productivity, vegetation stress, geohazards and land-atmosphere interactions.

3. भविष्य के दिशा- निर्देश एवं अवसर

यकीनन, ईओ -आधारित मिट्टी के नमी के उत्पाद इस समय भारत एवं यूके में उपयोग किए जा रहे हैं। फिर भी सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के आंकड़ों का उपयोग विभिन्न विषयों(व्यवस्थाओं) की एक श्रृंखला(सीमा) में विस्तार करने की अपार संभावना है।

3.1. उपयोगकर्ता द्वारा पहचाने गए सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों का भावी अनुप्रयोग

उपयोगकर्ताओं द्वारा पहचाने जाने वाले अनुप्रयोगों में सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के आंकड़ों से आगामी समय में लाभान्वित होने की सबसे अधिक संभावना थी :

- सूखे की निगरानी और पूर्वानुमान
- हाइड्रोलॉजिकल(जल विज्ञान संबंधी) मॉडलिंग(प्रतिमानन)
- जल प्रबंधन
- कृषि संबंधी प्रबंधन
- भूमि सतह मॉडलिंग
- बाढ़ की निगरानी और पूर्वानुमान

जलवायु परिवर्तन अध्ययन, भूमि प्रबंधन, फसल उत्पादकता, वनस्पति संबंधित मुश्किले, भू-मापक और भूमि-वायुमंडल अंतःक्रियाओं सहित उपयोगकर्ताओं द्वारा अन्य संभावित अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला का उल्लेख किया गया था।

3.2. Key Future Opportunities of Satellite Soil Moisture Products

The further incorporation of products into existing models (for example hydrological models and land surface models) to improve the accuracy of model predictions is the key future opportunity that was identified.

There is also potential for incorporating soil moisture into national drought monitoring, for example by integrating with existing satellite-derived meteorological drought indices that are currently used in India. However, the diversity of land cover and climate zones in India presents significant challenges for national-scale application.

One potential solution would be the use of merged products (e.g. the ESA CCI product), which are well suited to application in areas with high regional diversity (Mohanty *et al*., 2017).

4. Challenges

The review of the literature and survey of current and potential users identified the main barriers preventing the uptake of satellite soil moisture observations as:

- Limited ground-based soil moisture observations for validating satellite products;
- A lack of training and awareness on available products and how to access them; and
- Insufficient spatial and temporal resolution of existing satellite products.

4.1. Insufficient Ground-Based Observation Data

The lack of ground-truth data for validation is a significant barrier to the uptake of satellite products, particularly in India. Ground-truth data is required across different climate zones and land-cover types in order to assess

3.2. सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी उत्पादों का प्रमुख भावी अवसर

मॉडल की भविष्यवाणियों की सटीकता में सुधार करने के लिए मौजूदा मॉडलों (उदाहरण के लिए हाइड्रोलॉजिकल मॉडल और भूमि सतह मॉडल) में उत्पादों का और समावेश(शामिल) करना प्रमुख भावी अवसर है जिसकी पहचान की गई थी।

मिट्टी की नमी को राष्ट्रीय सूखा निगरानी में शामिल करने की भी संभावना है, उदाहरण के लिए भारत में आजकल मौजूदा उपग्रह-उत्पन्न (सैटेलाइट से प्राप्त) मौसम संबंधी सूखे सूचकांकों का एकीकरण करके उपयोग किया जाता है । हालांकि, भारत में भूमि कवर(आच्छादित) और जलवायु कटिबंधो (क्षेत्रों) की विविधता राष्ट्रीय स्तर के अनुप्रयोग के लिए महत्वपूर्ण चुनौतियां प्रस्तुत करती हैं। एक संभावित हल मर्ज(सम्मलित) किए गए उत्पादों (जैसे ईएसए सीसीआई उत्पाद) का उपयोग होगा, जो उच्च क्षेत्रीय विविधता(मोहंती एट अल., 2017) वाले क्षेत्रों में अनुप्रयोग करने के लिए बेहद अनुकूल हैं ।

4. चुनौतियां

मौजूदा एवं संभावित उपयोगकर्ताओं के सर्वेक्षण तथा रचनात्मक समीक्षा ने मुख्य अवरोधों की पहचान की, जो सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के पर्यवेक्षणों के उठान को रोकते हैं:

- सैटेलाइट आधारित उत्पादों को मान्य करने के लिए सीमित भूमि आधारित मिट्टी की नमी के पर्यवेक्षण;
- उपलब्ध उत्पादों एवं उन्हें कैसे एक्सेस(प्राप्त) करना है उस पर प्रशिक्षण और जागरूकता की कमी; तथा
- मौजूदा सैटेलाइट आधारित उत्पादों का अपर्याप्त स्थानिक और अस्थायी रिज़ॉल्यूशन ।

4.1. अपर्याप्त जमीन-आधारित अवलोकन डेटा

सत्यापन के लिए आधारभुत वास्तविक डेटा का अभाव, विशेष रूप से भारत में, सैटेलाइट आधारित उत्पादों के उठान में एक महत्वपूर्ण बाधा है। सैटेलाइट आधारित उत्पादों की सटीकता का आकलन करने के लिए विभिन्न जलवायु कटिबंधो(क्षेत्रों) और भूमि-कवर(आच्छादित) प्रकारों में आधारभुत वास्तविक डेटा की आवश्यकता होती है।

the accuracy of satellite products.

In the UK, a network of cosmic ray soil moisture sensors (COSMOS-UK, https://cosmos.ceh.ac.uk/) provides ground-based observations, and the COSMOS-India project is improving the availability of ground-based soil moisture data for India.

However, these systems are highly expensive so the number of sensors that can be deployed is limited.

Low-cost sensor networks, using open-source technologies (e.g. FreeStation, http://www.freestation.org/), offer a promising solution for filling data gaps. Developing a low-cost sensor network would be a recommended next step to review the potential for validating EO-based products (see recommendations section 5).

4.2. Lack of Training and Awareness

There was clear a lack of awareness of available satellite sensors amongst potential users and a desire for more knowledge and training.

While current users were happy with data accessibility, interestingly potential users identified data cost and accessibility as discouraging. This highlights the need to raise awareness amongst potential future users of freely-available satellite soil moisture products and how to access them.

यूके में, कॉस्मिक रे का एक नेटवर्क(संजाल) मिट्टी की नमी सेंसरो (कास्मोस-यूके, https://cosmos.ceh.ac.uk/) को भूमी-आधारित पर्यवेक्षण प्रदान करता है, तथा कास्मोस-भारत परियोजना, भारत के लिए जमीन-आधारित मिट्टी की नमी के आंकड़ों की उपलब्धता में सुधार कर रहा है।

हालांकि, ये सिस्टम अत्यधिक महंगे हैं, इसलिए जो सेंसर तैनात किए जा सकते हैं, उनकी संख्या सीमित है।

कम लागत वाले सेंसर नेटवर्क, ओपन-सोर्स(उन्मुक्त स्रोत) प्रौद्योगिकी (उदाहरण के लिए FreeStation, http://www.freestation.org/) का उपयोग करते हुए आंकड़ों के अन्तर को भरने के लिए एक आशाजनक समाधान प्रदान की गई है । कम लागत वाले सेंसर नेटवर्क को विकसित करना ईओ-आधारित उत्पादों को मान्य करने की संभावित समीक्षा ही अगला अनुशंसित कदम होगा (अनुशंसा खंड 5 देखें)।

4.2. प्रशिक्षण एवं जागरूकता का अभाव

संभावित उपयोगकर्ताओं के बीच उपलब्ध सैटेलाइट सेंसर के बारे में जागरूकता तथा ज्यादा प्रशिक्षण एवं ज्ञान की लालसा की स्पष्ट कमी थी।

जहाँ मौजूदा उपयोगकर्ता डेटा एक्सेसिबिलिटी(अभिगम्यता) से हर्षित थे, दिलचस्प रूप से संभावित उपयोगकर्ताओं ने डेटा लागत और एक्सेसिबिलिटी को निराशाजनक माना। आसानी से उपलब्ध सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी उत्पादों के संभावित भावी उपयोगकर्ताओं के बीच जागरूकता बढ़ाने और उन्हें कैसे एक्सेस करना है उसकी आवश्यकता को उजागर करता है।

4.3. Insufficient Spatial and Temporal Resolution of Existing Satellite Products

The current spatial resolutions of products are insufficient for some applications, particularly for flood modelling and irrigation planning. Spatial resolutions can be improved using downscaling techniques, and continued improvements in satellite sensor technology will likely lead to finer spatial resolutions in future.

4.4. Other Challenges

Data accuracy and the availability of near-real-time data were also important aspects for users. Additionally, there was demand for improved information on product characteristics including quantitative uncertainty estimates. Other improvements required by users included an ability to retrieve soil moisture under dense vegetation and to sample soil moisture in deeper soil layers.

5. Recommendations

Satellite soil moisture products have enormous potential to contribute to monitoring and forecasting in the UK and India. Facilitating the uptake of EO-based soil moisture products in operational applications will have substantial social and economic benefits.

To increase use of satellite SM data, and take advantages of the benefits and opportunities it offers, the following actions are recommended:

5.1. Data Access

Satellite SM data should be easily accessible. It should be open source and made available through a user-friendly web interface in a range of formats.

4.3. मौजूदा सैटेलाइट आधारित उत्पादों का अपर्याप्त स्थानिक और अस्थायी रिज़ॉल्यूशन

उत्पादों के मौजूदा स्थानिक रिज़ॉल्यूशन कुछ अनुप्रयोगों के लिए अपर्याप्त हैं, खासकर बाढ़ मॉडलिंग और सिंचाई योजना के लिए। डाउनस्केलिंग(अवश्रेणीयन) तकनीकों के उपयोग से स्थानिक रिज़ॉल्यूशन में सुधार किया जा सकता है, और सैटलाइट सेंसर तकनीक में निरंतर सुधार से भविष्य में बेहतर स्थानिक रिज़ॉल्यूशन को बढ़ावा मिलेगा।

4.4. अन्य चुनौतियां

डेटा की सटीकता और निकटतम-वास्तविक समय डेटा की उपलब्धता भी उपयोगकर्ताओं के लिए महत्वपूर्ण पहलू थे। इसके अतिरिक्त, मात्रात्मक अनिश्चितता अनुमानों सहित उत्पाद की विशेषताओं के बारे में बेहतर जानकारी की मांग थी। उपयोगकर्ताओं द्वारा आवश्यक अन्य सुधारों में सघन वनस्पतियों के तहत मिट्टी की नमी को पुनः प्राप्त करने और गहरी मिट्टी की परतों में मिट्टी की नमी का नमूना लेने की क्षमता शामिल थी।

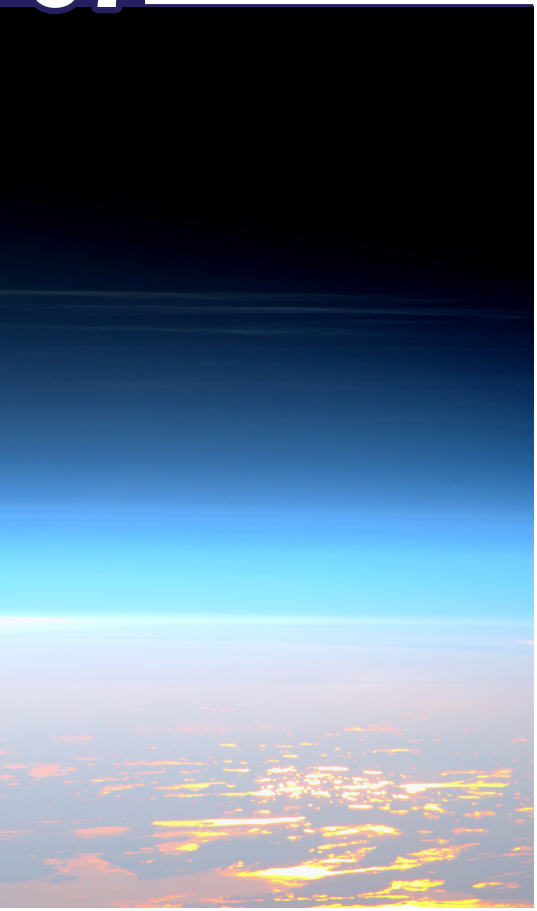
5. अनुशंसाएं:

भारत एवं यूके में निगरानी और पूर्वानुमानों में सैटेलाइट आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों के योगदान करने की अपार संभावनाएं हैं। परिचालन अनुप्रयोगों में ईओ -आधारित मिट्टी के नमी के उत्पादों के उठाव की सुविधा से सामाजिक और आर्थिक लाभ होगा।

सैटेलाइट आधारित एस.एम. (मिट्टी की नमी) डेटा का उपयोग बढ़ाने के लिए, और इससे मिलने वाले फायदे और अवसरों का लाभ उठाने के लिए, निम्नलिखित कार्यों की अनुशंसा की जाती है:

5.1. डेटा एक्सेस

सैटेलाइट आधारित एस.एम.डेटा आसानी से सुलभ होना चाहिए। उसे स्वतंत्र रूप से प्रदान किया जाना चाहिए और एक उपयोगकर्ता-अनुकूल वेब इंटरफ़ेस के माध्यम से कई प्रारूपों में उपलब्ध कराया जाना चाहिए।



5.2. Awareness

There is a need to raise awareness of available satellite SM products amongst potential users. Importantly, information is required on how users can access freely available satellite soil moisture data and which sensors and products are best for particular applications. This information should be provided in a format that can be easily understood by someone with limited knowledge of remote sensing.

5.3. Training

Training opportunities in the use of satellite-based soil moisture products are required. The user survey highlighted the huge demand for training workshops covering practical and theoretical aspects including data access, data processing and software, understanding uncertainty, data assimilation and applications. Online training materials, such as online guides and webinars, would also be highly valuable to end users.

5.4. Product Characteristics

Future advancements in sensors and methods will increase the usefulness of satellite soil moisture products. In particular, the low spatial resolution of current satellite products is still a significant limitation for some applications. To help address this, downscaled products should be developed, with well characterised uncertainties, and made available to the user community.

5.2. जागरूकता:

संभावित उपयोगकर्ताओं के बीच उपलब्ध सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी उत्पादों के बारे में जागरूकता बढ़ाने की आवश्यकता है। महत्वपूर्ण रूप से, इस बात की जानकारी आवश्यक है कि उपयोगकर्ता विशेष रूप से उपलब्ध सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के डेटा को कैसे एक्सेस कर सकते हैं और विशेष अनुप्रयोगों के लिए कौन से सेंसर और उत्पाद सर्वश्रेष्ठ हैं। यह जानकारी एक ऐसे प्रारूप में प्रदान की जानी चाहिए जिसे किसी व्यक्ति द्वारा रिमोट सेंसिंग के सीमित ज्ञान से आसानी से समझा जा सके।

5.3. प्रशिक्षण

सैटलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों के उपयोग में प्रशिक्षण के अवसरों की आवश्यकता होती है। उपयोगकर्ता सर्वेक्षण में डेटा एक्सेस(की प्राप्ति), डाटा प्रासेसिंग (आंकड़ा संसाधन) और सॉफ्टवेयर, अनिश्चितता की समझ , डेटा जोड़ने तथा अनुप्रयोगों सहित व्यावहारिक एवं सैद्धांतिक पहलुओं को कवर(आच्छादित) करने वाला प्रशिक्षण वर्कशॉप की भारी मांग को उजागर करता हैं। ऑनलाइन प्रशिक्षण सामग्री, जैसे की ऑनलाइन गाइड और वेबिनार, भी अंतिम उपयोगकर्ताओं के लिए अत्यधिक महत्वपूर्ण होंगे।

5.4. उत्पाद विशेषताएं

सेंसर(संवेदकों) और पद्धतियों में भावी प्रगति सैटलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों की उपयोगिता को बढ़ाएगी। विशेष रूप से, मौजुदा सैटलाइट आधारित उत्पादों का निम्न स्थानिक रिज़ॉल्यूशन अभी भी कुछ अनुप्रयोगों के लिए एक अहम रूकावटे है। इसे संबोधित करने में मदद करने के लिए, डाउनस्कॉल(अवश्रेणीयन) किए गए उत्पादों को विकसित किया जाना चाहिए, साथ ही साथ अनिश्चितताओं को अच्छी तरह से चिह्नित

5.5. Ground Data

Ways to increase the availability and spatial coverage of ground-based soil moisture observations should be explored to provide the data needed for the calibration and validation of satellite products. Low-cost sensor networks have the potential to improve the availability of soil moisture data and fulfil the need for validation data. A pilot demonstration showed the potential benefits and pitfalls of using low-cost sensors for EO-data validation in India (Box 2; see Activity Report for more details). A future study investigating this possibility in more depth would be highly valuable, particularly in India where there are significant gaps in availability of ground-based soil moisture data.

5.6. Collaboration

A user community should be established to enhance communication across disciplines for the application of satellite soil moisture products. Knowledge sharing amongst the remote sensing and user communities should be encouraged to ensure future products are developed with end-user applications in mind. Cross-disciplinary workshops, including remote sensing scientists, modellers, hydrologists etc., would facilitate collaboration and improve the compatibility between satellite products and models. A future knowledge-transfer project, focusing on the use of satellite soil moisture data for commercial applications or by public organisations would also be beneficial.

किया जाना चाहिए, , और उपयोगकर्ता समुदाय को उपलब्ध कराया जाना चाहिए।

5.5. जमीन आधारित डेटा:

सैटेलाइट आधारित उत्पादों के मापांकन और सत्यापन के लिए आवश्यक डेटा प्रदान करने के लिए जमीन आधारित मिट्टी की नमी के अवलोकनों की उपलब्धता और स्थानिक कवरेज को बढ़ाने के तरीकों की खोज की जानी चाहिए। कम लागत वाले सेंसर नेटवर्क, मिट्टी की नमी के डेटा की उपलब्धता में सुधार करने और सत्यापन डेटा की आवश्यकता को पूरा करने की क्षमता रखते है। प्रारंभिक प्रदर्शन ने भारत में ईओ आधारित-डेटा सत्यापन के लिए कम लागत वाले सेंसर का उपयोग करने के संभावित लाभ और नुकसान दिखाए (बॉक्स 2; अधिक विवरण के लिए गतिविधि रिपोर्ट देखें)। इस संभावना की अधिक गहराई में जांच करने वाला भविष्य का अध्ययन अत्यधिक महत्वपूर्ण होगा, विशेष रूप से भारत में जहां जमीन-आधारित मिट्टी की नमी के डेटा की उपलब्धता में महत्वपूर्ण अंतराल हैं।

5.6. सहयोग

सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों के अनुप्रयोग हेतु शाखाओं में संचार-व्यवस्था बढ़ाने के लिए एक उपयोगकर्ता समुदाय की स्थापित किया जाना चाहिए। रिमोट सेंसिंग और उपयोगकर्ता समुदायों के बीच ज्ञान के साझाकरण को यह सुनिश्चित करने के लिए प्रोत्साहित किया जाना चाहिए कि भविष्य के उत्पाद उपयोगकर्ता के अनुप्रयोगों को ध्यान में रखते हुए विकसित किए जा रहे हैं। रिमोट-सेंसिंग वैज्ञानिकों, मॉडेलर्स, हाइड्रोलॉजिस्ट आदि सहित क्रॉस-डिसिप्लिनरी वर्कशॉप, सैटेलाइट आधारित उत्पादों और मॉडलों के बीच सहयोग की सुविधा प्रदान करेंगे और सुसंगतता को बेहतर बनाएंगे। भविष्य के ज्ञान-हस्तांतरण परियोजना, वाणिज्यिक अनुप्रयोगों के लिए या सार्वजनिक संगठनों द्वारा सैटेलाइट आधारित मिट्टी नमी डेटा के उपयोग पर ध्यान केंद्रित करना भी फायदेमंद होगा।

BOX 1: TRAINING POTENTIAL USERS

- 84% of potential users surveyed said they were likely to use satellite soil moisture data in future.
- 91% said that future training on satellite soil moisture products would be useful to them

BOX 2: LOW-COST OPEN SOURCE SENSORS FOR EO DATA VALIDATION

Low-cost weather stations and soil moisture sensors were constructed and deployed in India. These experiences highlighted the advantages of low-cost sensors in terms of their affordability and versatility. It also demonstrated some of the limitations such as the significant time investment required to learn how to build the sensors and develop robust designs. In future, there is potential for a larger study to establish a network of low-cost soil moisture probes and investigate their use for validating downscaled satellite products.

बॉक्स 1 प्रशिक्षण संभावित उपयोगकर्ता

- सर्वेक्षण में शामिल संभावित उपयोगकर्ताओं में से 84% ने कहा कि वे भविष्य में सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के डेटा का उपयोग करने की संभावना रखते हैं।
- 91% ने कहा कि सैटेलाइट आधारित मिट्टी की नमी के उत्पादों पर भावी प्रशिक्षण उनके लिए उपयोगी होगा

बॉक्स 2 ईओ आधारित डेटा सत्यापन के लिए कम लागत वाले ओपन सोर्स सेंसर

भारत में कम लागत वाले मौसम स्टेशन तथा मिट्टी की नमी के सेंसर का निर्माण और तैनाती की गई थी।
इन अनुभवों ने कम लागत वाले सेंसर के फायदे उसके सामर्थ्य और बहुमुखी प्रतिभा के संदर्भ में उजागर किया।
इसने कुछ सीमाओं को भी दर्शाया जैसे कि कैसे सेंसर का निर्माण और मजबूत डिजाइन विकसित करने के लिए सीखने हेतु महत्वपूर्ण समय देने की आवश्यकता है।
कम लागत वाली मिट्टी की नमी जांच का नेटवर्क स्थापित करने तथा अवश्रेणीयन सैटेलाइट आधारित उत्पादों को सत्यापित करने हेतु उनके उपयोग की जांच के लिए भविष्य में एक बड़े अध्ययन की संभावना है ।

07 References

Al-Shrafany, D., Rico-Ramirez, M.A., Han, D. and Bray, M., 2014. Comparative assessment of soil moisture estimation from land surface model and satellite remote sensing based on catchment water balance. *Meteorological Applications*, 21(3), pp.521-534.

Brocca, L., Crow, W.T., Ciabatta, L., Massari, C., Rosnay, P.D., Enenkel, M., Hahn, S., Amarnath, G., Camici, S., Tarpanelli, A. and Wagner, W., 2017a. A review of the applications of ASCAT [Advanced SCATterometer] soil moisture products. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(5), pp. 2285-2306

Brocca, L., Ciabatta, L., Massari, C., Camici, S. and Tarpanelli, A., 2017b. Soil moisture for hydrological applications: Open questions and new opportunities. *Water*, 9(2), p.140.

Halwatura, D., McIntyre, N., Lechner, A.M. and Arnold, S., 2017. Capability of meteorological drought indices for detecting soil moisture droughts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12, pp.396-412.

Kerr, Y.H., Al-Yaari, A., Rodriguez-Fernandez, N., Parrens, M., Molero, B., Leroux, D., Bircher, S., Mahmoodi, A., Mialon, A., Richaume, P. and Delwart, S., 2016. Overview of SMOS performance in terms of global soil moisture monitoring after six years in operation. *Remote Sensing of Environment*, 180, pp.40-63.

Mohanty, B.P., Cosh, M.H., Lakshmi, V. and Montzka, C., 2017. Soil moisture remote sensing: State-of-the-science. *Vadose Zone Journal*, 16(1).

Muñoz-Sabater, J., Al Bitar, A. and Brocca, L., 2016. Soil moisture retrievals based on active and passive microwave data: State-of-the-art and operational applications. In *Satellite Soil Moisture Retrieval* (pp. 351-378).

संदर्भ

डी अल - श्राफानी, एम ए रिको-रामिरेज़, डी हान और एम ब्रे, 2014 । भूमि की सतह के मॉडल और जलग्रहण संतुलन पर आधारित सैटलाइट रिमोट सेंसिंग से मिट्टी की नमी के आकलन का तुलनात्मक मूल्यांकन । मीटरोलॉजिकल एप्लिकेशन्स, 21(3), pp.521-534 ।

एल ब्रोका, डब्ल्यू टी क्रो, एल सिआबेटा, सी मसारी, पी डी रोजनेय, एम एनेंकेल, एस हैन, जी अमरनाथ, एस कैमीसी, ए तर्पणेली और डब्ल्यू वैगनर, 2017 ए । मिट्टी की नमी के उत्पादों एएससीएटी[एडवांस्ड स्कटटेरोमेटे] के अनुप्रयोगों की समीक्षा। ।EEE(आईईईई) में चयनित विषयों की पत्रिका अप्लाइड अर्थ ऑब्ज़र्वेशन्स एंड रिमोट सेंसिंग, 10(5), pp. 2285-2306 ।

एल ब्रोका, एल सिआबट्टा, सी मसारी, एस केमिसी और ए तर्पणेली, 2017 बी। हाइड्रोलॉजिकल(जल संबंधी) अनुप्रयोगों के लिए मिट्टी की नमी: अनिर्धार्य(खुले) प्रश्न और नए अवसर। वॉटर, 9(2), p.140 ।

डी हलवातुरा, एन मैकइंटायर, ए एम लेचनर और एस अर्नोल्ड, 2017। मिट्टी की नमी के सूखे का पता लगाने के लिए मौसम संबंधी सूखे के सूचकांकों की क्षमता। जर्नल ऑफ हयड्रोलॉजी: रीजनल स्टडीस, 12, pp.396-412 ।

वाई एच केर, ए अल-यारी, एन रोड्रिग्ज-फर्नांडीज, एम पैरेंस, बी मोलेरो, डी लेरॉक्स, एस बीचर, ए महमूदी, ए मेमन, पी रिचा और एस डेलवर्ट, 2016 । कार्य के छह साल पश्चात मिट्टी की नमी की वैश्विक निगरानी के संदर्भ में एसएमओएस के प्रदर्शन की समीक्षा । रिमोट सेंसिंग ऑफ एन्वाइरन्मेंट, 180, pp.40-63 ।

बी पी मोहंती, एम एच कोश, वी लक्ष्मी, और सी मोंटज़्का 2017। मिट्टी की नमी का रिमोट सेंसिंग: स्टेट-ऑफ-द-साइंस। वडोज़ ज़ोन जर्नल 16(1) ।

जे मुनोज़-सबाटर, ए अल बिटर और एल ब्रोका, 2016 । सक्रिय और निष्क्रिय माइक्रोवेव डेटा के आधार पर मिट्टी की नमी की पुनर्प्राप्ति: अत्याधुनिक और परिचालन अनुप्रयोग । सैटेलाइट सॉइल मॉइस्चर रिट्रीवल में (pp. 351-378) ।

एन निकोलाई-शॉ, एल गुडमुंडसन, एम हिर्शी और एस आई सेनेविरत्ने, 2016 । वैश्विक स्तर पर मिट्टी की नमी की गतिशीलता(आयामों)

Nicolai-Shaw, N., Gudmundsson, L., Hirschi, M. and Seneviratne, S.I., 2016. Long-term predictability of soil moisture dynamics at the global scale: Persistence versus large-scale drivers. *Geophysical Research Letters*, 43(16), pp.8554-8562.

Nicolai-Shaw, N., Zscheischler, J., Hirschi, M., Gudmundsson, L. and Seneviratne, S.I., 2017. A drought event composite analysis using satellite remote-sensing based soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 203, pp.216-225.

Petropoulos, G.P., Srivastava, P.K., Piles, M. and Pearson, S., 2018. Earth observation-based operational estimation of soil moisture and evapotranspiration for agricultural crops in support of sustainable water management. *Sustainability*, 10(1), p.181.

Singh, G., Das, N.N., Panda, R.K., Mohanty, B., Entekhabi, D. and Bhattacharya, B.K., 2016, December. High-Resolution Soil Moisture Retrieval using SMAP-L Band Radiometer and RISAT-C band Radar Data for the Indian Subcontinent. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Wagner, W., Hahn, S., Figa, J., Albergel, C., de Rosnay, P., Brocca, L., de Jeu, R., Hasenauer, S. and Dorigo, W., 2013, October. Operations, challenges, and prospects of satellite-based surface soil moisture data services. In *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. (pp. 463-488).

Wigneron, J.P., Jackson, T.J., O'neill, P., De Lannoy, G., De Rosnay, P., Walker, J.P., Ferrazzoli, P., Mironov, V., Bircher, S., Grant, J.P. and Kurum, M., 2017. Modelling the passive microwave signature from land surfaces: A review of recent results and application to the L-band SMOS & SMAP soil moisture retrieval algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 192, pp.238-262.

की दीर्घकालिक पूर्वानुमान: दृढ़ता बनाम बृहत पैमाने पर संचालक । जीयोफिज़िकल रिसर्च लेटर्स, 43(16), pp.8554-8562 ।

एन निकोलाई-शॉ, जे ज़िसशिस्क्लर, एम हिर्सची, एल गुडमुंडसन और एस आई सेनेविरत्ने, 2017। उपग्रह रिमोट-सेंसिंग आधारित मिट्टी की नमी का उपयोग करके सूखे की एक वृत्तांत(कार्यक्रम) का संयुक्त विश्लेषण। रिमोट सेंसिंग ऑफ एन्वाइरन्मेंट, 203, pp.216-225 ।

जी पी पेट्रोपोलस, पी के श्रीवास्तव, एम पाइल्स और एस पियर्सन, 2018 । स्थायी जल प्रबंधन हेतु कृषि फसलों के लिए मिट्टी की नमी और वाष्पीकरण का पृथ्वी अवलोकन आधारित परिचालन अनुमान । सस्टेइनेबिलीटी, 10(1),p.181.

जी सिंह, एन एन दास, आर.के. पांडा, बी मोहंती, डी एनतेखाबी और बी के भट्टाचार्य, दिसंबर 2016 । भारतीय उपमहाद्वीप के लिए एसएमएपी - एल बैंड रेडिओमीटर और रीसैट - सी बैंड रडार डेटा का उपयोग करते हुए उच्च-रिज़ॉल्यूशन वाले मिट्टी की नमी पुनर्प्राप्ति । एजीयु में फॉल मीटिंग एब्स्ट्रॅक्ट्स ।

विग्नेरॉन, डब्लू हैन, एस फिगा, जे अल्बर्गेल, डी रोजनेय, ब्रोका एल, डी आर जेयू, एस हेसनॉयर और डब्ल्यू डोरिगो, अक्टूबर 2013 । उपग्रह आधारित सतही मिट्टी की नमी डेटा सेवाओं का संचालन, चुनौतियां और संभावनाएं। रिमोट सेंसिंग ऑफ़ एनर्जी फ्लक्सिस एंड सोइल मोयस्चर कंटेट में। (pp. 463-488) ।

जेपी विग्नेरॉन, टीजे जैक्सन, पी ओ'नील, डे लैनोय, डी रोजनेय, पी वॉकर, जेपी फेराज़ोली, पी मिरोनोव, वी बिचर, एस ग्रांट, जेपी और कूरूम, एम, 2017। भूमि सतहों से निष्क्रिय माइक्रोवेव चिह्नक (संकेत) का मॉडलिंग(प्रतिमानन): हाल के परिणामों तथा मिट्टी की नमी की पुनरूद्धार एल्गोरिदम के लिए एल-बैंड, एसएमओएस और एसएमएपी आवेदन की समीक्षा। रिमोट सेंसिंग ऑफ एन्वाइरन्मेंट, 192, pp.238-262 ।

INDIA-UK
Water Centre
भारत-यूके
जल केन्द्र

Natural
Environment
Research Council

सत्यमेव जयते

UK Centre for
Ecology & Hydrology

@IndiaUKWater

www.iukwc.org