तत्त्वों का संकटः क्या करे दुनिया?

पी. बालाराम

केमिस्ट्री यानी रसायन बहुत ही अद्‌भुत शब्द है। इसे अलग-अलग संदर्भों में अलग-अलग अर्थों में पेश किया जाता रहा है। सार्वजनिक जीवन में भ्रष्टाचार पर एक अंतहीन और उत्तेजक टीवी बहस में एक मुखर नेता ने कहा था, 'वकीलों और न्यायाधीशों के बीच केमिस्ट्री रहती है।' उनके कहने का मतलब यही था कि कानूनी फैसलों पर वकीलों का प्रभाव रहता है। 'केमिस्ट्री' शब्द का इस्तेमाल व्यापक रूप से स्वीकृत उस अवधारणा का स्पष्ट संकेत होता है कि यह जिन लोगों के लिए इस्तेमाल किया जा रहा है, उनके बीच 'अच्छे' या 'बुरे' सम्बंध हैं। यह मानव व्यवहार का ही विस्तार है जो अपरिहार्य और न्यायसंगत भी प्रतीत होता है। भ्रष्टाचार पर गर्मागर्म बहस के शुरू होते ही मैं रसायन शास्त्र विषय के बारे में सोचने लगा। इस साल को रसायन शास्त्र वर्ष के रूप में मनाया भी जा रहा है। इसलिए इस पर चर्चा करना और भी प्रासंगिक हो जाता है।

विद्यार्थियों के समक्ष रसायन शास्त्र से परिचय अक्सर तत्त्वों और आवर्त सारणी की व्याख्या से करवाया जाता है। 19वीं सदी के मध्य में मेंडेलीव द्वारा तत्त्वों के गुणों में आवर्तता को पहचानना और आवर्त सारणी की उनकी अवधारणा की गिनती उन स्तंभों में की जाती है जिन पर आधुनिक विज्ञान का महल खड़ा है। लेकिन 'तत्त्व' (एलिमेंट) की परिभाषा कई बार शुरुआती विद्यार्थियों को दिक्कत देती है। इसलिए इनमें से अधिकांश छात्र मौका मिलते ही रसायन शास्त्र को अलविदा कह देते हैं। शब्द 'एलिमेंट' का इस्तेमाल अंग्रेज़ी में कई अलग-अलग संदर्भों में होता है और इस मामले में इसने 'केमिस्ट्री' शब्द को बहुत पीछे छोड़ दिया है। आर्थर कॉनन डॉयल ने 'शरलॉक होम्स' में एलिमेंट शब्द को लेकर उसका दूसरा ही अर्थ गढ़ दिया। जब शरलॉक होम्स से उसकी सफलताओं के बारे में पूछा जाता है तो वह कहता है, 'एलिमेंट्री, माय डिअर वॉटसन'। यहां एलिमेंट्री का मतलब है, 'बहुत आसान'।

रसायन शास्त्र में जब तत्त्व से परिचय करवाया जाता है तो वह आसान लगता है। बाद में जब विद्यार्थियों का सामना उसकी जटिलताओं से होता है, तो वे भौंचक्के रह जाते हैं। प्रारंभिक सभ्यताएं तत्त्व, जो सभी पदार्थों का मूल घटक है, को बहुत ही सरल रूप में लेती थीं। तब भौतिक दुनिया को मूलतः पृथ्वी, वायु, जल, अग्नि और आकाश से बनी माना जाता था। पैरासेल्सस ने दुनिया को नमक, सल्फर और पारे के रूप में समझा था।

वर्ष 1661 में 'स्केप्टिकल कायमिस्ट' में रॉबर्ट बायल ने तत्त्व को आधुनिक रूप से परिभाषित करने की शुरुआत की थी। इसके दो सदी बाद आधुनिक रसायन शास्त्र का उभार शुरू हुआ जब डॉल्टन और मेंडेलीव ने परमाणुओं और आवर्त सारणी का प्रतिपादन किया।

और तो और, आधुनिक रसायन शास्त्र की पाठ्यपुस्तकों में भी तत्त्व की परिभाषा अस्पष्ट और अपूर्ण नज़र आती है : 'एक रासायनिक तत्त्व वह पदार्थ है जिसे रासायनिक साधनों से खंडित नहीं किया जा सकता।' इसमें एक वाक्य यह जोड़ा जाता है - 'तत्त्वों को उनमें शामिल प्रोटान की संख्या के आधार पर परिभाषित किया जाता है।' इस छोटे-से पूरक वाक्य को जोड़कर परमाणुओं की प्रकृति और आइसोटॉप की खोज को समझने में हुई व्यापक प्रगति को मान्यता दी गई है।

तत्त्वों और उनमें भी खास तौर से सोने ने 17वीं और 18वीं सदी के कीमियागरों को आकर्षित किया। इनमें न्यूटन भी थे। तत्त्वों का परस्पर रूपांतरण एक बहुत ही वांछित मकसद हुआ करता था। बीबीसी पर प्रसारित कार्यक्रम 'रसायन शास्त्रः बदलता इतिहास' में सैद्धांतिक भौतिक शास्त्री जिम खलीली ने तत्त्वों के सफर का एक शानदार खाका खींचा है। वे कहते हैं, 'रसायन शास्त्र कीमियागरों की भट्टियों से पैदा हुआ था।'

'*नेचर मटेरियल्स*' के एक ताज़ा संपादकीय 'कमी वाले तत्त्व' में लिखा गया है, 'जब भी हम प्राकृतिक संसाधनों की कमी की बात करते हैं, हमारे दिमाग में सबसे पहले तेल की उपलब्धता ही आती है।' इस बात का उल्लेख करते हुए कि कई दुर्लभ पदार्थ उनमें मौजूद रासायनिक तत्त्वों के कारण मूल्यवान हैं, संपादकीय लिखता है, 'तेल एक ऐसा अणु है जो अपने भीतर समाई गई ऊर्जा के कारण कीमती

है, उसमें मौजूद कार्बन और हाइड्रोजन परमाणुओं की वजह से नहीं।'

रसायन शास्त्र के पाठ्यक्रमों में मेंडेलीव की सारणी में शामिल अपेक्षाकृत बहुत कम तत्त्वों पर ही ध्यान दिया जाता है। इस मामले में खासकर कार्बनिक रसायन शास्त्री चुनिंदा तत्त्वों पर कार्य करते हैं, जबकि अकार्बनिक रसायन शास्त्रियों का दायरा थोड़ा व्यापक होता है। सवाल यह है कि ऐसे कौन-से तत्त्व हैं जो मूल्यवान व दुर्लभ हैं और जिनकी कमी सरकारों और नीति नियंताओं के लिए चिंता का विषय होनी चाहिए? इसका जवाब ढूंढने के लिए मैंने अमरीकी ऊर्जा विभाग द्वारा पेश रिपोर्ट (17 दिसंबर, 2010) पर नज़र दौड़ाई। इस रिपोर्ट में 'संकटग्रस्त पदार्थों को लेकर रणनीति बनाने' पर ज़ोर दिया गया था।

आवर्त सारणी में चौदह तत्त्वों को 'प्रमुख पदार्थ' के रूप में चिन्हित किया गया था। ये हैं - लीथियम (Li), कोबॉल्ट (Co), यिट्रियम (Y), गैलियम (Ga), इंडियम (In), टेलुरियम (Te), लैंथेनम (La), सीरियम (Ce), प्रैसियोडिमियम (Pr), नियोडिमियम (Nd), सैमेरियम (Sm), युरोपियम (Eu), टर्बियम (Tb) और डिस्प्रोसियम (Dy)। इनमें से आखिरी के सात तत्त्व 'दुर्लभ धातु' की श्रेणी में आते हैं और इन्हें रसायन शास्त्र के अधिकांश छात्र पसंद नहीं करते। इनकी विशेषताओं में एक किस्म की एकरूपता है जिस वजह से बोरियत का एहसास होने लगता है।

'संकटग्रस्त' और 'रणनीतिक' तत्त्वों पर बहस दरअसल चीन द्वारा दुर्लभ धातुओं के निर्यात की सीमा बांधने के बाद शुरू हुई। चीन आज इन धातुओं का सबसे बड़ा सप्लायर है। प्रतिस्पर्धियों को बाज़ार से बाहर करने का एक तरीका यह है कि धातुओं की कीमत बेहद घटा दो। जब सारे प्रतिस्पर्धी बाहर हो जाएं जो निर्यात को लेकर मनमानी करो। चीन ने यही किया है।

अमरीकी ऊर्जा विभाग की सूची में जो 14 तत्त्व दिए गए हैं, वे 'स्वच्छ ऊर्जा' के लिए काफी महत्त्वपूर्ण हैं और उनकी भारी मांग है। सोलर सेल (फोटोवोल्टेइक फिल्म) के लिए इंडियम, गैलियम और टेलुरियम, पवन टर्बाइन व इलेक्ट्रिक वाहनों के चुंबक के लिए प्रैसियोडिमियम, नियोडिमियम, सैमेरियम और डिस्प्रोसियम, बैटरियों के लिए लीथियम, सीरियम, प्रैसियोडिमियम, नियोडिमियम, लैंथेनम और कोबाल्ट, फ्लोरेसेंट प्रकाश उपकरणों के लिए लैंथेनम, सीरियम, युरोपियम, टर्बियम और यिट्रियम की ज़रूरत होती है। यह साफ है कि स्वच्छ पर्यावरण के लिए जीवाश्म ईंधन के इस्तेमाल को कम करना होगा। यानी स्वच्छ ऊर्जा का भविष्य काफी हद तक इन तत्त्वों पर निर्भर करता है, जिनकी कमी से इनकी आपूर्ति और कीमत पर भारी असर पड़ेगा। अमरीकी ऊर्जा विभाग ने एक्टिनाइड तत्त्वों, युरेनियम, प्लूटोनियम और थोरियम की तो चर्चा ही नहीं की जो परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम में बेहद अहम हैं।

तत्त्वों और खनिज पदार्थों के भंडार दुनिया भर में असमान रूप से बिखरे हुए हैं। फिर, सभी ज्ञात भंडारों का आसानी से खनन नहीं किया जा सकता। इनकी खनन और प्रोसेसिंग की प्रकिया न केवल महंगी, बल्कि पर्यावरण के लिए नुकसानदेह भी है। ऊर्जा विभाग की इस रिपोर्ट में कई प्रमुख तत्त्वों के बारे में जानकारी दी गई है। साथ ही उनका उत्पादन और उत्पादक देशों में उनके भंडारों की तुलनात्मक स्थिति भी प्रस्तुत की गई है। दिलचस्प बात यह है कि इस रिपोर्ट में लीथियम और टेलुरियम के सम्बंध में आंकड़े उजागर नहीं किए गए हैं। इसकी वजह शायद रणनीतिक हो सकती है। चीन का दुर्लभ धातुओं के उत्पादन पर लगभग पूरा एकाधिकार है। वह लीथियम, कोबाल्ट और गैलियम का बड़ा उत्पादक देश है।

इन दुर्लभ धातुओं का बहुत कम हिस्सा भारत के पास है। संकेत साफ है कि भविष्य में भारत को दुर्लभ धातुओं की भारी कमी से जूझना होगा। ऊर्जा विभाग की रिपोर्ट ने आपूर्ति की कमी के खतरे और स्वच्छ ऊर्जा की महत्ता को लेकर लघु अवधि (0 से 5 साल) का आकलन व दीर्घावधि (5 से 15 साल) का पूर्वानुमान पेश किया है। दुर्लभ धातुओं, युरोपियम, यिट्रियम, नियोडिमियम, डिस्प्रोसियम और टर्बियम की आपूर्ति सर्वाधिक खतरे में है। स्वच्छ ऊर्जा प्रौद्योगिकी के लिए ये सबसे महत्त्वपूर्ण भी हैं। हालांकि अमरीकी ऊर्जा विभाग की यह रिपोर्ट अमरीका का ही परिदृश्य पेश करती है, लेकिन भारत जैसे विशाल देशों, जहां प्राकृतिक संसाधन

पहले से ही कम हैं, को भी भावी कमी के मद्देनज़र अपनी रणनीतियों का लगातार आकलन करने की ज़रूरत है।

प्रौद्योगिकीय रूप से बेहद उन्नत, लेकिन संसाधनों की कमी से जूझ रहे जापान ने दीर्घकालीन रणनीति तैयार की है। ई. नाकामुरा और के. सातो ने अपनी टिप्पणी'रासायनिक तत्त्वों की कमी का प्रबंधन' (नेचर मटेरियल्स, 2011) में जापान की 'तत्त्व रणनीति' पर चर्चा की है। वे 1960 से 1980 के बीच के समय को ऐसा दौर मानते हैं जब जापान के कर्णधार आवर्त सारणी के तत्त्वों की खोज में लगे हुए थे। इसी 'खोज' के दौरान ऐसे कई नए पदार्थ मिले जिनका उच्च प्रौद्योगिकी उत्पादों में सफलता के साथ इस्तेमाल किया गया। ये उत्पाद हमारे आज के जीवन का अनिवार्य हिस्सा बन चुके हैं। लेखक बताते हैं कि तत्त्वों की खोज के अभियान में न केवल पदार्थ वैज्ञानिक शामिल थे, बल्कि इसमें कार्बनिक रसायन शास्त्रियों को भी साथ में लिया गया था। इसी का परिणाम था कि वर्ष 2010 में रसायन शास्त्र का नोबेल पुरस्कार हेक, नेगिशी और सुज़ुकी को दिया गया।

दुनिया भर में सारा ध्यान दुर्लभ धातुओं और अमरीकी ऊर्जा विभाग की रिपोर्ट में शामिल तत्त्वों पर दिया जा रहा है, जबकि नाकामुरा और सातो का कहना है कि फॉस्फोरस के भंडारों के रीतने का खतरा भी मंडरा रहा है। अगले 50 सालों में हो सकता है कि फॉस्फोरस की खाद ही न मिले। इससे कृषि को काफी नुकसान होगा। दुर्लभ किंतु महत्त्वपूर्ण तत्त्वों के असमान वितरण से राजनीति और व्यापार के जटिल मसले भी उठेंगे। लेखक बताते हैं कि उत्प्रेरक के रूप में काफी अहम प्लेटिनम समूह की धातुओं का उत्पादन मुख्यतः दक्षिण अफ्रीका और रूस में सिमटा हुआ है। इसी तरह स्टील एडिटिव के रूप में इस्तेमाल होने वाले नियोबियम का अधिकांश उत्पादन ब्राज़ील और कनाडा में होता है। कैपेसिटर्स में उपयोगी टैंटेलम का उत्पादन केवल ऑस्ट्रेलिया व ब्राज़ील में होता है। भारत का नाम उन देशों की सूची में कहीं नहीं है जहां रणनीतिक रूप से महत्त्वपूर्ण प्राकृतिक संसाधनों के भंडार हैं। यह भारत के लिए चिंता का विषय होना चाहिए।

क्या इन तत्त्वों की भावी कमी की समस्या का कोई समाधान नज़र आता है? नाकामुरा और सातो हमें आशा बंधाते हैं। वे याद दिलाते हैं हैबर-बॉश प्रक्रिया में अमोनिया निर्माण में हवा की नाइट्रोजन का इस्तेमाल किया गया था। इससे कृषि में उर्वरक क्रांति का जन्म हुआ था। हो सकता है, संकट के मद्देनज़र कुछ नए वैज्ञानिक आविष्कार कर लिए जाएं। जापान की तत्त्व सम्बंधी रणनीति कहती है,'भले ही संसाधन कम हों, लेकिन उच्च प्रौद्योगिकी की कोई कमी नहीं है। आवश्यकता ही आविष्कार की जननी है।' यह रणनीति चार स्तंभों पर टिकी है - विकल्प खोजना, नियमन, कटौती और पुनर्चक्रण (रीसाइक्लिंग)। विकल्पों की खोज का अभियान भावी रसायन अनुसंधानों के लिए निश्चित तौर पर प्रेरणा का काम करेगा। कार्बनिक सेमीकंडक्टर्स, जिनका आगाज़ हो चुका है, का मूल्यांकन न केवल ऊर्जा नीति के तौर पर बल्कि तत्त्वों की रणनीति के रूप में भी करना होगा। नाकामुरा और सातो ने ऐसे कई अनूठे उदाहरण दिए हैं। इनमें एक क्रोकोनिक एसिड भी है, जिसमें ऐसा एक भी तत्त्व शामिल नहीं है जो दुर्लभ या असामान्य हो।

कमी वाले तत्त्वों का नियमन और उनके इस्तेमाल में कटौती निस्संदेह किसी भी 'तत्त्व नीति' का महत्त्वपूर्ण हिस्सा होंगे, लेकिन दीर्घावधि नीति में रिसाइक्लिंग को महत्त्वपूर्ण स्थान दिया जाना चाहिए। लेखक जापान के नेशनल इंस्टीट्यूट फॉर मटेरियल साइंस द्वारा किए गए एक अध्ययन को उद्धरित करते हैं। इस अध्ययन के अनुसार जिन उच्च प्रौद्योगिकी वाले उपकरणों (जैसे मोबाइल) को यूं ही फेंक दिया जाता है, उनमें 'खज़ाना' छिपा हुआ है। आंकड़े चौंकाने वाले हैं : '6800 टन सोना (वैश्विक भंडारों का 16 फीसदी), 60,000 टन चांदी (22 फीसदी) और 1700 टन इंडियम (15.5 फीसदी)।' सूक्ष्मजीवों की मदद से रीसाइक्लिंग भविष्य में अहम भूमिका निभा सकता है।

तत्त्व रसायन शास्त्र की बुनियाद हैं। इनमें से कुछ दुर्लभ तत्त्व आधुनिक दुनिया के लिए काफी मायने रखते हैं। अत्यंत महत्त्वपूर्ण तत्त्वों की संभावित कमी से उत्पन्न होने वाली समस्याओं का समाधान इस दिशा में पहला कदम होगा। ***(स्रोत फीचर्स)***