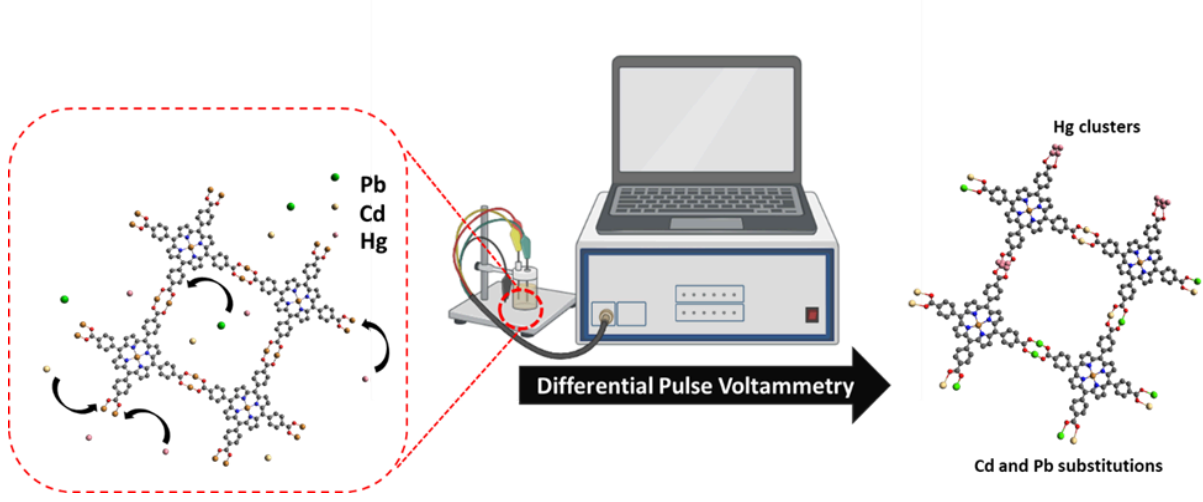


पाण्यातील हानिकारक जड धातू शोधणारा आयआयटी मुंबईचा अभिनव संवेदक

‘मेटल ऑर्गॅनिक फ्रेमवर्क’ मध्ये तांबे वापरून बनवलेला नवीन किफायती संवेदक पाण्याचा दर्जा तपासण्याच्या सर्वोत्तम पद्धती इतकाच प्रभावी



कॅडमियम, शिसे आणि पारा धातूंच्या Cu-TCPP-आधारित संवेदनाचे रेखाचित्र
श्रेय: प्रशांत कन्नन

जड धातूंचा (हेवी मेटल्स), म्हणजेच उच्च अणुभार आणि घनता असणाऱ्या मूलद्रव्य धातूंचा, कारखाने, उत्पादन व कृषी क्षेत्रात मुबलक वापर केला जातो. मात्र उपयुक्त असूनही त्यांच्यापासून पर्यावरण आणि आरोग्याला बऱ्यापैकी धोका असतो कारण ते विषाक्त (टॉक्सिक) असतात, खूप काळ टिकून राहू शकतात आणि सजीवांमध्ये साठून राहतात (बायोअॅक्युमुलेटिव्ह).

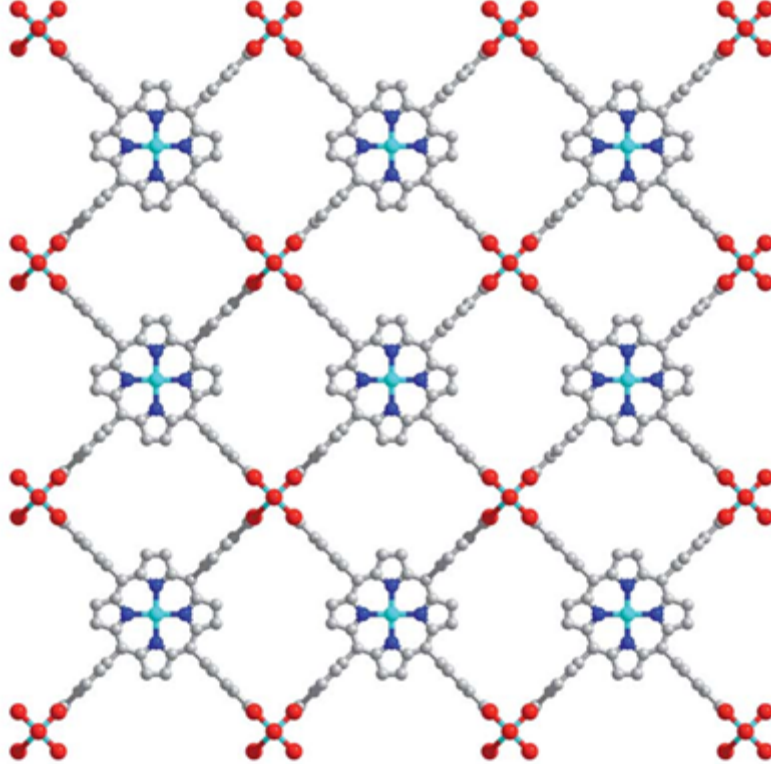
द एनर्जी अँड रिसोर्सेस इन्स्टिट्यूट (TERI) च्या एका अहवालानुसार भारतातील जवळजवळ ७१८ जिल्हांमधील भूजल अर्सेनिक, कॅडमियम, क्रोमियम आणि लेड (शिसे) सारख्या जड धातूंनी प्रदूषित झालेले आहे. पर्यावरण, वन आणि हवामान बदल मंत्रालयाने देखील ३२० ठिकाणांमध्ये जड धातूमुळे प्रदूषण असण्याची दाट शक्यता वर्तवली आहे. या जड धातूंचे सेवन झाल्याने त्वचा, हाडे, मेंदू आणि इतर अवयवांच्या आरोग्यावर, विशेषतः लहान मुलांमध्ये गंभीर परिणाम होतात. त्यामुळे या जड धातूंचे अस्तित्व प्रभावीपणे ओळखता येणे पर्यावरण आणि जनस्वास्थाच्या दृष्टीने अत्यंत महत्वाचे आहे.

जड धातूमुळे होणाऱ्या प्रदूषणाला आळा घालण्यासाठी ते ओळखता यावे या दृष्टीने भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) आणि मोनॅश विद्यापीठ, ऑस्ट्रेलिया येथील शास्त्रज्ञांनी कॉपर-बेस्ड मेटल-ऑर्गॅनिक फ्रेमवर्क (MOF)चा वापर करून पाण्यात जड धातू आहेत का हे तपासण्यासाठी एक संवेदक विकसित केला आहे. या कामासाठी भारत सरकारच्या जैवतंत्रज्ञान विभागाचे अर्थसहाय्य त्यांना मिळाले होते.

मेटल-ऑर्गॅनिक फ्रेमवर्क (MOF) पदार्थाचा असा एक वर्ग आहे ज्यांची संरचना अत्यंत सच्छिद्र असते. सूक्ष्म पातळीवर बघता MOF मध्ये धातूच्या आयनांचे नोड्स (गाठी) सेंद्रिय संयुगांद्वारे जोडून त्यांचे एक सच्छिद्र जाळे (नेटवर्क) तयार होते. त्याचे गुणधर्म हवे तसे बदलता येऊ शकतात आणि त्यांचा पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ त्यांच्या घनफळाच्या मानाने प्रचंड जास्त असते. या अनोख्या संरचनेमुळे बहुगुणी MOF अनेक वैज्ञानिक आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये महत्वाचे ठरत आहेत.

आपल्या अभ्यासात संशोधकांनी एक MOF तयार केला ज्यात तांबे धातूचे (कॉपर, Cu) आयन नोड्स म्हणून वापरले आणि कार्बनी संयुग टेट्राकिस (४-कार्बाक्सिफेनिल) पॉर्फिरीन ने ते नोड्स जोडले. हे MOF म्हणजे कॉपर-टेट्राकार्बाक्सिफेनीलपॉर्फिरीन, ज्याला थोडक्यात Cu-TCPP म्हटले आहे. Cu-TCPP द्विमितीय (२-डायमेशनल; 2D) MOF असून त्याची रचना एखाद्या पंख्यासारखी आहे ज्यात मध्यभागाच्या चक्राभोवती पाती जोडलेली असतात (इंग्रजीमध्ये याला पॅडल-व्हील रचना म्हणतात). या विशिष्ट रचनेमुळे Cu-TCPP चा जास्त भाग पाण्याच्या संपर्कात येऊ शकतो आणि ते पारंपरिक त्रिमितीय (3D) पदार्थापेक्षा जास्त प्रभावीपणे जड धातूंची उपस्थिती ओळखू शकते. अगदी एका मिलीलीटर पाण्यात शिसे (Pb), कॅडमियम (Cd) आणि पारा (Hg) यांचे केवळ थोडेसे अणू असले तरी अश्या नमुन्यांमधून Cu-TCPP संवेदक ते ओळखू शकतो.

“या MOF मध्ये TCPP रेणूच्या प्रत्येक कार्बाक्सिफेनिल भागाला दोन Cu अणू जोडलेले असतात. यामुळे विशिष्ट पॅडल-व्हील रचना तयार होते. यामुळे Cu सारखी रचना असणारे इतर धातू एकंदर रचना शाबूत ठेऊन Cu ची जागा घेऊ शकतात. इतर धातूंचे आयन, खासकरून जड धातूंचे, MOF च्या जालक (लॅटिस) रचनेवर पण साठून राहू शकतात,” असे प्रशांत कन्नन यांनी Cu-TCPP MOF च्या रचनेबद्दल सांगितले. ते आयआयटी मुंबई-मोॅनॅश रीसर्च अकॅडमी चे विद्यार्थी असून या अभ्यासाचे प्रमुख लेखक आहेत.



Cu-TCPP MOF ची पंखाकृती रचना: लाल रंगात तांब्याचे अणू जे पांढऱ्या रंगाच्या TCPP रेणूंना जोडलेले आहेत.
श्रेय: अभ्यासाचे लेखक

Cu-TCPP संवेदक पाण्यातील जड धातूंचे आयन दोन प्रकारे शोधतो—पहिली पद्धत आहे प्रतिस्थापन (सब्सटिट्यूशन) ज्यात एखाद्या धातूचे आयन तांब्याला बाहेर काढून त्याची जागा घेतात, आणि दुसरी पद्धत आहे संकलन (अक्युम्युलेशन), ज्यात धातूचे आयन केवळ पृष्ठभागावर जमा होतात. शिसामध्ये अपूर्ण p-कक्षिका (ऑर्बिटल्स) असतात, अर्थात स्थिर होण्यासाठी त्याला अधिक इलेक्ट्रॉन्सची गरज असते. या अपूर्णपणामुळे शिसाला MOF मध्ये सहजपणे तांब्याच्या आयनची जागा घेता येते आणि तरीही MOF ची संरचना अबाधित राहते. शिसाने तांब्याची जागा घेतल्यावर (प्रतिस्थापित केल्यावर),

MOF च्या इलेक्ट्रॉनिक गुणधर्मांमध्ये बदल होतो. हा बदल प्रतिस्थापन सूचित करतो आणि त्यामुळे संशोधकांना पाण्यातील शिसाचे प्रमाण मोजता येते.

मात्र कॅडमियम आणि पारा यांसारखे धातू सहजपणे तांब्याच्या आयनांची जागा घेत नाहीत. Cu-TCPP MOF मध्ये तांब्याची जागा घेण्याऐवजी, हे धातू MOF च्या पृष्ठभागावर जमा होतात आणि “मोलेक्युलर आयलंड्स” (रेणूचे पुंजके) तयार करतात. “Cu-TCPP MOF सारख्या अत्यंत नियमित आवर्ती जालक (रेग्यूलर पिरिऑडिक लॉटिस) संरचनेसमोर, हे धातू सुरुवातीला MOF च्या पृष्ठभागावर जमा होतात. त्यांचे प्रमाण खूप जास्त असल्यास MOF ची संरचना कोलमडू शकते. ही संरचना कोलमडण्याच्या प्रक्रियेदरम्यान विद्युतरसायनिक तरंगरूप (वेव्हफॉर्म) आणि तीव्रता यांच्यातील बदल ओळखून, आम्ही पाण्यातील नॅनोमोलर स्तरावरील जड धातूंचे अचूक मोजमाप करू शकतो,” असे प्रशांत यांनी स्पष्ट केले.

संशोधकांनी वेगवेगळ्या नळामधून आणि तलावांतून पाण्याचे नमुने घेतले आणि त्यांवर या संवेदकाची चाचणी घेतली. अगदी सूक्ष्म प्रमाणात असलेले शिसे, कॅडमियम आणि पारा हे तीन धातू संवेदकाने अचूकपणे ओळखले. अल्कली धातू, बारीकसारीक अवशेष किंवा इतर मोठे कण यांसारख्या MOF च्या कार्यात बाधा आणू शकणाऱ्या पदार्थांच्या उपस्थितीतही संवेदकाने प्रभावीपणे काम केले. यामुळे संवेदकाची वेगवेगळ्या परिस्थितींमध्ये विश्वासाह पद्धतीने काम करू शकण्याची क्षमता सिद्ध झाली. संशोधकांनी नंतर या संवेदकाची बाजारात उपलब्ध अत्याधुनिक संवेदकांबरोबर तुलना केली. बहुतांश परीक्षणांमध्ये संशोधकांचा संवेदक (अधिक प्रभावी नसला तरी) अत्याधुनिक संवेदकांइतकाच प्रभावी असल्याचे आढळले. “आमच्या संवेदकाची रचना सर्वात सुटसुटीत आहे आणि त्याची संवेदनशीलता मात्र सध्याच्या सर्वोत्तम DNA-आधारित सेन्सर्स इतकीच उत्तम आहे,” असे प्रशांत सांगतात. हे DNA-आधारित संवेदक जड धातूंच्या संसूचनासाठी सुवर्ण मानक समजले जातात.

उत्कृष्ट कार्यक्षमता असूनही या संवेदकाला काही मर्यादा आहेत. एकदा वापरल्यावर जास्त वेळ जड धातूंच्या संपर्कात आल्यावर, MOF संरचना बिघडते. त्यामुळे संवेदक फक्त एकदाच वापरता येतो. असे असले तरीही पाण्याची गुणवत्ता तपासणाऱ्या स्वस्त संवेदकांसाठी आखलेल्या मानकांनुसार संवेदक एकदाच वापरणे योग्य समजले जाते आणि पुनर्वापर अपेक्षित नाही. त्यामुळे ही मर्यादा तेवढीशी बंधन आणणारी नाही असे प्रशांत यांचे म्हणणे आहे. ते पुढे सांगतात, “या प्रकारच्या उपकरणांच्या निर्मितीचा खर्च ही प्रमुख अडचण आहे. मोठ्या क्षेत्रफळावर MOF चे लेपन (कोटिंग) करणे कठीण आहे. परंतु सध्या जगभरात वेगवेगळे संशोधक याचे मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन करता यावे यासाठी प्रयत्न करत आहेत.”

आयआयटी मुंबईच्या या नवीन तंत्रज्ञानामुळे सार्वजनिक आरोग्याचा दर्जा सुधारण्याची आशा आहे, शिवाय तातडीच्या पर्यावरणीय समस्यांसाठी विज्ञानाच्या आधारावर उपाय शोधता येतात हे देखील अधोरेखित होते. श्री. प्रशांत यांनी पुढील आव्हानांकडे त्यांचे लक्ष वळवले आहे, “सध्या जगभरात काही महत्त्वाचे विषय आहेत ज्यांसाठी MOF सारख्या पदार्थांची आवश्यकता आहे, उदाहरणार्थ पेयजल आणि घरगुती वापराच्या पाण्यातील परफ्लुरोऑक्टेन सल्फोनिक ॲसिड (PFOS), परफ्लुरोअल्किल पदार्थ (PFAS), आर्सेनिक आणि क्रोमियम शोधणे,” असे सांगत त्यांनी भविष्यातील संभाव्य अनुप्रयोगांची कल्पना दिली.

VETTED / UNVETTED	Vetted
--------------------------	--------

Title of Research Paper	Tripartite Detection and Sensing of Toxic Heavy Metals Using a Copper-Based Porphyrin Metal–Organic Framework
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1021/acsami.4c12974
List of all researchers with affiliations	<p>Prashanth Kannan IITB-Monash Research Academy, IIT Bombay, Mumbai, Maharashtra 400076, India</p> <p>Ajay Narayan Konda Ravindranath – Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, IIT Bombay</p> <p>Sunil Suresh Domala – Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, IIT Bombay</p> <p>Mitko Oldfield – School of Physics and Astronomy and ARC Centre of Excellence in Future Low-Energy Electronics Technologies, Monash University, Clayton, VIC 3800, Australia</p> <p>Agustin Schiffrin – School of Physics and Astronomy and ARC Centre of Excellence in Future Low-Energy Electronics Technologies, Monash University, Clayton, VIC 3800, Australia</p> <p>Dipti Gupta – Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, IIT Bombay, Mumbai, Maharashtra 400076, India</p>
Email of researcher/s	Prashanth Kannan < prashanth.kannan@monash.edu >, Dipti Gupta < diptig@iitb.ac.in >
Writer name	Dennis C Joy
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Authors

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	#HeavyMetalPollution, #MetalOrganicFramework, #HeavyMetalSensor
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	<ol style="list-style-type: none"> 1. IIT Bombay’s low-cost sensor made of a copper-based metal-organic framework performs as well as DNA based sensor, the gold standard for water quality sensors. Read details at <link> 2. Toxic heavy metal sensing technology holds promise for improving public health and highlights the potential of science to develop solutions to pressing environmental challenges. Read more at <link>
Social Media Handles to be added	@IndiaDST, @iitbombay, @DBTIndia
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	
Funding information (Source: Research paper)	<p>This project was completed with the assistance of funding given by the Department of Science and Technology, Govt. of India in their program “Water Technology Initiative 2023”.</p>

<p>Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)</p>	<p>The authors declare no competing financial interest.</p>
<p>Co-PI information (Source: Research paper)</p>	<p>Agustin Schiffrin – School of Physics and Astronomy and ARC Centre of Excellence in Future Low-Energy Electronics Technologies, Monash University, Clayton, VIC 3800, Australia</p> <p>Dipti Gupta – Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, IIT Bombay, Mumbai, Maharashtra 400076, India</p>
<p>Location:</p>	<p>Mumbai</p>