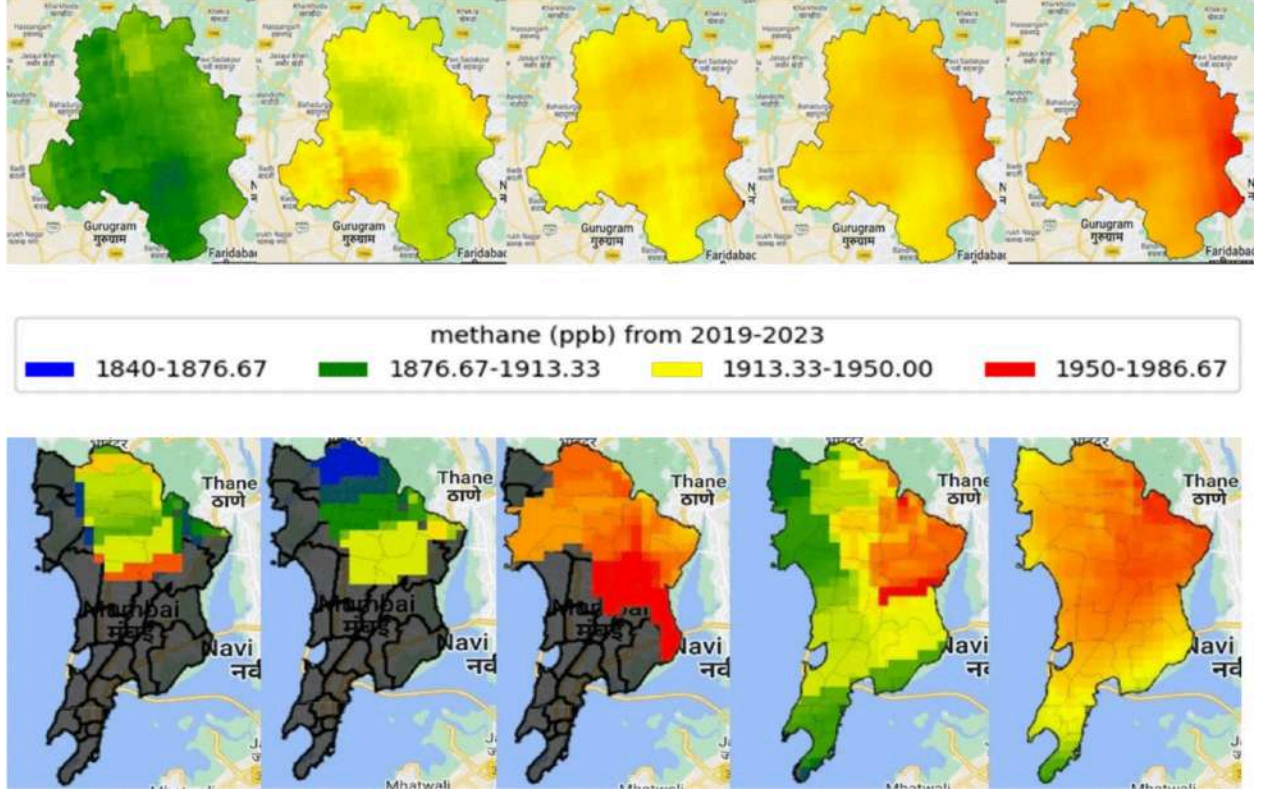


वातावरणातील मिथेन आणि कार्बन डायऑक्साईड वायूंचे प्रमाण मोजण्यासाठी उपग्रहातून प्राप्त माहितीचा वापर

आयआयटी मुंबईच्या अभ्यासात उपग्रह-आधारित माहितीचा उपयोग करून दिल्ली आणि मुंबई शहरांच्या वातावरणात ग्रीनहाऊस वायूंचे वाढते प्रमाण दिसून आले आहे, शिवाय तीव्र उत्सर्जनाची ठिकाणे ओळखता आली आहेत.



मागील काही वर्षात दिल्ली आणि मुंबईच्या वातावरणातील मिथेन वायूचे वाढते प्रमाण दर्शवणारे चित्र.
सौजन्य: अभ्यासाचे लेखक

२०२४ साल आतापर्यंत नोंदलेले सर्वात उष्ण वर्ष ठरले. [जागतिक हवामान संघटनेनुसार](#) (वर्ल्ड मीटिओरॉलॉजिकल ऑर्गनायझेशन) २०२४ मधील जागतिक सरासरी तापमान १८५०-१९०० च्या तुलनेत १.५५°C जास्त होते. मानवी कृतींमुळे होणारी जागतिक तापमानवाढ (ग्लोबल वॉर्मिंग) मोजण्यासाठी १८५०-१९०० च्या काळातील तापमान आधारभूत (बेसलाईन) मानले जाते. २०१६ च्या पॅरिस हवामान करारामध्ये (पॅरिस क्लायमेट अकॉर्ड) जागतिक सरासरी तापमान आधारभूत तापमानापेक्षा १.५°C हून जास्त वाढू देऊ नये असे लक्ष्य निश्चित करण्यात आले होते. हे उद्दिष्ट पूर्ण करणे किती कठीण असू शकते ते सदर आकडेवारीवरून स्पष्ट होते. भारतासह एकूण १९५ राष्ट्रांनी या पॅरिस करारावर स्वाक्षरी केली असून, ही राष्ट्रे हरितगृह वायूंचे (ग्रीनहाऊस गॅसेस) उत्सर्जन राष्ट्रीय स्तरावर निश्चित केलेल्या एनडीसी मर्यादेच्या आत ([नॅशनली डिटरमाईंड काँट्रीब्युशन](#)) ठेवण्यास वचनबद्ध आहेत.

कार्बन डायऑक्साईड (CO₂) आणि मिथेन (CH₄) सारख्या वातावरणातील हरितगृह वायूंची अचूक माहिती

असणे, उत्सर्जनाच्या पातळीवर लक्ष ठेवण्यासाठी आणि एनडीसी वचनबद्धता पूर्ण करण्यासाठी अत्यंत महत्वाचे आहे. मात्र, भारतात हरितगृह वायूंचे प्रमाण मोजण्यासाठी लागणारी भू-स्थानकांची (जमिनीवर असलेल्या केंद्रांची) विस्तृत यंत्रणा उपलब्ध नाही. यावर तोडगा काढण्यासाठी, भारतीय तंत्रज्ञान संस्था (आयआयटी) मुंबईचे संशोधक, प्रा. मनोरंजन साहू आणि श्री. आदर्श अलगडे यांनी उपग्रहांद्वारे प्राप्त माहितीचा (सेटेलाईट डेटा) आधार घेतला. नुकत्याच झालेल्या एका [अभ्यासात](#) त्यांनी दाखवून दिले की मुंबई आणि दिल्लीसारख्या महानगरांमध्ये कार्बन डायऑक्साईड आणि मिथेनची पातळी खात्रीशीरपणे मोजण्यासाठी दूरस्थ संवेदनातून मिळालेल्या माहितीचा (रिमोट सेन्सिंग डेटाचा) उपयोग केला जाऊ शकतो. उपग्रहावरून मिळालेल्या मापनांचा वापर करून केलेल्या निरीक्षणांमध्ये संशोधकांना आढळले की दोन्ही शहरांमध्ये हरितगृह वायूंची पातळी वाढते आहे आणि त्यात ऋतूनुसार तसेच स्थानिक भिन्नतेनुसार बदल दिसून येतात. संशोधकांनी हरितगृह वायूंच्या पातळीचा अंदाज लावण्यासाठी त्या त्या शहराच्या संदर्भात शहर-विशिष्ट सांख्यिकीय मॉडेल्स (स्टॅटिस्टिकल मॉडेल्स) देखील विकसित केली.

“उपग्रहाद्वारे प्राप्त माहितीच्या आधारे केलेल्या निरीक्षणामुळे उत्सर्जक स्रोतांमधील बदल आणि उत्सर्जनाची तीव्रता जास्त असलेली ठिकाणे (हॉटस्पॉट्स) ओळखता येतात. त्यामुळे धोरणकर्त्यांना सर्वात धोकादायक स्रोत ओळखण्यासाठी आणि त्यांच्यावर लक्ष ठेवण्यासाठी योग्य माहिती मिळते. उदाहरणार्थ, कचरापट्टीमधून उत्सर्जित वायू (लँडफिल गॅस) पकडणे, जास्त उत्सर्जन असलेल्या मार्गांवर वाहतूक व्यवस्थापन करणे किंवा औद्योगिक उत्सर्जन मर्यादित करण्याकरीता ठेवले जाईल याची अंमलबजावणी करणे शक्य होऊ शकते. या उपग्रह-आधारित माहितीमुळे, कालांतराने धोरणांच्या प्रत्यक्ष परिणामाचे मूल्यांकन करणे देखील सोपे होते,” उपग्रह-आधारित माहिती वापरण्याचे फायदे सांगताना प्रा. साहू यांनी स्पष्ट केले.

प्रा. साहू आणि श्री. अलगडे यांनी कार्बन डायऑक्साईडचा मागोवा घेण्यासाठी नासाच्या (NASA) 'ऑर्बिटिंग कार्बन ऑब्झर्वेटरी-२' (ओसीओ-२) या उपग्रहाद्वारे प्राप्त माहिती वापरली, आणि मिथेनचा मागोवा घेण्यासाठी युरोपीयन स्पेस एजन्सीच्या 'सेंटिनेल-५पी' उपग्रहाद्वारे प्राप्त माहिती वापरली. हे उपग्रह उत्सर्जनाची माहिती थेट देत नाहीत. त्यामुळे, संशोधकांनी उपग्रहांद्वारे मिळणाऱ्या माहितीच्या आकड्यांवरून (रॉ डेटा) आवश्यक असलेली मूल्ये काढण्यासाठी विशेष अल्गोरिदमचा वापर केला. काढलेल्या मूल्यांची विश्वसनीयता तपासण्यासाठी, त्यांनी त्यांच्या उपग्रह-आधारित नोंदींची पडताळणी 'टोटल कार्बन कॉलम ऑब्झर्विंग नेटवर्क' (टीकॉन; TCCON) या जगभर पसरलेल्या भू-स्थानकांद्वारे प्राप्त मापनांशी केली. भू-स्थानकांचे हे जाळे कार्बन डायऑक्साईड आणि मिथेन यांच्या पातळीचे अत्यंत अचूक मापन करते.

“टीकॉन नी दिलेली माहिती अत्यंत अचूक असते आणि ती उपग्रहाद्वारे मिळवलेल्या माहितीमध्ये दुरुस्ती करण्यासाठी व तिचे मूल्यांकन करण्यासाठी एक जागतिक प्रमाणित मापदंड (स्टँडर्ड बेंचमार्क) म्हणून वापरली जाते. उपग्रहावरून मिळालेले मापन आणि टीकॉन मूल्ये यांना जुळवून तपासल्यास असे सिद्ध होते की उपग्रहाद्वारे केलेले मोजमाप मूलभूतपणे योग्य असतात. विविध प्रकारच्या वातावरणांमध्ये त्यांच्या नोंदी अचूक असून, त्यांच्यातील त्रुटी स्वीकारार्ह मर्यादित असतात,” असे प्रा. साहू म्हणाले. भारतात विश्वसनीय भू-स्तरीय आकडे उपलब्ध नाहीत. परंतु, टीकॉन मधून प्राप्त माहिती विविध ठिकाणांहून घेतलेली असून त्यात पुरेशी वातावरणीय विविधता देखील टिपली गेलेली दिसून येते. संशोधकांची उपग्रहाच्या माहितीवर आधारित मूल्ये टीकॉन च्या या वैविध्यपूर्ण माहितीशी जुळत असल्याने, त्यांची सदर पद्धत भारतीय उपखंडाला देखील लागू होईल अशी खात्री संशोधकांना वाटते.

उपग्रहांच्या माहितीवर आधारित मापनांचा वापर करून संशोधकांनी मिथेन आणि कार्बन डायऑक्साईड वायूंचे मागील काही वर्षांतील प्रमाण काढले आणि ते वाढत असल्याचे दिसून आले. या माहितीमुळे संशोधकांना मिथेनचे 'हॉटस्पॉट्स' (जास्त तीव्रतेची ठिकाणे) तयार होत असल्याचे देखील दिसले. हे हॉटस्पॉट्स सहसा सांडपाणी, कचरापट्टी अथवा औद्योगिक क्षेत्रांपाशी आढळून आले. असे हॉटस्पॉट्स आणि वाढता कचरा व जलद शहरी विकास यामुळे निर्माण होणारे धोके ओळखता आल्याने उपग्रहावरून मिळालेली माहिती विशिष्ट धोरणात्मक निर्णय घेण्यासाठी महत्वाची भूमिका बजावू शकते असे दिसून येते.

हरितगृह वायूंच्या पातळीतील नमुने समजून घेण्यासाठी आणि त्यातील बदलांचा अंदाज लावण्यासाठी, संशोधकांनी 'सिझनल ऑटोरिग्रेसिव्ह इंटरग्रेटेड मूव्हिंग अॅव्हरेज' (SARIMA) नावाचे एक सांख्यिकीय मॉडेल वापरले. मागील डेटाच्या आधारावर भविष्यातील मूल्यांचा अंदाज घेण्यासाठी या मॉडेलचा वापर बऱ्याचदा केला जातो. SARIMA मॉडेल हवामानाचा अंदाज देणाऱ्या प्रणालींप्रमाणेच काम करते. सोप्या भाषेत सांगायचे झाल्यास, या मॉडेलमध्ये नोंदींमधील ताजे बदल, पाठोपाठच्या नोंदींमधील फरक, आणि आधीच्या काही ठराविक नोंदींची सरासरी हे तीन मापदंड वापरून पुढील महिन्याच्या हरितगृह वायूंच्या प्रमाणाचा अंदाज वर्तवला जातो. याबरोबर, अंदाज वर्तवताना ऋतुनुसार नियमित आणि वारंवार होणारे बदलही विचारात घेतले जातात. संशोधकांनी उपग्रहावरून मिळवलेला डेटा वापरून दिल्ली आणि मुंबई या शहरांसाठी SARIMA चे हे वरील तीन मापदंड अनुकूलित केले.

प्रा. साहू आणि श्री. अलगडे यांनी भारताच्या संदर्भा निश्चित केलेल्या मापदंडांसह, SARIMA मॉडेलमध्ये सार्वजनिक वाहतूक सुधारणे, औद्योगिक नियम कडक करणे किंवा कचरापट्टीचे व्यवस्थापन सुधारणे यांसारख्या उपाययोजनांमुळे उत्सर्जनात मोजता येईल इतपत फरक खरोखर पडत आहे का ते धोरणकर्त्यांना तपासता येऊ शकते. उपाययोजना केल्यानंतर प्रत्यक्ष स्थितीतील माहितीची तुलना, SARIMA च्या उपाययोजना न केलेल्या स्थितीतील अंदाजांशी करून अशा धोरणांच्या परिणामांचे अधिक विश्वसनीयपणे मूल्यांकन करता येते.

उपग्रहावरून मिळणाऱ्या माहितीला काही मर्यादा असतात. "उपग्रहांची क्षमता प्रचंड असली तरी माहिती गोळा करण्यात अडचणी येऊ शकतात : ढग, धूळ आणि शहरांमधील धूर (स्मॉग) यांच्यामुळे मापन करताना चुका होऊ शकतात. उपग्रहातून मिळणाऱ्या स्थानिक नोंदी सलग उपलब्ध नसतात, तर त्या ठराविक वेळाने सतत टिपल्या जातात (सॅपशॉट्स). उपग्रहांचा वापर नियमनासाठी करण्यापूर्वी हे सर्व घटक काळजीपूर्वकपणे ध्यानात घेणे आवश्यक आहे," असा इशारा प्रा. साहू यांनी दिला. उपग्रहांची उपयुक्तता आणि जमिनीवरील केंद्रांच्या क्षमता एकत्रित केलेल्या निरीक्षण प्रणाली सर्वात प्रभावी ठरतील असे त्यांनी नमूद केले.

"उपग्रहांद्वारे (स्थूल) मोठा प्रदेश तपासता येतो आणि उत्सर्जनाचे हॉटस्पॉट्स ओळखता येतात, तर जमिनीवरील केंद्रांवरून (सूक्ष्म) स्थानिक तपशील अचूकपणे नोंदवता येतो. या दोन माध्यमांचा एकत्रित वापर केल्यास, स्थूल ते सूक्ष्म आणि सूक्ष्म ते स्थूल अश्या दोनही पद्धतीने निरीक्षणे जुळवता येऊ शकतात. यामुळे उत्सर्जन मूल्यांच्या अनुमानाची विश्वसनीयता वाढेल आणि हवामानासंबंधी माहिती जास्त चांगली मिळाल्याने धोरणांमध्ये देखील सुधारणा करता येतील," असे त्यांनी आवर्जून सांगितले. यासाठी त्यांनी भारतातील भू-स्थानकांचे (ग्राउंड-बेस्ड मॉनिटरिंग साईट्स) जाळे वाढवण्याची गरज अधोरेखित केली.

भविष्यात, मशीन लर्निंग सारखी नवी तंत्रे वापरून अनुमानांची व्याप्ती आणि अचूकता वाढवता येऊ शकते. “मशीन लर्निंग एक शक्तिशाली तंत्र आहे आणि त्याची भूमिका महत्वाची असेल. परंतु भविष्यातील सर्वोत्तम प्रणालींमध्ये मशीन लर्निंग, भौतिकशास्त्रावर आधारित मॉडेल्स (फिजिक्स-बेस्ड मॉडेल्स), उपग्रहावरील सुधारित संवेदक आणि भू-पातळीवर गोळा केलेली माहिती यांचा मेळ असला पाहिजे,” असे प्रा. साहू यांनी सांगितले.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Satellite-based assessment and forecasting of greenhouse gas (GHG) concentrations in Indian megacities using advanced statistical methods
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1007/s11356-025-36583-1
List of all researchers with affiliations	Adarsh Alagade, Manoranjan Sahu; Environmental Science and Engineering Department, Indian Institute of Technology Bombay, 507, Aerosol and Nanoparticle Technology Laboratory, Mumbai 400076, India
Email of researcher/s	mrsahu@iitb.ac.in , Manoranjan Sahu
Writer name	ArulGanesh S S
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Authors of the study
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant	1. An IIT Bombay study using satellite data over the past few years shows rising greenhouse gas levels in India and also identifies emission hotspots. Read on for more at <link> 2. Accurate knowledge of atmospheric greenhouse gases like

VETTED / UNVETTED	Vetted
content [optional] [writer]	carbon dioxide and methane is critical to monitoring emission levels and meeting prescribed limits. Here's where satellite-based monitoring can help, shows IIT Bombay study! Details at <link>
Social Media Handles to be added	(as an example, @DSTIndia @iitbombay)
Social Media handles of writer	sreesreearul
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/adarsh-alagade https://www.linkedin.com/in/manoranjani1/
Funding information (Source: Research paper)	ESED/IIT Bombay and Govt India provided financial support to the student (Adarsh Alagade) working on the project.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	The authors declare no competing interests.
Co-PI information (Source: Research paper)	
Location:	Mumbai