

पाणी प्रदूषित करणारी वस्त्रोद्योगातील रंगद्रव्ये नष्ट करण्यासाठी नवी जैव-नॅनो प्रणाली
समुद्री जिवाणू आणि ग्राफिन ऑक्साईडच्या नॅनोशीटची सांगड घालून सांडपाण्यातील घातक रंगद्रव्ये टिपून त्यांचे पूर्णपणे विघटन कसे करता येईल ते आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी दाखवून दिले.



प्रतिमा श्रेय: [pexels.com](https://www.pexels.com) द्वारा आडेडॉयीन अडेरोमोला

रंगीबेरंगी कपडे वापरताना त्याची अदृश्य किंमत आपण मोजत असतो, हे आपल्याला कदाचित लक्षात येत नाही. कापडाला उठावदार रंग देणारी रंगद्रव्ये (डाय) अनेकदा औद्योगिक सांडपाण्यातून थेट नद्यांमध्ये वाहत येतात व जमिनीतही मिसळतात. यातील अनेक रंगद्रव्ये सहजपणे विघटित होत नसल्यामुळे पर्यावरणात दीर्घकाळ टिकून राहतात, जलाशयांमध्ये सूर्यप्रकाश पोहोचण्यास अडथळा निर्माण करतात आणि सजीवांना हानी पोहोचवतात.

औद्योगिक क्षेत्रांत रंगद्रव्यांमुळे होणारे प्रदूषण रोखण्यासाठी अनेक पद्धतींचा वापर केला जातो. यामध्ये प्रामुख्याने सक्रियित (ॲक्टिव्हेटेड) कार्बन, झिओलाइट आणि पॉलिमेरिक रेझिन यांसारख्या अधिशोषक (ॲडसॉर्बंट) पदार्थांचा वापर केला जातो, जे रंगद्रव्याचे रेणू पकडून ठेवतात. ही प्रक्रिया पाण्यातून रंगद्रव्य प्रभावीपणे काढून टाकत असली तरी यामुळे समस्येचे पूर्णपणे निराकरण होत नाही. या प्रक्रियेत पकडले गेलेले रंगद्रव्य आहे तसेच राहते आणि ते बहुतेक वेळा दुसऱ्या ठिकाणी फेकले जाते, जिथून ते मातीत किंवा कचरा डेपोमध्ये झिरपू शकते.

जैविक प्रक्रिया या समस्येवर एक वेगळा तोडगा उपलब्ध करून देतात. काही विशिष्ट प्रकारचे जिवाणू रंगद्रव्याच्या रेणूंचे विघटन करू शकतात, ज्यामुळे ही पद्धत अधिक परिपूर्ण उपाय ठरते. मात्र, हे विघटन अत्यंत धिम्मा गतीने होते. विषम परिस्थितींमध्ये, विशेषतः सांडपाण्यात, जिथे पाण्यात क्षारांचे प्रमाण जास्त असते, त्यांत जिवाणूंना तग धरणे अवघड असल्यामुळे अश्या प्रणाली निष्प्रभावी ठरतात.

भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई येथील प्रा. शोभा शुक्ला यांच्या नेतृत्वाखालील एका संशोधन गटाने, गोवा येथील राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थेच्या सहकार्यांसह, ही उणीव भरून काढण्यासाठी पाऊल उचलले आहे. त्यांच्या कल्पकतेचा उपयोग करत दोन कामे करण्याची क्षमता असलेली एक प्रणाली त्यांनी तयार केली आहे. यामध्ये रंगद्रव्ये टिपून घेण्याची क्षमता आणि शोषलेल्या रंगद्रव्याच्या रेणूंचे विघटन करणारा जिवाणू घटक यांचा सुरेख संगम साधण्यात आला आहे. ही एकीकृत पद्धत रंगद्रव्यांच्या प्रदूषणावर अधिक शाश्वत आणि सर्वसमावेशक उपाय शोधण्याच्या दिशेने टाकलेले पाऊल आहे. त्यांचे [संशोधन](#) नुकतेच *जर्नल ऑफ मटेरिअल्स केमिस्ट्री* एया शोधपत्रिकेत प्रसिद्ध झाले आहे.

संशोधकांनी ग्राफिन ऑक्साईडच्या नॅनोशीट आणि *बॅसिलस* एनएजी१ नावाच्या समुद्री जिवाणूचा वापर करून एक लहान जैव-नॅनो प्रणाली तयार केली आहे. *बॅसिलस* एनएजी१ खारफुटीच्या क्षेत्रातून विलग करण्यात आला होता, जिथे सूक्ष्मजीव नैसर्गिकरित्या बदलत्या परिस्थितीचा आणि प्रदूषकांचा सामना करत असतात.

प्रा. शुक्ला सांगतात, “प्रयोगशाळेतील सामान्य जिवाणूंच्या तुलनेत हे जिवाणू निसर्गतः अधिक कणखर असतात आणि खाऱ्या पाण्यातही जिवंत राहू शकतात. समुद्री जिवाणू उच्च क्षारता, उच्च पीएच आणि तीव्र तापमान अशा टोकाच्या वातावरणातही तग धरून राहू शकतात.”

रंगद्रव्यांचे रेणू पकडण्यासाठी संशोधकांनी मोठा पृष्ठभाग असलेल्या ग्राफिन ऑक्साईडचा वापर केला. ग्राफिन ऑक्साईडचे पातळ नॅनोशीट पाण्यात उत्तम प्रकारे विखुरते आणि प्रदूषकांना प्रभावीपणे संलग्न करून घेते. तसेच चिकटून राहण्यासाठी जिवाणूंना नॅनोशीटचा पृष्ठभाग उपलब्ध होतो. अश्या रितीने जैविक आणि पदार्थ आधारित प्रक्रिया संयुक्तपणे घडणे शक्य होते. ग्राफिन ऑक्साईड जरी जिवाणूविरोधी असले, तरी त्याचे प्रमाण किंवा संहती (कॉन्सन्ट्रेशन) नियंत्रित असल्यास ते रंगद्रव्यांना पकडून ठेवण्याबरोबर जैविक क्रियांना प्रोत्साहन देखील देऊ शकते, ज्यामुळे प्रदूषकांना केवळ शोषून घेणाऱ्या पदार्थापेक्षा ते अधिक प्रभावी ठरते.

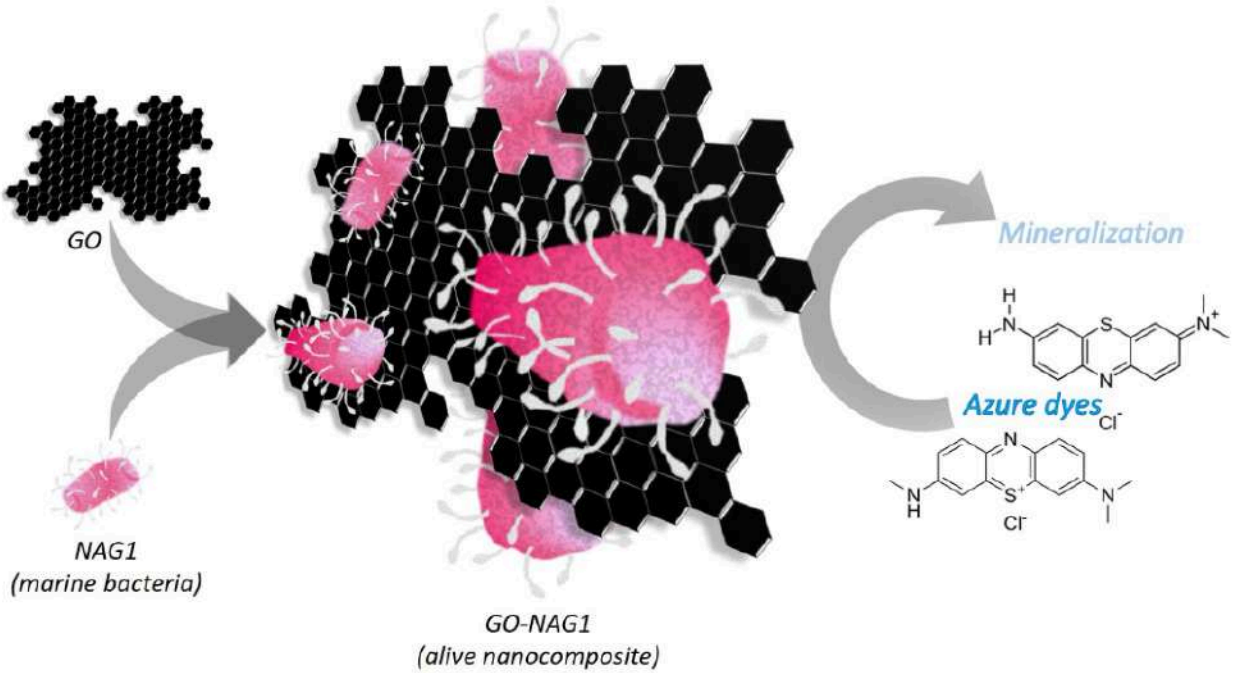
ग्राफिन ऑक्साईडच्या प्रमाणाचे योग्य संतुलन साधण्यासाठी संशोधकांनी जिवंत समुद्री जिवाणू ग्राफिन ऑक्साईडच्या विविध संहतीमध्ये कशा प्रकारे प्रतिसाद देतात याची चाचणी घेतली. प्रयोगशाळेतील प्रमाणित पद्धती आणि सूक्ष्मदर्शकाखालील तपासणीच्या सहाय्याने जीवाणूंची वाढ व नॅनोशीटला चिकटण्याच्या प्रक्रियेचे निरीक्षण संशोधकांनी केले. त्यांना असे आढळले की ग्राफिन ऑक्साईडची संहती कमी ते मध्यम असताना जिवाणू सक्रिय राहिले आणि नॅनोशीटला चिकटले, मात्र संहती जास्त होती तेव्हा जिवाणूंची कार्यक्षमता कमी झाली. संशोधक गटाने ग्राफिन ऑक्साईडच्या संहतीची अशी एक अचूक मर्यादा शोधून काढली, ज्यामुळे जीवाणूंची वाढ आणि रंगद्रव्यांचे विघटन या दोन्ही प्रक्रिया एकाच वेळी सुलभ झाल्या. या अभ्यासाच्या प्रमुख लेखिका डॉ. नेहा रेडकर स्पष्ट करतात, “समुद्री जिवाणूंना ग्राफिन ऑक्साईड नॅनोशीटवर जोडून आम्ही अशी एक प्रणाली तयार केली आहे जिथे ग्राफिन ऑक्साईड रंगद्रव्यांचे शोषण करते आणि जिवाणूंना त्यांचे विघटन करण्यासाठी सहज उपलब्ध करून देते.”

संशोधकांच्या प्रणालीची ही रचना एका व्यावहारिक समस्येचे निराकरण करण्यासही मदत करते. सांडपाण्यामध्ये मुक्तपणे तरंगणारे जिवाणू बऱ्याचदा पाण्याच्या प्रवाहाबरोबर वाहून जाण्याची शक्यता असते. त्यांना ग्राफिन ऑक्साईडसारख्या पृष्ठभागावर जखडून ठेवल्यामुळे ते एका जागी स्थिर राहतात आणि आपली विघटन करण्याची प्रक्रिया प्रभावीपणे सुरू ठेवू शकतात.

संशोधकांनी या प्रणालीची चाचणी दोन सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या रंगद्रव्यांवर केली—अझूर ए आणि अझूर बी, ज्यांची रचना स्थिर असते आणि जे सहज विघटित होत नाहीत. जैव-नॅनो प्रणालीद्वारे प्रक्रिया केल्यानंतर साधारण २४ तासांच्या आत बहुतांश रंगद्रव्ये नाहीशी झाली. सदर प्रणालीची रंगद्रव्ये काढून टाकण्याची कार्यक्षमता ९५ टक्क्यांपर्यंत असल्याचे दिसून आले.

ग्राफिन ऑक्साईड आणि जिवाणू यांच्या एकत्रित प्रणालीवर यापूर्वीही संशोधन झाले असले तरी, *बॅसिलस एनएजी१* सारख्या समुद्री जिवाणूचा ग्राफिन ऑक्साईड नॅनोशीटबरोबर अशा साध्या आणि एकात्मिक स्वरूपात वापर करणाऱ्या सुरुवातीच्या अभ्यासांपैकी हा एक आहे. याआधीच्या पद्धतींमध्ये अनेकदा बहुस्तरीय प्रक्रिया किंवा तयार करण्यास कठीण व खर्चिक अशा हायड्रोजेल आणि मणी यांचा उपयोग करणाऱ्या गुंतागुंतीच्या संरचनांचा समावेश असे. तसेच अशा संरचनांत प्रदूषके सहजपणे जिवाणूंपर्यंत पोहोचण्यावर मर्यादा येऊ शकतात. या जुन्या पद्धती वापरून रंगद्रव्ये काढून टाकण्यास जास्त वेळ लागतो किंवा त्यामुळे ग्राफिन ऑक्साईडचे रूपांतर पेशींसाठी घातक असलेल्या स्वरूपात होऊ शकते.

सदर अभ्यासात विकसित केलेली प्रणाली रंगद्रव्ये जलद आणि प्रभावीपणे काढून टाकण्यात यशस्वी ठरते. या प्रक्रियेत प्रत्येक घटक आपापली भूमिका चोख बजावतो. ग्राफिन ऑक्साईड रंगद्रव्याच्या रेणूंना आपल्या पृष्ठभागाकडे आकर्षित करून घेते, तर जिवाणू त्यांचे पूर्णपणे विघटन करतात.

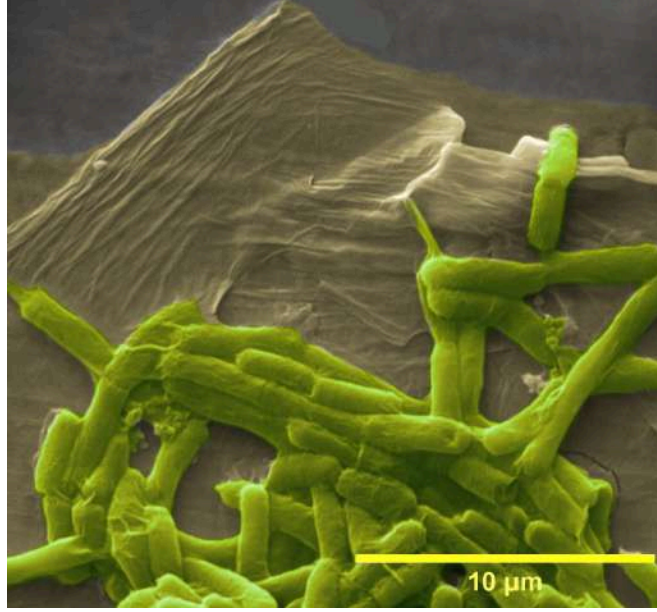


ग्राफिन ऑक्साईड नॅनोशीट आणि समुद्री जिवाणूंच्या सहाय्याने वस्तोद्योगातील रंगद्रव्यांचे विघटन करणाऱ्या जैव-नॅनो प्रणालीच्या रचनेचे रेखाचित्र. श्रेय: सदर अभ्यासाचे लेखक

संशोधकांना असेही दिसून आले की ग्राफिन ऑक्साईडच्या उपस्थितीत हे जिवाणू अधिक प्रमाणात विकरे म्हणजेच एन्झाईम तयार करतात. लाकेस आणि पेरोक्सीडेसेस यांसारखी ही विकरे रंगद्रव्यांमध्ये आढळणारी गुंतागुंतीची रासायनिक संरचना विघटित करतात. रासायनिक विश्लेषणातून स्पष्ट झाले की या

प्रक्रियेमुळे रंगद्रव्यांचे रूपांतर लहान रेणू असलेल्या संयुगांमध्ये झाले होते, ज्यांचे पुढे विघटन सहजपणे होऊ शकते.

सूक्ष्मदर्शकाद्वारे घेतलेल्या छायाचित्रांमधून ही प्रक्रिया सूक्ष्म स्तरावर नेमकी कशी घडते हे स्पष्ट झाले. ग्राफिन ऑक्साईडच्या थरांची एकमेकांवर पदर असलेली रचना तयार झाली होती, ज्याच्या पृष्ठभागावर आणि घड्यांमध्ये जिवाणू घट्ट चिकटलेले दिसले. या विशिष्ट मांडणीमुळे रंगद्रव्याचे रेणू जिवाणूंच्या अत्यंत जवळ आले आणि विघटनाच्या प्रक्रियेला मोठी मदत झाली.



जिवाणू चिकटण्यासाठी आधार म्हणून काम करणारे ग्राफिन ऑक्साईड नॅनोशीट : स्कॅनिंग इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोपी द्वारा प्राप्त प्रतिमा (प्रतिमा उठावदार दिसण्यासाठी सॉफ्टवेअर माध्यमाने कृत्रिमरीत्या रंगवली आहे).

श्रेय: सदर अभ्यासाचे लेखक

“आम्ही केवळ रंगद्रव्ये काढून टाकत किंवा शोषून घेत नाही आहोत. आम्ही त्यांचे विघटन साध्या आणि निरुपद्रवी पदार्थात करत आहोत,” असे प्रा. शुक्ला स्पष्ट करतात.

संशोधकांना विश्वास आहे की त्यांच्या संकल्पनेवर आधारित प्रक्रिया प्रत्यक्ष सांडपाणी प्रक्रिया केंद्रांमध्ये कार्यान्वित होऊ शकेल, मात्र यामध्ये काही व्यावहारिक आव्हाने अजूनही शिल्लक आहेत. डॉ. रेडकर स्पष्ट करतात, “आमची पद्धत मोठ्या प्रमाणावर राबवणे शक्य आहे, परंतु सध्याच्या प्रक्रियांमधील तंत्रज्ञानांच्या तुलनेत या प्रणालीची देखभाल करणे थोडे महाग असू शकते. असे असले तरीही ही पद्धत अशा काही गोष्टी साध्य करू शकते ज्या सध्याच्या इतर पद्धतींमध्ये सहसा नसतात. प्रदूषकांना पकडून केवळ दुसऱ्या ठिकाणी ढकलण्याऐवजी ही प्रणाली त्यांचा पूर्णपणे नायनाट करण्याच्या उद्देशाने कार्य करते.”

संशोधनातील पुढचा टप्पा म्हणजे अधिक व्यावहारिक प्रणाली विकसित करणे. सपाट नॅनोशीटऐवजी, संशोधक आता स्पंजसारख्या सच्छिद्र पदार्थाचा शोध घेत आहेत, जे अधिक प्रमाणात जिवाणू सामावून घेऊ शकतील आणि सांडपाण्याच्या मोठ्या साठ्यावर प्रक्रिया करू शकतील.

प्रा. शुक्ला म्हणतात की, “आम्हाला अशा प्रकारचा एकीकृत उपाय हवा आहे जो सर्वसमावेशक असेल.

म्हणजेच एकाच संक्षिप्त प्रणालीमध्ये प्रदूषकांना पकडून धरून ठेवणे आणि त्यांचे विघटन करणे शक्य व्हावे.” जर हा प्रयत्न यशस्वी झाला, तर अशा प्रणाली उद्योगांना सांडपाण्यावर अधिक प्रभावीपणे प्रक्रिया करण्यास मदत करतील आणि यामुळे प्रदूषण केवळ एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी स्थानांतरित न होता त्याचा कायमस्वरूपी निचरा होईल.

निधीबद्दल माहिती: विज्ञान आणि तंत्रज्ञान विभाग (डीएसटी), विज्ञान आणि अभियांत्रिकी संशोधन मंडळ (एसइआरबी), आणि वैज्ञानिक आणि औद्योगिक संशोधन परिषद (सीएसआयआर).

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	A sustainable bioinspired nano-assembly of live marine bacteria for mineralization of phenothiazine dye.
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1039/D5TA06267E
List of all researchers with affiliations	<p>Neha Redkar- Nanostructures Engineering and Modelling Laboratory, Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology Bombay</p> <p>Jyotsna Mishra- Centre for Research in Nanotechnology and Science, Indian Institute of Technology Bombay.</p> <p>Rahul Kumar Das- Nanostructures Engineering and Modelling Laboratory, Department of Metallurgical Engineering and Materials Science and Water Innovation Centre: Technology, Research & Education (WICTRE), Indian Institute of Technology Bombay.</p> <p>Dharmveer Yadav- Centre for Research in Nanotechnology and Science, Indian Institute of Technology Bombay.</p> <p>Cathrine Manohar- Biological Oceanography Department, CSIR-National Institute of Oceanography, Dona Paula, Goa and Academy of Scientific and Innovative Research (AcSIR), Ghaziabad.</p> <p>Sumit Saxena- Nanostructures Engineering and Modelling Laboratory, Department of Metallurgical Engineering and Centre for Research in Nanotechnology and Science and Materials</p>

	<p>Science and Water Innovation Centre: Technology, Research & Education (WICTRE), Indian Institute of Technology Bombay.</p> <p>Shobha Shukla- Nanostructures Engineering and Modelling Laboratory, Department of Metallurgical Engineering and Centre for Research in Nanotechnology and Science and Materials Science and Water Innovation Centre: Technology, Research & Education (WICTRE), Indian Institute of Technology Bombay.</p>
Email of researcher/s	sshukla@iitb.ac.in
Writer name	Manjeera Gowravaram
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	<p>Lead image: Adedoyin Aderomola via pexels.com</p> <p>Inline images: Authors of the study</p>
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	#bioremediation, #marinebacteria, #grapheneoxide, #nanomaterials, #textiledyes, #wastewatermanagement
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	
Social Media Handles to be added	@iitbombay, @IndiaDST
Social Media handles of writer	https://www.linkedin.com/in/manjeera-gowravaram/
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/company/nemo-lab-iit-bombay

	https://www.linkedin.com/company/wictre/ https://x.com/LabNemo
Funding information (Source: Research paper)	Department of Science and Technology (DST), Science and Engineering Research Board (SERB), and Council of Scientific & Industrial Research (CSIR).
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai