# समुद्री जल से यूरेनियम अलग करने की दिशा में झिल्ली की संरचना का नया अध्ययन

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी / ऊर्जा एवं पर्यावरण (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | मूल शोध का ऑनलाइन प्रकाशन: 17 अगस्त 2026 | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

## खबरों में क्यों

भारतीय विज्ञान संस्थान, बेंगलुरु के शोधकर्ताओं ने अध्ययन किया है कि सूक्ष्म छिद्र वाली झिल्ली की परतों का विन्यास बदलकर यूरेनिल आयनों के परिवहन को कैसे रोका जा सकता है। यूरेनिल, यूरेनियम का एक आयनिक रूप है। स्मॉल पत्रिका में 17 अगस्त 2026 को प्रकाशित शोध में आणविक गतिकी सिमुलेशन का उपयोग हुआ है। चुनी गई सहसंयोजक कार्बनिक ढाँचा झिल्लियों में परतों को थोड़ा खिसकाने पर अध्ययन की परिस्थितियों में यूरेनिल का पूर्ण अवरोध मिला। यह तैयार समुद्री संयंत्र, व्यावसायिक ईंधन उत्पादन या वास्तविक समुद्र में बड़े पैमाने के परीक्षण की घोषणा नहीं है। महत्त्वपूर्ण बात सामग्री की संरचना और आयन के रास्ते का संबंध है। इसे ऊर्जा-संसाधन और दूषित जल के उपचार की संभावनाओं से जोड़ा जा सकता है, लेकिन दोनों उपयोगों के लिए आगे अलग परीक्षण आवश्यक हैं।

## समुद्री जल से निष्कर्षण कठिन क्यों है?

समुद्र में यूरेनियम की उपलब्धता मात्र एक प्रश्न है; उसे उपयोगी मात्रा में अलग कर पाना दूसरा। समुद्री जल में कई तरह के लवण और प्रतिस्पर्धी आयन होते हैं। वांछित आयन के साथ अन्य पदार्थ भी पकड़ में आएँ तो आगे शोधन और कठिन हो सकता है। उपयुक्त सामग्री को चयनात्मक होने के साथ पानी के संपर्क में स्थिर और बार-बार उपयोग योग्य भी होना चाहिए। स्वतंत्र समीक्षा साहित्य उच्च लवणता और जटिल समुद्री वातावरण को प्रमुख चुनौती बताता है। इसलिए किसी छोटे मॉडल में चयनात्मकता मिलना पूरे निष्कर्षण तंत्र के सस्ता होने का प्रमाण नहीं। पानी को झिल्ली तक पहुँचाने, दबाव देने, जमा पदार्थ हटाने और बचे प्रवाह के प्रबंधन की लागत भी देखनी होगी। कुल संसाधन बड़ा होने से हर उपलब्ध तकनीक का आर्थिक रूप से लाभकारी होना तय नहीं होता।

## सहसंयोजक कार्बनिक ढाँचा क्या है?

सहसंयोजक कार्बनिक ढाँचा ऐसी सुव्यवस्थित छिद्रयुक्त सामग्री है जिसमें कार्बनिक निर्माण इकाइयाँ मजबूत रासायनिक बंधों से जुड़ती हैं। इस वर्ग की सामग्री में छिद्रों का आकार, रासायनिक वातावरण और परतों की व्यवस्था परिवहन को प्रभावित कर सकते हैं। झिल्ली के रूप में उसका उपयोग पदार्थों को गुजरने देने या रोकने के लिए सोचा जाता है। इसे साधारण छलनी समझना अधूरा होगा। सूक्ष्म स्तर पर आयन के आसपास के पानी, स्थानीय ऊर्जा और झिल्ली से अंत:क्रिया का भी प्रभाव पड़ता है। यहाँ विशेष रुचि परतों को पूरी तरह एक सीध में रखने के बजाय थोड़ा खिसकाने में है। ऐसा विन्यास छिद्रों से गुजरने वाले रास्ते को बदल सकता है। सभी सहसंयोजक कार्बनिक ढाँचे एक जैसे नहीं होते और एक संरचना का परिणाम पूरे सामग्री-वर्ग पर लागू नहीं किया जा सकता।

PCSMANTRA.COM

## इस शोध ने किस तरह जाँच की?

बीनू वर्गीज, योगेंद्र कुमार, शुभाशीष सेनगुप्ता और प्रबल कुमार मैती के अध्ययन ने आणविक गतिकी सिमुलेशन से झिल्ली के भीतर आयनों के व्यवहार को समझने का प्रयास किया। इस विधि में परमाणुओं और अणुओं का प्रतिनिधित्व करके समय के साथ उनकी चाल का गणनात्मक अनुमान किया जाता है। शोधकर्ताओं ने अलग ढाँचों और परत-विन्यासों की तुलना की। संस्थान के विवरण में आयन के चारों ओर जलयोजन संरचना, मुक्त ऊर्जा की बाधा और झिल्ली-जनित घर्षण का विश्लेषण बताया गया है। उद्देश्य यह जानना था कि कोई आयन रास्ता क्यों पार करता है या क्यों रुकता है। यह प्रक्रिया तंत्र के बारे में जानकारी देती है, लेकिन मॉडल के बाहर हर परिस्थिति का उत्तर अपने आप नहीं देती। वास्तविक झिल्ली में निर्माण-दोष, परतों की असमानता और लंबे उपयोग के प्रभाव अलग से परखने होंगे।

## परतों को खिसकाने से क्या बदलता है?

दो परतों के छिद्र सीधे मिलें तो आयन के लिए उपलब्ध रास्ता और होता है; उनके थोड़ा खिसकने पर सीमित स्थान का वातावरण बदल सकता है। अध्ययन का मुख्य विचार इसी संरचनात्मक सीमितता से परिवहन नियंत्रित करना है। शोध-सार में टीपीपीए-1 और टीपीपीए-एफ-4 के खिसके हुए विन्यास में यूरेनिल का पूर्ण अवरोध बताया गया, जबकि अन्य दो ढाँचों में केवल आंशिक अवरोध मिला। इसका अर्थ सभी झिल्लियों की समान सफलता नहीं है। साथ ही पूर्ण अवरोध का दावा अध्ययन की जाँची गई परिस्थितियों तक सीमित है। इसे असीम समय, हर दबाव या हर प्रकार के वास्तविक समुद्री जल में शत-प्रतिशत परिणाम के रूप में नहीं लिखना चाहिए। उपयोगी निष्कर्ष यह है कि सामग्री की केवल रासायनिक पहचान ही नहीं, उसकी परतों की सापेक्ष स्थिति भी चयनात्मकता का महत्त्वपूर्ण साधन हो सकती है।

## क्या झिल्ली केवल यूरेनियम रोकती है?

प्रकाशित शोध-सार में एक आवश्यक सावधानी है। अच्छे प्रदर्शन वाली दोनों झिल्लियाँ कुछ दूसरे द्विसंयोजक आयनों के परिवहन को भी दबाती हैं। इसलिए उन्हें ऐसा पूर्णतः विशिष्ट जाल कहना गलत होगा जो केवल यूरेनियम रोके और बाकी हर पदार्थ को बिना बदलाव जाने दे। सार में पानी और एकसंयोजक आयनों का परिवहन बना रहने की बात है, लेकिन यह सभी प्रतिस्पर्धी आयनों के समान व्यवहार का दावा नहीं। आयनों का आवेश, जलयोजन और छिद्र का स्थानीय वातावरण अलग होने से परिणाम बदल सकता है। मुख्य परीक्षा में चयनात्मकता को सापेक्ष और परिस्थिति-निर्भर गुण के रूप में समझना उपयोगी है। अलग आवेश वाले पदार्थों के बीच पृथक्करण मिलना और केवल एक तत्व को पूरी शुद्धता से अलग कर लेना समान उपलब्धियाँ नहीं हैं। अगले चरण के शोधन की आवश्यकता का प्रश्न इसलिए खुला रहता है।

PCSMANTRA.COM

## रोकना, पकड़ना और ईंधन बनाना अलग हैं

झिल्ली के पार किसी आयन को न जाने देना, उसे सामग्री पर बाँधकर जमा करना और उससे उपयोग योग्य परमाणु ईंधन बनाना तीन अलग प्रक्रियाएँ हैं। पहले परिणाम से बाद के सभी चरण पूरे होने का निष्कर्ष नहीं निकलता। पारंपरिक अधिशोषक सामग्री उपयुक्त रासायनिक स्थलों पर यूरेनिल को पकड़ सकती है। वर्तमान अध्ययन संरचनात्मक सीमितता से परिवहन रोकने की दिशा पर केंद्रित है। रुका हुआ पदार्थ किस प्रवाह में केंद्रित होगा, उसे अलग कैसे निकालेंगे, कितनी शुद्धता मिलेगी और झिल्ली फिर कैसे उपयोग होगी, ये व्यावहारिक प्रश्न हैं। इस शोध को यूरेनियम संवर्धन भी नहीं कहना चाहिए। यहाँ दावा अलग रासायनिक प्रजातियों के परिवहन का है, समस्थानिक अनुपात बदलने का नहीं। ऊर्जा-सुरक्षा पर चर्चा करते समय आरंभिक पृथक्करण और ईंधन-चक्र के आगे के चरणों का अंतर स्पष्ट रहना चाहिए।

## जल-उपचार और ऊर्जा के लिए क्या महत्त्व है?

संरचना से आयन का रास्ता नियंत्रित करने की समझ संसाधन-पुनर्प्राप्ति और पर्यावरणीय पृथक्करण दोनों में उपयोगी दिशा दे सकती है। संस्थान ने भूजल में यूरेनियम दूषण की समस्या का भी संदर्भ दिया है। फिर भी समुद्री जल के लिए बना मॉडल किसी विशेष दूषित भूजल स्रोत के उपचार की पुष्टि नहीं है। दोनों में रासायनिक संरचना, प्रतिस्पर्धी पदार्थ और उपयोग का लक्ष्य अलग हो सकता है। पेयजल उपयोग से पहले उपचारित पानी की उपयुक्तता जाँचना अनिवार्य होगा; केवल एक आयन रोकने से पानी पीने योग्य नहीं हो जाता। भारत के लिए इस काम का महत्त्व सामग्री-विज्ञान, संगणकीय मॉडल और पृथक्करण तकनीक की शोध क्षमता में है। तत्काल ईंधन आत्मनिर्भरता, किसी चालू संयंत्र या किसी सरकारी कार्यक्रम की उपलब्धि का दावा इस परिणाम से नहीं करना चाहिए। उपयोग की संभावना और तैनात तकनीक के बीच प्रमाण की कई सीढ़ियाँ बाकी हैं।

## व्यावहारिक उपयोग के रास्ते में बाधाएँ

बड़ी झिल्ली में एक समान परत-विन्यास बनाना और लंबे उपयोग में उसे बनाए रखना महत्त्वपूर्ण होगा। छिद्रों के दोष, सतह पर जमा परत और जैविक जमाव वास्तविक प्रवाह में प्रदर्शन बदल सकते हैं। अलग नमूनों में आयनों की मात्रा और रूप भी समान नहीं होंगे। ऊर्जा-खपत, पानी के प्रवाह की दर, आयन अवरोध, जीवनकाल और पुनः उपयोग को साथ मापना चाहिए। किसी एक कसौटी पर अच्छा परिणाम दूसरी लागत छिपा सकता है। निष्कर्षण के बाद बचे प्रवाह और केंद्रित पदार्थ का सुरक्षित प्रबंधन भी तकनीक का हिस्सा है। स्वतंत्र समीक्षा में झिल्ली-आधारित सामग्री के संग्रह और पुनः उपयोग की सुविधा पर चर्चा है, पर उससे इस नई संरचना की व्यावसायिक सफलता प्रमाणित नहीं होती। उचित तुलना समान परिस्थितियों और पूरे प्रक्रिया-तंत्र के आधार पर होगी, केवल आकर्षक चयनात्मकता के प्रतिशत पर नहीं।

## आगे क्या देखना होगा?

अगला प्रश्न यह है कि सिमुलेशन में उपयोगी दिखा विन्यास वास्तविक, पुनरुत्पादनीय झिल्ली में कितनी अच्छी तरह बनाया जा सकता है। अलग प्रयोगशालाओं में परीक्षण, वास्तविक जल के विविध नमूने और लंबे समय के संचालन का मूल्यांकन जरूरी होंगे। यह भी देखना होगा कि दूसरे बहुसंयोजक आयनों का अवरोध अंतिम शुद्धता और लागत को कैसे प्रभावित करता है। मुख्य परीक्षा में इस उदाहरण को उन्नत सामग्री, परमाणु संसाधन और पर्यावरणीय तकनीक से जोड़ें। केंद्रीय सीख यह है कि सूक्ष्म संरचना में छोटा बदलाव पृथक्करण का नया रास्ता दिखा सकता है। लेकिन सिमुलेशन में आयन रोकने से समुद्र से सस्ता परमाणु ईंधन मिलने तक की दूरी अपने आप समाप्त नहीं होती। वैज्ञानिक संभावना को स्वीकार करते हुए प्रमाण की सीमा बनाए रखना सही मूल्यांकन है।

PCSMANTRA.COM

**अभ्यास प्रश्न:** समुद्री जल से यूरेनियम पृथक्करण में उन्नत झिल्लियों की भूमिका और सीमाओं की चर्चा कीजिए। आणविक सिमुलेशन के निष्कर्ष को व्यावसायिक तकनीक मान लेने में क्या जोखिम हैं? (250 शब्द)

**स्रोत:** प्रकाशकीय शोध-सार और अभिलेख; आईआईएससी शोध विवरण; संस्थागत व्याख्या; स्वतंत्र समीक्षा; अलग अधिशोषण पद्धति पर पूर्व शोध; पुराना तकनीकी साहित्य।