रेत की मजबूती बढ़ाने वाले जैव-सहायक पदार्थ: टेराजाइम और जैंथन गम का अध्ययन

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी | शोध की तारीख: 5 फरवरी 2026 | मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-तीन

खबरों में क्यों

भारतीय विज्ञान संस्थान से जुड़े शोधकर्ताओं ने रेत और काओलिन के मिश्रण को मजबूत बनाने के लिए दो जैव-आधारित सहायक पदार्थों की तुलना की है। टेराजाइम नामक व्यावसायिक जैव-एंजाइम उत्पाद और जैंथन गम नामक जैव-पॉलिमर से उपचारित नमूनों में प्रयोगशाला परीक्षण के दौरान अधिक मजबूती मिली। वैज्ञानिक रिपोर्ट्स में अध्ययन 5 फरवरी 2026 को प्रकाशित हुआ। मूल पत्रिका और क्रॉसरेफ का अभिलेख इस तारीख की पुष्टि करते हैं।

गीतु थॉमस, रिप्सा रानी नायक, नवनीत कुमार गुप्ता और गाली माधवी लता के अध्ययन का मुख्य योगदान केवल बेहतर मजबूती बताना नहीं है। इसमें यांत्रिक परीक्षणों को सूक्ष्म संरचना और रासायनिक विश्लेषण से जोड़कर समझने का प्रयास है कि अलग पदार्थ कणों के बीच जुड़ाव कैसे बदलते हैं। इसे हर प्रकार की मिट्टी में सीमेंट का तैयार विकल्प या सभी सड़कों के लिए एक नुस्खा नहीं समझना चाहिए।

मृदा स्थिरीकरण की जरूरत

भवन, सड़क और तटबंध की विश्वसनीयता केवल ऊपर बने ढांचे पर निर्भर नहीं करती। नीचे की मिट्टी का भार सहना, दबने पर बदलना और नमी के प्रति प्रतिक्रिया देना भी महत्वपूर्ण है। कमजोर आधार को सुधारने के लिए मृदा स्थिरीकरण किया जाता है। इसमें मिट्टी की संरचना, घनत्व या कणों के बीच जुड़ाव बदलकर अपेक्षित अभियांत्रिक व्यवहार प्राप्त करने की कोशिश होती है।

सीमेंट और चूना जैसे पारंपरिक पदार्थ उपयोगी हैं, लेकिन उनके उत्पादन और उपयोग का पर्यावरणीय भार विकल्प खोजने की प्रेरणा देता है। जैव-आधारित पदार्थ इसी दिशा का अनुसंधान क्षेत्र हैं। फिर भी किसी पदार्थ का जैविक मूल अपने आप कम लागत, शून्य उत्सर्जन या हर परिस्थिति में सुरक्षा सिद्ध नहीं करता। नए मिश्रण को प्रदर्शन, संसाधन उपयोग और टिकाऊपन के अलग प्रमाण देने पड़ते हैं।

अध्ययन में कौन सी सामग्री थी?

PCSMANTRA.COM

प्रयोग में मुख्य सामग्री निर्माण कार्य में इस्तेमाल होने वाली मलेशियाई नदी की रेत थी। इसमें कणों के आकार का वितरण सीमित था, जिसे भू-तकनीकी वर्गीकरण में खराब श्रेणीबद्ध रेत कहा जाता है। शोधकर्ताओं ने रेत के शुष्क द्रव्यमान के आधार पर 15 प्रतिशत काओलिन मिलाकर एक तुलनीय आधार मिश्रण बनाया। काओलिन एक महीन मृत्तिका खनिज है; उसकी सतह के समूह जैव-सहायक पदार्थों से संपर्क में भूमिका निभा सकते हैं।

टेराजाइम पौधों से प्राप्त किण्वित पदार्थों पर आधारित व्यावसायिक मिश्रण है। उसकी पूरी एंजाइम संरचना निर्माता सार्वजनिक नहीं करता। इसलिए अध्ययन में मानक परीक्षण से उसकी एंजाइम सक्रियता की स्वतंत्र मात्रा निर्धारित नहीं की गई। दूसरी ओर जैंथन गम सूक्ष्मजीवी उत्पादन से मिलने वाला पॉलिसैकराइड है। पानी मिलने पर उसकी जेल जैसी संरचना कणों को जोड़ने में सहायक हो सकती है।

मिश्रण और परीक्षण कैसे हुए?

जैंथन गम को पहले सूखी रेत-काओलिन सामग्री में मिलाया गया और उसके बाद आवश्यक पानी जोड़ा गया। इसका उद्देश्य समय से पहले जेल बनने और गुठलियां पड़ने की समस्या घटाकर अपेक्षाकृत समान मिश्रण बनाना था। टेराजाइम की निर्धारित मात्रा को पानी में मिलाने के बाद मिट्टी में डाला गया। इस तरह तैयारी की विधि भी परिणाम की महत्वपूर्ण शर्त थी।

बेलनाकार नमूनों को सघन करके 30 दिन नियंत्रित परिस्थितियों में रखा गया। फिर त्रिअक्षीय संपीडन परीक्षण में उनके दबाव और विकृति के संबंध को मापा गया। परीक्षण असमेकित-अनिकासित परिस्थिति में हुआ और पार्श्व दबाव 100 किलोपास्कल रखा गया। इसका संबंध अल्पकालिक कुल-प्रतिबल व्यवहार से है। छोटे नमूने में प्राप्त परिणाम को सीधे बड़े तटबंध के दीर्घकालिक व्यवहार या भूकंपरोधी प्रदर्शन का प्रमाण नहीं माना जा सकता।

ढाई गुना मजबूती का सही अर्थ

रेत और 15 प्रतिशत काओलिन वाले मिश्रण में टेराजाइम की उपयोगी मात्रा 0.075 मिलीलीटर प्रति किलोग्राम और जैंथन गम की मात्रा एक भार प्रतिशत मिली। लगभग 30 दिन बाद इनके शिखर अंतर-प्रतिबल क्रमशः करीब 430 और 448 किलोपास्कल थे। बिना उपचार वाली रेत का संबंधित मान लगभग 177 किलोपास्कल था। इसी तुलना में अधिकतम वृद्धि लगभग ढाई गुना बताई गई है।

तुलना का आधार पहचानना जरूरी है। काओलिन मिलाने से भी रेत का व्यवहार बदलता है, इसलिए पूरे लाभ को अकेले एंजाइम या पॉलिमर का प्रभाव कहना गलत होगा। टेराजाइम वाले परिणाम की तुलना बिना जैव-सहायक पदार्थ के रेत-काओलिन मिश्रण से करने पर वृद्धि लगभग 1.72 गुना थी। शिखर प्रतिबल का यह अनुपात सड़क की आयु, यातायात क्षमता या हर स्थल की अनुमत वहन क्षमता का समान अनुपात नहीं है।

दो पदार्थ, जुड़ाव के अलग रास्ते

टेराजाइम के लिए लेखकों ने कणों की सतह के रसायन, पानी की अधिशोषित परत और कणों के बीच संपर्क में बदलाव की व्याख्या दी है। काओलिन के महीन कण अतिरिक्त संपर्क स्थल प्रदान कर सकते हैं। इसके विपरीत जैंथन गम की जलयोजित संरचना कणों पर परत और उनके बीच पॉलिमर सेतु बनाती है। दोनों की तुलना समान मिश्रण में करने से इन अलग प्रक्रियाओं को समझने में मदद मिलती है।

इसे सूक्ष्मजीवों से कैल्शियम कार्बोनेट का अवक्षेप बनवाने वाली जैव-सीमेंटीकरण विधि के समान नहीं कहना चाहिए। जैव-आधारित स्थिरीकरण अनेक अलग तकनीकों का व्यापक क्षेत्र है। अध्ययन में प्रस्तुत संपर्क-आधारित व्याख्या भी कई विश्लेषणों के संयुक्त अर्थ पर आधारित है, किसी एक तस्वीर में सभी आणविक क्रियाएं सीधे दिखाई देने पर नहीं। व्यावसायिक टेराजाइम की अघोषित संरचना इस व्याख्या की सीमा भी है।

PCSMANTRA.COM

सूक्ष्म संरचना से क्या जानकारी मिली?

शोधकर्ताओं ने इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी, विवर्तन और विभिन्न स्पेक्ट्रोस्कोपी विधियों से कणों की संरचना तथा रासायनिक संकेत जांचे। उनका उद्देश्य केवल अधिक बल सहने का आंकड़ा देना नहीं, उस बदलाव के पीछे पदार्थों की भूमिका समझना था। काओलिन की उपस्थिति और जैव-सहायक पदार्थों के संपर्क से कणों के बीच अधिक जुड़ाव बनने की व्याख्या को इन जांचों ने आधार दिया।

एक महत्वपूर्ण सावधानी छिद्रों के आकार को लेकर है। गैस अधिशोषण से मापे गए नैनो और मध्य आकार के छिद्र, रेत के बड़े कणों के बीच खाली जगह के समान नहीं हैं। इसलिए किसी जांच में सूक्ष्म छिद्रता बढ़ने और यांत्रिक मजबूती बढ़ने को अपने आप विरोधाभास नहीं कहना चाहिए। अलग पैमानों पर छिद्र और संपर्क अलग भूमिका निभाते हैं; मापने की विधि के साथ

परिणाम पढ़ना जरूरी है।

अधिक मात्रा हमेशा बेहतर नहीं

जैव-सहायक पदार्थों की मात्रा बढ़ाने से लाभ लगातार नहीं बढ़ा। एक अनुकूल मात्रा के बाद टेराजाइम का प्रभाव घट सकता था और कणों के बीच फिसलन बढ़ने की संभावना बताई गई। जैंथन गम में भी मिश्रण, जलांश और सांद्रता महत्वपूर्ण रहे। इसलिए प्रयोग में मिली मात्रा को बिना स्थानीय जांच के किसी भी मिट्टी में डाल देना उचित निष्कर्ष नहीं होगा।

विकृति के साथ मजबूती कैसे बदलती है, यह शिखर बल जितना महत्वपूर्ण है। नमूनों में अधिकतम मजबूती के बाद कमजोरी और क्रमिक विकृति के अलग व्यवहार मिले। जैंथन गम वाले मिश्रण में अपेक्षाकृत सुचारु, तन्य व्यवहार देखा गया। अभियांत्रिक चुनाव में केवल सबसे बड़ा अंक नहीं, भार पड़ने और विकृति बढ़ने पर पूरा व्यवहार देखना पड़ता है। स्थानीय मिट्टी की महीन सामग्री और जैविक पदार्थ भी प्रभाव बदल सकते हैं।

मैदानी उपयोग और पर्यावरण की सीमाएं

लेखकों ने पूर्ववर्ती ग्रामीण सड़क परियोजनाओं में टेराजाइम के उपयोग का उल्लेख किया है। लेकिन वे उदाहरण इस प्रयोग के दोनों नए मिश्रणों का उसी सड़क पर स्वतंत्र सत्यापन नहीं हैं। वर्तमान अध्ययन ने लंबे समय के टिकाऊपन और बार-बार लगने वाले भार का परीक्षण अपने दायरे से बाहर रखा है। सड़क पर वर्षा, नमी, असमान सघनन और यातायात का संयुक्त प्रभाव अलग जांच मांगता है।

लंबे समय तक पानी में रहने और गीला-सूखा होने पर पॉलिमर का व्यवहार बदल सकता है। जलयोजित जेल गहरे स्तर पर इंजेक्शन के उपकरण भी जाम कर सकती है। स्वतंत्र समीक्षा साहित्य भी मैदानी, दीर्घकालिक और गतिशील व्यवहार के प्रमाणों को सीमित बताता है। कम-कार्बन विकल्प की संभावना महत्वपूर्ण है, पर इस अध्ययन से उत्सर्जन बचत का निश्चित प्रतिशत या पूरी जीवन-चक्र लागत नहीं निकलती।

आगे क्या देखना होगा?

अगले परीक्षणों में अलग मिट्टियां, जलवायु, गीला-सूखा चक्र, लंबे समय का जल-संपर्क और बार-बार भार शामिल होने चाहिए। छोटे नमूनों से आगे नियंत्रित मैदानी खंडों में समान मिश्रण और नमी बनाए रखने की व्यावहारिकता जांचना जरूरी होगा। साथ में उत्पादन, परिवहन, सामग्री लागत और पर्यावरणीय प्रभाव की तुलना वास्तविक उपयोग का निर्णय अधिक मजबूत बनाएगी।

संतुलित निष्कर्ष है कि जैव-सहायक पदार्थ नियंत्रित रेत-काओलिन मिश्रण की अल्पकालिक मजबूती सुधार सकते हैं, लेकिन स्थानीय अनुकूलन और टिकाऊपन की जांच अनिवार्य है। मुख्य परीक्षा में यह हरित अवसंरचना के साथ प्रमाण-आधारित अभियांत्रिकी का उदाहरण है।

PCSMANTRA.COM

अभ्यास प्रश्न: जैव-आधारित मृदा स्थिरीकरण की संभावनाएं समझाइए। टेराजाइम और जैंथन गम अध्ययन के आधार पर प्रयोगशाला परिणामों को मैदानी उपयोग में बदलने की सीमाओं की चर्चा कीजिए। (250 शब्द)

स्रोत: प्राथमिक शोध। भारतीय विज्ञान संस्थान का विवरण।