आर्सेनिक, बैक्टीरिया और मेंडेलीव की विरासत

पी. बालाराम

तोहफे हमेशा खुशी देते हैं, खास तौर से जब वे अनपेक्षित हों। मेरे एक शरारती साथी ने हाल ही में मुझे एक टेबलमेट भेंट करते हुए कहा, "जब आप खाते-पीते होंगे, तब भी यह आपको सीखने में मदद करेगा।" यह टेबलमेट दरअसल एक 'दर्दरहित सीखने के कार्यक्रम' के एक हिस्से के रूप में बेचा जाता है और इसमें आवर्त तालिका का एक सुंदर संस्करण था। वास्तव में तो आवर्त तालिका रसायन शास्त्र और पदार्थों के सारे अध्ययन में केंद्रीय महत्त्व रखती है और इसमें कुछ बात है जो आपको बांध लेती है। आवर्त तालिका में 100 से ज़्यादा तत्त्वों का उल्लेख है मगर जीव विज्ञान और जीवन के लिए इनमें से कुछ की ही ज़रूरत होती है। जैव-रसायन के किसी कोर्स में नैया पार लगाने के लिए मुट्ठी भर तत्त्वों की ज़रूरत होती हैः हाइड्रोजन, कार्बन, नाइट्रोजन, ऑक्सीजन, फॉस्फोरस और गंधक प्रमुख किरदार हैं। इनके अलावा कुछ तत्त्व सीमित मगर अनिवार्य भूमिका अदा करते हैं।

इस नए तोहफे को प्रशंसा के भाव से देखते हुए, मैं *मेंडेलीव का बगीचा* नामक निबंध को याद किए बगैर न रह सका, जिसमें ओलिवर सैक्स ने तत्त्वों के प्रति बचपन के अपने आकर्षण को व्यक्त किया था। सैक्स के शब्दों में, "मुझे यकीन हो गया था कि आवर्त तालिका न तो मनमानी है, न सतही है, बल्कि यह उन सच्चाइयों की द्योतक है जिन्हें कभी पलटा नहीं जाएगा, बल्कि उनकी पुष्टि ही होगी, नए ज्ञान के साथ नई गहराइयां उजागर होंगी, क्योंकि यह उतनी ही गहरी और सरल है जितनी कि प्रकृति स्वयं है। और इसने मेरे मन में (आइंस्टाइन के शब्दों में कहूं तो) यह भाव पैदा कर दिया कि 'एक महान रहस्य थोड़ा खुल गया है'।"

कुछ दशकों से रसायन शास्त्र की विविधताओं से दूर रहने के कारण आवर्त तालिका वे भूली बातें याद दिलाने लगी जब सफाई से कतारों और स्तंभों में व्यवस्थित तत्त्व इतने महत्त्वपूर्ण लगते थे। जब मैं अतीत की स्मृतियों में खोया हुआ था, तभी वुल्फ-सिमोन व साथियों की साइन्स के 2 दिसंबर अंक में प्रकाशित उस रिपोर्ट ने मेरा ध्यान आकर्षित किया जिसमें घोषणा की गई थी कि "एक बैक्टीरिया की खोज हुई है जो फॉस्फोरस की बजाय आर्सेनिक से काम चला लेता है।" ऐसा लगता है कि यह रिपोर्ट जीवन के रसायन शास्त्र को लेकर हमारे कई पुराने मतों को पलट देने का माद्दा रखती है। हालांकि हमने सीखा है कि "छः तत्त्व सजीव पदार्थ के अधिकांश भाग का निर्माण करते हैं", मगर उक्त रिपोर्ट के लेखक बताते हैं कि

"सैद्धांतिक रूप से तो यह संभव है कि आवर्त तालिका के अन्य तत्त्व वही कार्य कर सकते हैं।" मुझे फौरन एक सख्त शिक्षक की याद आ गई। जब मैं रसायन शास्त्र का छात्र था, तब वे काफी आक्रामक ढंग से छात्रों से यह सवाल पूछा करते थेः "हालांकि सिलिकॉन आवर्त तालिका में कार्बन के ऐन नीचे अगला तत्त्व है, फिर भी प्रकृति के रासायनिक संगठन में यह उतना व्यापक क्यों नहीं है?" मैंने यह सवाल तब सुना था जब मैं साइन्स फिक्शन पढ़ने में खूब रुचि लेता था। यह सोचना कितना अच्छा लगता था कि कहीं किसी दूरस्थ ग्रह पर जीव होंगे जो कार्बन के अभाव वाले मगर सिलिकॉन समृद्ध पर्यावरण में रहते होंगे।

पहली नज़र में तो ऐसा लगता है कि मेंडेलीव की आवर्त तालिका के स्तंभों के तत्त्व आसानी से एक-दूसरे का स्थान ले सकते हैं, बशर्ते कि आप रसायन शास्त्र की बारीकियों को एक क्षण के लिए भुला दें।

वुल्फ-सिमोन की रिपोर्ट ने एक दिलचस्प सवाल उठाया हैः "क्या जीवन के रासायनिक संगठन में आर्सेनिक फॉस्फोरस का स्थान ले सकता है?" शोध पत्र में एक बैक्टीरिया (GFAJ-1) का वर्णन किया गया है। इस बैक्टीरिया को कैलीफोर्निया की एक झील से प्राप्त किया गया था। यह झील बहुत खारी है और क्षारीय है तथा इसके पानी में काफी मात्रा में आर्सेनिक घुला हुआ है। वैसे अपने कुदरती प्राकृतवास में GFAJ-1 को निश्चित रूप से पर्याप्त मात्रा में फॉस्फेट पोषण उपलब्ध है मगर वुल्फ-सिमोन व साथियों ने इसे फॉस्फेट रहित मगर प्रचुर आर्सनेट युक्त माध्यम में पनपने दिया। इस प्रयोग के दौरान उन्होंने माध्यम में धीरे-धीरे आर्सनेट की मात्रा बढ़ाई और दर्शाया कि यह बैक्टीरिया "फॉस्फोरस के स्थान पर आर्सेनिक का उपयोग करके अपने जैव अणुओं का संघटन काफी बदल लेता है।"

आर्सेनिक कोई लोकप्रिय तत्त्व नहीं है। हाल के वर्षों में आर्सेनिक विषाक्तता काफी चिंता का विषय रही है। खास तौर से बांग्लादेश, पश्चिम बंगाल व अन्य कई स्थानों पर भूजल आर्सेनिक युक्त पाया जाने के बाद यह चिंता गंभीर हुई है। किस्से-कहानियों और नाटकों की दुनिया में आर्सेनिक एक प्रचलित ज़हर रहा है। ब्रॉडवे के एक नाटक 'आर्सेनिक एण्ड दी ओल्ड लेस' पर फिल्म भी बन चुकी है। 1950 के दशक से अपराध वैज्ञानिकों के बीच यह भी बहस का विषय रहा है कि सेंट हेलेना में नेपोलियन को आर्सेनिक विष से मारा गया था या नहीं। हाल ही में न्यूट्रॉन एक्टिवेशन एनालिसिस ने आर्सेनिक विष को इस मामले में क्लीन चिट दे दी है। दूसरी ओर, कीमोथेरपी और चिकित्सकीय रसायन शास्त्र के विकास में भी आर्सेनिक अहम किरदार रहा है। 1908 में पौल एह्रलिश के नोबेल व्याख्यान में इस बात का विवरण दिया गया था कि कैसे आर्सेनिक यौगिकों का उपयोग ट्रिपेनोसोमानाशी के रूप में किया जा सकता है। ट्रिपेनोसोमा वह परजीवी है जो 'अफ्रीकी निद्रारोग' के लिए ज़िम्मेदार है। सिफलिस की पहली दवा साल्वरसैन एह्रलिश की दूसरी खोज थी, जो आर्सेनिक यौगिकों के साथ वर्षों के अनुसंधान का परिणाम थी।

कीमोथेरपी के युग की शुरुआत में सहायक होने के बावजूद आर्सेनिक का रासायनिक अध्ययन बहुत आकर्षक विषय नहीं रहा है। वुल्फ-सिमोन का शोध पत्र पढ़ते हुए मैं सोच रहा था कि क्या आर्सेनिक के दिन बदलने को हैं। यदि इस बात के पुख्ता सबूत मिलते हैं कि आर्सेनिक को जैविक अणुओं - डीएनए, आरएनए और एटीपी - में जोड़ लिया जा रहा है, तो क्या फॉस्फोरस के इस सम्बंधी के पक्ष में हवा नहीं बहने लगेगी? क्या जल्दी ही आर्सेनिक के रासायनिक जीव विज्ञान में अनुसंधान की बाढ़ आने वाली है?

पहली नज़र में तो उपरोक्त शोध पत्र में आधुनिक रासायनिक विश्लेषण के सारे लक्षण दिखते हैं। कोशिका के अंशों में आर्सेनिक मापन की जिन तकनीकों का उपयोग किया गया है वे प्रभावशाली हैं। मेरे समेत कोई भी औसत पाठक तो यह देखकर आश्वस्त हो जाएगा कि विश्लेषण के लिए निहायत नफीस तरीकों का उपयोग हुआ है। मगर इस रिपोर्ट में एक भी समूह के मेटाबोलाइट (शारीरिक क्रियाओं में शामिल पदार्थ) का अलग से विश्लेषण नहीं किया गया है। उत्साह के आवेग में शोधकर्ता ज़रूर यह निष्कर्ष निकालते हैं कि यकीनन आर्सेनिक के अणु डीएनए की श्रृंखला में फॉस्फोरस के स्थान पर जुड़ गए हैं। वे यह भी कहते हैं कि इस बैक्टीरिया में कोशिकीय पदार्थों के

आर्सेनिकयुक्त समकक्ष भी मौजूद हैं। वे अपना निष्कर्ष इन शब्दों में प्रस्तुत करते हैं: "यह अस्पष्ट है कि कैसे आर्सेनिक स्वयं को जैव अणुओं में जोड़ लेता है, और ऐसे अणुओं की क्रियाविधि भी ज्ञात नहीं है।"

सामान्यतः 'आर्सेनिक बैक्टीरिया' सम्बंधी इस शोध पत्र पर ध्यान जाने में वक्त लगता मगर नासा के एक प्रेस वक्तव्य ने दिलचस्पी को हवा देने का काम किया। नासा ने थोड़ा जल्दबाज़ी में दावा किया: "नासा-प्रायोजित अंतरिक्ष-जीव विज्ञान सम्बंधी शोध ने इस मामले में हमारे मूलभूत ज्ञान को बदलकर रख दिया है कि पृथ्वी पर ज्ञात जीवन किन चीज़ों से मिलकर बना है।" प्रेस वक्तव्य काफी ज़ोर देकर कहता है: "एक वैकल्पिक जैव-रासायनिक संगठन की खोज जीव विज्ञान की पाठ्य पुस्तकों का हुलिया बदल देगी और पृथ्वी से इतर जीवन की खोज को नया विस्तार देगी।" यदि मेरी उम्र चालीस साल कम होती, तो मैं आर्सेनिक-भक्षी मंगलवासियों की कल्पनाएं करने लगता, वही आर्सेनिक जिसकी अल्प मात्रा भी पृथ्वीवासियों के लिए जानलेवा होती है। बदकिस्मती से, उम्र आपकी कल्पनाशक्ति को थोड़ा कुंद कर देती है।

जल्दी ही इंटरनेट ब्लॉग्स पर इस शोध पत्र को लेकर आशंकाएं व्यक्त होने लगीं। आलोचनाओं का सैलाब आ गया, प्रयोग से प्राप्त हर आंकड़े की सार्वजनिक चीरफाड़ शुरू हो गई। चीरफाड़ की इस प्रक्रिया में किसी भी जानकारी को नहीं बख्शा गया। ब्लॉग्स शिक्षाप्रद होने के साथ-साथ मनोरंजक भी होते हैं। एक ब्लॉग पर ही मुझे फ्रेन्क वेस्टहाइमर के सुविचारित विश्लेषण 'प्रकृति ने फॉस्फोरस को ही क्यों चुना?' की याद दिलाई गई। क्या प्रकृति सिलिकेट्स या आर्सनेट्स को नहीं चुन सकती थी? वेस्टहाइमर ने दर्शाया था कि जलीय माध्यम में आर्सनेट ईस्टर्स (एक किस्म के यौगिक) इतनी तेज़ी से विघटित होते हैं कि आर्सेनिक जैव-रासायनिक अणुओं को पर्याप्त स्थिरता प्रदान कर ही नहीं सकता। अपनी टिप्पणी के अंतिम हिस्से में वेस्टहाइमर यह बार-बार पूछा जाने वाला सवाल पूछते हैं: "प्रयोगशाला में रसायनज्ञों द्वारा चुने जाने वाले विकल्पों और प्रकृति द्वारा सजीव कोशिकाओं में अपनाए जाने वाले विकल्पों के बीच इतना अंतर क्यों है?" उनका जवाब है: "हम रसायनज्ञों और प्राकृतिक चयन द्वारा चुने गए विकल्पों को समझ सकते हैं। दोनों सही होते हैं।"

वुल्फ-सिमोन के शोध पत्र पर आक्रमण जिस तेज़ी से हुआ, वह मेरे जैसे ब्लॉग-अज्ञानी व्यक्ति के लिए हैरत की बात थी। संप्रेषण के इस नए माध्यम की ताकत और पाठकों के नेटवर्क का त्वरित विकास सचमुच गौरतलब है। उपरोक्त शोध पत्र के ऑनलाइन प्रकाशन के एक सप्ताह के अंदर, आर्सेनिक युक्त जैव अणुओं के पक्ष में जो प्रमाण थे, वे तकनीकी आलोचना की तपन में काफूर होने लगे। नासा ने इस मामले में आलोचकों के साथ विचार-विमर्श करने से इन्कार करके जो भूल की, वह दुनिया भर में सरकारी एजेंसियों का गुण है। कारण यह बताया गया कि 'अत्यंत प्रतिष्ठित शोध पत्रिका' में प्रकाशित पर्चे पर ऐसे ब्लॉगर्स के साथ बहस करना अनुपयुक्त होगा, जो शोधकर्ताओं के समकक्ष नहीं हैं। इसके जवाब में नासा के 'हम बेहतर जानते हैं' वाले रवैये की भरपूर आलोचना भी हुई है। मुझे यह तर्क बहुत ज़ोरदार लगता है कि प्रकाशन-पूर्व जो रेफरिंग होता है वह मात्र 'गुणवत्ता नियंत्रण' का एक तरीका है जबकि प्रकाशन-उपरांत समीक्षा वास्तव में समकक्ष लोगों द्वारा की जाने वाली समीक्षा है।

वुल्फ-सिमोन के शोध पत्र पर समस्त प्रतिक्रियाएं नकारात्मक ही नहीं हैं। हो सकता है कि GFAJ-1 बैक्टीरिया वास्तव में इन्तहाई वातावरण के साथ अनुकूलन का एक उदाहरण साबित हो और पता चले कि सूक्ष्मजीव आर्सेनिक को संभालने के कैसे नए-नए तरीके ईजाद कर सकते हैं। आर्सेनिक पर ध्यान केंद्रित होने पर संभव है कि आर्सेनिक ट्राईऑक्साइड वाली कीमोथेरपी पर एक बार फिर ध्यान दिया जाए।

दरअसल वुल्फ-सिमोन शोध पत्र इस बात की एक मिसाल लगता है कि कैसे एक मोहक परिकल्पना उत्साहित शोधकर्ताओं के एक दल को गिरफ्त में ले सकती है। कम से कम भारत में जीव विज्ञान के संदर्भ में मैं अक्सर सुनता हूं कि शोध सदा परिकल्पना-चालित होना चाहिए। मगर इस नज़रिए में कभी-कभी एक खतरा होता है। हो सकता है

कि शोधकर्ता अपने प्रयोगों की डिज़ाइन व परिणामों की व्याख्या अपनी परिकल्पना को सही साबित करने के लिए करें। अपनी परिकल्पना को पुष्ट करने के फेर में हो सकता है कि शोधकर्ता तुलनात्मक प्रयोगों के परिणामों को अनदेखा कर दें। लगता है कि 'आर्सेनिक-भक्षी बैक्टीरिया' शोध पत्र के लेखक इस मोह में उलझ गए हैं। वे अपनी काहनी को तब ही आगे बढ़ा सकते हैं, जब यह बात यकीनन प्रमाणित हो जाए कि इस बैक्टीरिया से प्राप्त डीएनए में आर्सेनिक जुड़ गया है।

परिकल्पना-आधारित शोध और विज्ञान के अवलोकन आधारित नज़रिए के बारे में सोचते हुए मुझे उन्नीसवीं सदी के दो महान बौद्धिक संश्लेषणों की याद आईः डारविन का प्राकृतिक चयन का सिद्धांत और मेंडेलीव की आवर्त तालिका। जहां डारविन का सिद्धांत जीव विज्ञान को एक सूत्र में पिरोता है, वहीं आवर्त तालिका रसायन शास्त्र को एक व्यवस्था प्रदान करती है। ये दोनों ही वुल्फ-सिमोन पर्चे के बारे में विचार करने की दृष्टि से महत्त्वपूर्ण हैं। आर्सेनिक वह तत्त्व है जो कभी भी रासायनिक अनुसंधान के केंद्र में नहीं रहा। बैक्टीरिया GFAJ-1 ने इस तत्त्व में दिलचस्पी पैदा कर दी है। आवर्त तालिका को देखते हुए मैं यही सोच रहा हूं कि क्या अन्य तत्त्व भी कभी गुमनामी के अंधेरों में से निकलकर उजाले में आएंगे। ***(स्रोत फीचर्स)***