

बरणीत भरलेले उबदार ऊन! थंडीत उष्णता मिळवण्यासाठी उन्हाळ्यातल्या सूर्यप्रकाशाची साठवण
आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी गोठवणाऱ्या थंडीत ऊब मिळवण्यासाठी रसायनशास्त्राच्या मदतीने सूर्यप्रकाश साठवणे शक्य असल्याचे दाखवले.



प्रतिमा श्रेय: [Pexels](#)

हिमालयाच्या कुशीत वसलेल्या उत्तर भारतातील अनेक प्रदेशांमध्ये वर्षातले किमान तीन महिने तापमान गोठणबिंदूच्या खाली उतरते. लेह सारख्या हिमाच्छादित प्रदेशातील नागरिक थंडीपासून बचाव करण्यासाठी बहुतांशी डिझेल शेगडीचा वापर करतात. डिझेल शेगडीचा कर्बभार अधिक असून त्यासाठी लागणारे इंधन महाग असते. तसेच, अशा दुर्गम प्रदेशांपर्यंत इंधन पोहोचवण्यासाठी जिकिरीच्या रस्त्यांवरून त्याची वाहतूक करावी लागते. इतकी आव्हाने झेलण्याऐवजी, उन्हाळ्यात हिमशिखरांवर चमचमणारे ऊन जर साठवून ठेवता आले आणि थंडीत त्याच उन्हाची ऊब मिळवता आली तर? भारतीय तंत्रज्ञान संस्था, मुंबई (आयआयटी मुंबई) येथील संशोधक म्हणतात, रसायनशास्त्राच्या मदतीने सूर्याचे ऊन देखील वर्षभरासाठी साठवून भरून ठेवणे शक्य आहे !

समुद्रसपाटीपासून अधिक उंचीवर असलेल्या प्रदेशातील थंडीवर मात करण्यासाठी, [अलीकडील एका अभ्यासाद्वारे](#) संशोधकांनी स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइड या संयुगाचा वापर करून सूर्यप्रकाशाचा उष्मा-रासायनिक साठा करता येईल असा प्रस्ताव मांडला आहे. ज्याप्रमाणे बॅटरीमध्ये वीज साठवली जाते त्याचप्रमाणे उष्मा-रासायनिक संचयक (थर्मो-केमिकल स्टोरेज) रासायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात उष्णता साठवून ठेवतो. उष्मा-रासायनिक साठयाविषयी झालेल्या अनेक संशोधनांमध्ये स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइड या संयुगावर अभ्यास झाला आहे. स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइड अधिक ऊर्जाघन, रासायनिकदृष्ट्या स्थिर, अविषाक्त, अविस्फोटक आणि पर्यावरणासाठी सुरक्षित असल्याने त्याची यासाठी निवड केली जाते.

सुरुवातीला संशोधकांनी एक आदिरूप (प्रोटोटाईप) तयार केले. यात प्रथम सौर उष्ण हवा संकलकांचा

(सोलर थर्मल एयर कलेक्टर) वापर करून उन्हाळ्यात सूर्याच्या उष्णतेने हवा गरम केली जाते. या गरम हवेचा वापर स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइड गरम करण्यासाठी केला जातो. स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइडचा एक सजलित प्रकार यासाठी वापरला जातो. या प्रकारामध्ये स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइडचे स्फटिक त्यांच्या संरचनेमध्ये पाण्याचे रेणू धारण करतात. उष्मन प्रक्रियेदरम्यान पदार्थात उष्णता शोषली जाते व त्यातील स्फटिकीय संरचनेतून पाण्याचे रेणू बाहेर फेकले जातात (निर्जलन). परिणामतः तयार झालेल्या मोनोहायड्रेट क्षारामध्ये शोषून घेतलेली सौर ऊर्जा रासायनिक विभवाच्या स्वरूपात साठवली जाते. हिवाळ्यामध्ये या “प्रभारीत” क्षारावरून आर्द्र हवा सोडली असता उलट प्रक्रिया घडते. उष्मादायी प्रक्रिया घडून हवेतील पाण्याचे रेणू क्षाराच्या स्फटिकीय संरचनेमध्ये पुन्हा शोषून घेतले जातात.

दीर्घ आणि तीव्र हिवाळा असलेल्या हिमालयातील प्रदेशांसाठी हे तंत्रज्ञान एक शाश्वत पर्याय देते. या प्रदेशांतील स्थानिकांना थंडीत ऊबदार वातावरण तयार करण्यासाठी फारसे शाश्वत पर्याय उपलब्ध नाहीत. त्यांना बहुतांशी डिझेल किंवा लाकूड जाळून गरमी निर्माण करावी लागते. अशा स्थितीत बरेच महिने ऊर्जा संचय ठेवण्याची क्षमता असलेली उष्मा-रासायनिक साठवण या प्रदेशांसाठी विशेष उपयुक्त आहे.

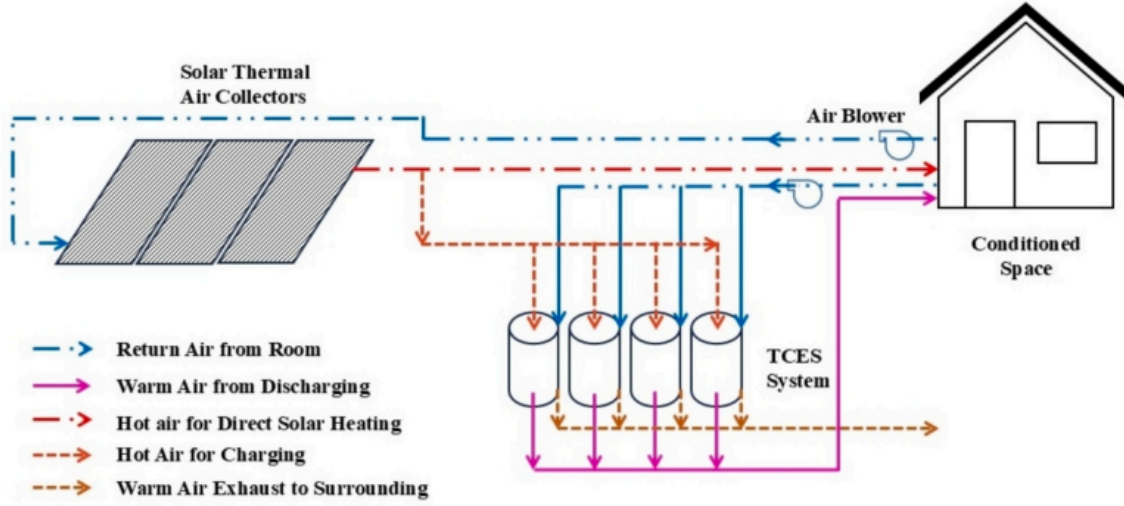
या शोधनिबंधाचे लेखक डॉ. रुद्रदीप मजुमदार यांच्या मते हे तंत्रज्ञान विकसित करण्याचे महत्त्व जितके अभ्यासविषयक आहे तितकेच व्यक्तिगत देखील आहे. डॉ. रुद्रदीप मजुमदार आयआयटी मुंबई येथील पदव्युत्तर संशोधक म्हणून सदर प्रकल्पामध्ये सहभागी झाले असून सध्या ते नॅशनल इन्स्टिट्यूट ऑफ अँडव्हान्स्ड स्टडीज येथे काम करत आहेत. या अभ्यासामागील प्रेरणा स्पष्ट करताना ते म्हणाले, “मी चोपटा-तुंगनाथ-चंद्रशिला ट्रेकला गेलो होतो आणि तेथील कॅम्पमध्ये राहिलो. तारांकित आभाळाखाली रात्र घालवणे फारच आनंद देणारे होते पण रात्रीची थंडी मात्र जीवघेणी होती. मी लोकांना त्या वातावरणाशी संघर्ष करताना पाहिलं. लोक दहा-दहा किलोमीटर चालून जात होते, फक्त जळणाचं लाकूड आणायला! लाकडाला पर्याय फक्त डिझेलचाच असतो, पण डिझेलने प्रचंड प्रदूषण होते.”

स्थानिक लोकांना उपयुक्त व्हावे या दृष्टीने संशोधकांनी साधारणपणे ५०० किलोवॉट-तास पुरेल इतकी ऊर्जा साठवणाऱ्या मॉड्यूलची रचना केली. त्यांच्या मते हिमालयातील एका लहान घराला चार महिने उबदार ठेवण्यासाठी इतकी ऊर्जा पुरेशी ठरेल. ही संपूर्ण प्रणाली, परिवर्तनसुलभ भागांनी बनलेली असून वाहतूक करण्यास व वापरण्यास सोपी आहे. त्यामध्ये उन्हाळ्यात हवा गरम करणारे सौर उष्ण हवा संकलक, स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइडचे क्षार भरलेला रासायनिक अभिक्रिया कक्ष, निर्जलन व पुनर्संजलन चक्र सुरू होण्यासाठी हवेचे अभिसरण करणारी एक लहान यंत्रणा इत्यादि भागांचा समावेश आहे. रासायनिक अभिक्रियेसाठी आवश्यक असलेले घटक हिमालयी हवामानासाठी सुयोग्य असलेल्या हवामानरोधक युनिटमध्ये ठेवलेले असून काच तंतूंच्या सहाय्याने त्यांचे इन्सुलेशन केलेले आहे.

डॉ. मजुमदार पुढे म्हणाले, “सौर संकलकांची कार्यक्षमता तर यापूर्वीच सिद्ध झालेली आहे. स्टील टाक्या देखील अनेक वर्षे बनवल्या जात आहेत. तर यामध्ये नवे योगदान म्हणजे उष्मा-रासायनिक पदार्थांना स्थिर केले आणि दैनंदिन जीवनासाठी सुयोग्य पद्धतीने त्याचे पॅकेजिंग केले. उर्जेचा या पद्धतीचा दीर्घकालीन मोसमी साठा होऊ शकतो याचं प्रमुख कारण म्हणजे या पदार्थात साठवली जाणारी ऊर्जा अतिशय स्थिर आहे. त्यातली ऊर्जा खूप काळ टिकून राहते, कमी होत नाही.”

या मॉड्यूलचा आकार देखील आटोपशीर आहे. सदर अभ्यासाचे प्रमुख, आयआयटी मुंबई येथील डॉ. संदीप कुमार साहा म्हणाले, “यातला प्रत्येक संचयक हा साधारण दोन एलपीजी (स्वयंपाकाचा गॅस) सिलेंडरच्या आकाराचा आहे, शिवाय सहज वाहून नेता येण्यासाठी त्याची विशेष रचना केली आहे. सौर स्थानकांवर यांना रीचार्ज (पुनःप्रभारण) करता येऊ शकते. गुजरात किंवा राजस्थानसारख्या तीव्र उन्हाळी भागांमध्ये हे

सिलेंडर रीचार्ज करून हिवाळ्यापूर्वी ट्रकने हिमालयातील प्रदेशात पोहोचवणे देखील शक्य आहे.”



प्रस्तावित मोसमी सौर उष्मन प्रणाली आणि हवेचा प्रवाह दर्शवणारी रेखाकृती (ए. एस. पुजारी व इतर, अप्लाईड थर्मल इंजीनीरिंग २६९ (२०२५) १२६०९०)

प्रतिमेतील शब्द

Solar Thermal Air Collectors	सौर उष्ण हवा संकलक
Air Blower	हवा अभिसरण यंत्रणा
Conditioned Space	वातानुकूलित जागा
Return Air from Room	खोलीतून परत येणारी हवा
Warm Air from Discharging	विप्रभारण होऊन बाहेर पडणारी उबदार हवा
Hot Air for Direct Solar Heating	थेट सौर उष्मनासाठीची गरम हवा
Hot Air for Charging	प्रभारणासाठी गरम हवा
Warm Air Exhaust to Surrounding	उबदार हवेचा भोवताली निकास
TCES System	टीसीईएस प्रणाली

ही प्रणाली कशी वापरायची याविषयी डॉ. मजुमदार यांनी सांगितले, “एकदा यात रासायनिक पदार्थ भरला की तो बदलायची गरज नसते. यातील अभिक्रिया कक्ष योग्य ती काळजी घेऊन सांभाळला तर वापर आणि देखभालीचा खर्च कमी होतो. हे कक्ष एकदम मजबूत आहेत.”

उष्मा-रासायनिक क्षारांच्या सहा पूर्ण प्रभारण-विप्रभारण चक्राच्या प्रयोगशाळेमध्ये चाचण्या घेतल्या गेल्या. त्यामध्ये त्यांच्या कार्यक्षमतेत कोणताही न्हास आढळला नाही. स्ट्रॉन्शियम ब्रोमाइडसारख्या उष्मा-रासायनिक क्षारांमध्ये सर्वसाधारणपणे ५०० ते ६०० वेळा प्रभारण व विप्रभारण होण्याची क्षमता असते. म्हणजेच प्रत्येक युनिट अनेक वर्षे टिकू शकते असे संशोधकांनी स्पष्ट केले.

सुरुवातीला उष्मा-रासायनिक प्रणालीसाठी डिझेल शेंगडीच्या तुलनेत अधिक भांडवल आवश्यक असले तरीही या प्रणाली दीर्घ काळासाठी जास्त किफायती ठरतात. विशेषतः दुर्गम भागांसाठी, कारण अशा ठिकाणी डिझेलच्या किमतीत वाहतुकीच्या खर्चाची देखील भर पडते व एकंदर पर्यावरणावरील परिणाम व कर्ब उत्सर्जनामुळे लागू होणारे संभाव्य दंड यांचा देखील अतिरिक्त बोजा वाढतो.

याविषयी माहिती देताना डॉ. मजुमदार म्हणाले, “आजघडीला आपल्याला डिझेलपासून वीजनिर्मिती करायची असेल तर ₹५० प्रति किलोवॅट-तास इतकी किंमत पडेल. यात कर्ब दंड मिळवून ही किंमत ₹७८ प्रति किलोवॅट-तास पर्यंत जाईल. हे पाहता उष्मा-रासायनिक प्रणाली अर्ध्या किमतीत पडते.”

सदर अभ्यासांतर्गत उष्मा-रासायनिक प्रणालीची लेव्हलाइज्ड कॉस्ट ऑफ हीटिंग (LCOH) मोजली गेली. हा खर्च म्हणजे उष्मन प्रणालीच्या एकूण आयुष्यमानाच्या दरम्यान तिने केलेल्या वापरण्यायोग्य उष्णता उत्पादनाचा सरासरी खर्च. हा खर्च हिमालयातील वेगवेगळ्या शहरांमध्ये ₹३३ ते ₹५१ प्रति किलोवॅट-तास असा आला. इंधन वाहतूक आणि पर्यावरणावरील ताणाचा खर्च लक्षात घेता दैनंदिन वापराच्या दृष्टीने हा खर्च डिझेल उष्मन प्रणालीपेक्षा स्वस्त ठरतो. संशोधनांतर्गत निरीक्षणे घेतलेल्या सर्व प्रदेशांपैकी (दार्जिलिंग, शिलाँग, देहरादून, शिमला, जम्मू, श्रीनगर, मनाली आणि लेह) लेहमध्ये विशेष करून LCOH खर्च ₹३१ प्रति किलोवॅट-तास म्हणजेच सर्वात कमी आला.

या अभ्यासाचा आणखी एक दृष्टिकोन विशद करताना आयआयटी मुंबईचे डॉ. चंद्रमौळी सुब्रमण्यम म्हणाले, “सौर-औष्णिक ऊर्जा प्रणालींची भारतीय सैन्यासाठी देखील उपयुक्तता तपासण्यात आली आहे. त्यासाठी शून्यापेक्षा कमी तापमानात व कठोर हवामानात एखाद्या जागेतील हवा उबदार करण्यासाठी प्रणालीची यशस्वी चाचणी घेण्यात आली आहे. उंचीवर तेनात असलेल्या आपल्या भारतीय सैन्याच्या छावण्यांना वर्षभर, धूरमुक्त उष्मन प्रणाली उपलब्ध करून देऊ शकतील असे उष्मासाठी उपाय आम्ही विकसित करत आहोत.”

या संशोधनाचे बहुतांशी निष्कर्ष आशादायक आहेत. परंतु, प्रत्यक्ष वापरासाठी ही प्रणाली विस्तृत करता येण्यापूर्वी आणखी काही अडचणी दूर करणे आवश्यक आहे. आंतरराष्ट्रीय स्तरावर, उष्मा-रासायनिक ऊर्जा साठा वापराचे प्रयोग केवळ जर्मनीसारख्या ठिकाणी व तेही मर्यादित विस्तारासह झालेले आहेत. भारतात या प्रणालीच्या प्रत्यक्ष वापराची चाचणी अद्याप झालेली नसून त्याचा सुरुवातीचा खर्च डिझेल शेंगडीच्या तुलनेत जास्त आहे. उष्मा-रासायनिक क्षार प्रभारित होण्यासाठी उन्हाळ्यात सूर्याची उष्णता पुरेशी असणे आणि साठवलेली उष्णता बाहेर सोडण्यासाठी हिवाळ्यात पुरेशी आर्द्रता असणे या दोन आवश्यक घटकांवर या प्रणालीची कार्यक्षमता अवलंबून आहे. हे घटक हिमालयातील विविध प्रदेशांनुसार बदलतात. तरीही, संशोधकांना विश्वास आहे की क्षेत्रीय चाचण्या, सहाय्यक धोरणे आणि स्थानिक सहभागातून हे तंत्रज्ञान भविष्यात अधिक शाश्वत आणि समावेशक ऊर्जा वापराकडे नेऊ शकते.

शेवटी डॉ. मजुमदार म्हणले, “जीवन गुणवत्तेशी उर्जेचा जवळचा संबंध आहे. एकविसाव्या शतकात ऊर्जा-दारिद्र्य असता कामा नये. देशातील दुर्गमातील दुर्गम भागांमध्ये देखील ऊर्जा उपलब्धता असली पाहिजे याची आपण खात्री करायला हवी.”

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Techno-Economic analysis of solar thermal seasonal thermochemical storage for Indian Himalayan cities
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.126090
Researchers with affiliations	Ankush Shankar Pujari and Sandip K. Saha Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai Rudrodip Majumdar EECP, School of Natural Sciences and Engineering, National Institute of Advanced Studies, IISc Campus, Bengaluru, C. Subramaniam Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai)
Email of researcher/s	sandip.saha@iitb.ac.in , rudrodip@nias.res.in
Writer name	Ankush Banerjee
Transcreator name	Shweta Bhide
Credits to Graphic:	Pexels /https://www.pexels.com/photo/kinnaur-district-himachal-pradesh-india-26612880/
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	#IITBombay, #SolarEnergy, #EnergyStorage, #WinterHeating, #CleanEnergy #Sustainability #Leh
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	@ankushinscience (on X)
Social Media handles of researchers	@RD_Majumdar
Funding information (Source: Research paper)	SERB, DST, INDIA through grant no. CRG/2021/000221
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	NA
Co-PI information (Source: Research paper)	
Location:	Mumbai