Translation of Computational Thinking : The New Buzz_
R Ramanujam_From Azim premji University At Right Angles_July,2022

कक्षा में

कम्प्यूटेशनल चिन्तन : एक सम-सामयिक नया विचार

आर रामानुजम

मुख्य शब्द : स्कूली गणित, कम्प्यूटेशनल चिन्तन, समस्या समाधान, अपघटन, पैटर्न की पहचान, अमूर्तीकरण, एल्गोरिदम

1. सम-सामयिक नया विचार

1980 के दशक में कम्प्यूटर विज्ञान में समस्याओं पर काम करने वाले किसी व्यक्ति के तौर पर मुझसे अक्सर यह पूछा जाता था : *आप किन भाषाओं में काम करते हैं?* मैं आमतौर पर इस प्रश्न को जान-बूझकर ग़लत समझता और उत्तर देता - *ज़्यादातर अँग्रेज़ी में, कभी-कभी तमिल में भी।* उन दिनों कम्प्यूटर के साथ काम करने का मतलब था फोरट्रान या कोबोल या सी भाषा में कम्प्यूटर के प्रोग्राम लिखना और प्रश्नकर्ता मुझसे यही पूछ रहे होते थे। मेरा जवाब प्रोग्रामिंग भाषा के अप्रासंगिक होने और अन्तर्निहित अवधारणाओं के अधिक महत्त्वपूर्ण होने के बारे में होता था। वास्तव में, इस प्रश्न का एक अधिक सटीक लेकिन पूर्णत: अस्पष्ट उत्तर होगा *फर्स्ट ऑर्डर लॉजिक* और कुछ हद तक, बीजगणित। यह कम्प्यूटेशन के बारे में अमूर्त तर्क (abstract reasoning) के लिए भाषाएँ हैं।

यह सब इस बात को बताने के लिए है कि कम्प्यूटिंग और कम्प्यूटर विज्ञान के बारे में लोगों की आम-धारणा उस *सोच* को प्रतिबिम्बित नहीं कर सकती है जो इन अनुशासनात्मक क्षेत्रों (disciplinary domain) का मूल है। (यह काफ़ी स्वाभाविक है, इलेक्ट्रिकल इंजीनियरों या पुरातत्वविदों द्वारा उपयोग की जाने वाली विधियों की आम धारणा भी सटीक होने की सम्भावना नहीं है।) ज़रूरी नहीं है कि आधुनिक जीवन पर कम्प्यूटरों के बढ़ते प्रभाव के कारण यह उम्मीद की जाए कि लोगों को इस तरह की समझ भी हो : जैसे लोग बार-बार डॉक्टर से परामर्श करते हैं, पर उनसे चिकित्सीय निदान या पर्चे को समझने की उम्मीद नहीं की जा सकती।

जब स्कूली शिक्षा में इस तरह के "अनुशासनात्मक विचार" की वकालत की जाती है, तब इस तरह के विचारों की जाँच करना महत्त्वपूर्ण हो जाता है और जब बात स्कूली शिक्षा की हो तो आम धारणा और जुड़ाव महत्त्वपूर्ण होता है। पिछले एक दशक में कई देशों में इस बात की माँग बढ़ी है कि कम्प्यूटेशनल चिन्तन (Computational thinking – CT) को स्कूली पाठ्यचर्या का हिस्सा बनाया जाए। भारत में, राष्ट्रीय शिक्षा नीति, 2020 (एनईपी) ने न केवल **सीटी** (इस लेख में आगे हम इसे **सीटी** ही कहेंगे) को महत्त्व दिया है, बल्कि इसे *गणितीय चिन्तन* (Mathmatical thinking) के साथ भी जोड़ा है। हालाँकि इससे देश में काफ़ी चर्चा का माहौल बना है, फिर भी यह बिलकुल अस्पष्ट है कि क्या इस बात को लेकर शिक्षकों और शिक्षक-समुदाय के बीच एक स्पष्ट धारणा है कि **सीटी** क्या है, इसे गणितीय चिन्तन के साथ क्यों जोड़ा जा रहा है और क्या स्कूलों में **सीटी** को बढ़ावा देना ज़रूरी है या लाभप्रद है।

इस सन्दर्भ में यह लेख निम्नलिखित प्रश्नों को उठाने और उन पर चर्चा करने का प्रयास करता है :

- क्या आधुनिक जीवन में कम्प्यूटर की सर्वव्यापकता (अ) स्कूल में कम्प्यूटिंग सीखने और (बी) स्कूल में **सीटी** सीखने को बढ़ावा देने के लिए पर्याप्त कारण है?
- कक्षा में डिजिटल प्रौद्योगिकी की भूमिका के साथ **सीटी** का क्या लेना-देना है? डिजिटल स्पेस में देश में बड़े पैमाने पर मौजूद असमानता को देखते हुए **सीटी** और डिजिटल प्रौद्योगिकी को बढ़ावा देना क्या सामाजिक विभाजन को और गहरा नहीं करेगा?
- **सीटी** का कम्प्यूटर प्रोग्रामिंग सीखने से क्या लेना-देना है और बच्चों को कोडिंग सीखना कब शुरू करना चाहिए?
- **सीटी** का स्कूली गणित से क्या लेना-देना है? पहले से ही ठसाठस भरी हुई गणित पाठ्यचर्या के साथ अतिरिक्त विषयों को जोड़कर क्या हम विद्यार्थियों और शिक्षकों पर बोझ बढ़ा रहे हैं?
- क्या भारतीय शिक्षा-प्रणाली स्कूलों में **सीटी** को अपनाने के लिए तैयार है?

वास्तव में, प्रश्नों की यह सूची पूरी नहीं है और आने वाले वर्षों में एनईपी के क्रियान्यवन के दौरान सभी स्तरों पर और अधिक प्रश्न उत्पन्न होंगे। हालाँकि, एक राष्ट्रीय नीति को इन मूलभूत प्रश्नों के उत्तर देने और विशेष रूप से शिक्षण समुदाय को स्पष्ट निर्देश प्रदान करने की आवश्यकता है।

2. एनईपी में सीटी

भारत में एक विषय के रूप में कम्प्यूटर विज्ञान मुख्यत: विश्वविद्यालयों में पढ़ाया जाता है और उच्च माध्यमिक स्तर पर इसके लिए कुछ तैयारी की जाती है। स्कूल के प्रारम्भिक 10 वर्षों में तथाकथित *कम्प्यूटर कक्षाएँ* मुख्यत: कम्प्यूटर, प्लेटफार्मों और इंटरनेट के उपयोग पर आधारित रही हैं। यह भी मुख्यत: शहरी निजी स्कूलों में है; सरकारी स्कूल-प्रणाली में बड़े

पैमाने पर सामान्यत: केवल माध्यमिक या उच्चतर माध्यमिक विद्यालय स्तर पर कम्प्यूटर के उपयोग से परिचय कराया जाता है।

एनईपी भी स्कूली वर्षों में कम्प्यूटेशनल चिन्तन और कोडिंग की वकालत करती है। एनईपी से यह प्रासंगिक हिस्सा यहाँ प्रस्तुत करने लायक है :

> 4.25 यह माना जाता है कि गणित और गणितीय चिन्तन भारत के भविष्य और कई आगामी क्षेत्रों और व्यवसायों में भारत की नेतृत्वकारी भूमिका के लिए बहुत महत्त्वपूर्ण होगा। इन उभरते हुए क्षेत्रों में आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस, मशीन लर्निंग और डेटा साइंस शामिल हैं। इस प्रकार गणित और कम्प्यूटेशनल चिन्तन को विभिन्न प्रकार के अभिनव तरीक़ों के माध्यम से फ़ाउंडेशनल स्तर से शुरू करके स्कूल की पूरी अवधि के दौरान विभिन्न तरीक़ों, जिनमें पहेलियाँ और गेम का नियमित उपयोग शामिल है (और जो गणितीय चिन्तन को अधिक आनन्ददायी और आर्कषक बनाते हैं), के माध्यम से सिखाने पर ज़ोर दिया जाएगा। मिडिल स्कूल स्तर पर कोडिंग सम्बन्धी गतिविधियाँ शुरू की जाएँगी।

गणितीय चिन्तन और कम्प्यूटेशनल चिन्तन का जुड़ाव महत्त्वपूर्ण है, क्योंकि यह "कम्प्यूटर कक्षाओं" के वर्तमान मॉडल को पूरी तरह से हटाने और कम्प्यूटिंग के आधारभूत विज्ञान को पढ़ाने के लिए आगे बढ़ने का सुझाव देता है। इसमें चिन्तन पर ज़ोर दिया जा रहा है। इसका गणित-शिक्षा के लिए भी महत्त्वपूर्ण निहितार्थ है क्योंकि इसमें "संक्रियाओं", सूत्रों और प्रक्रियाओं (समीकरणों को हल करने के लिए, आदि) को सीखने की बजाय चिन्तन के तरीक़े को सीखने पर ध्यान केन्द्रित किया जा रहा है।

दूसरी ओर, इस गद्यांश के अनुसार ऐसा किए जाने का कारण "आगामी क्षेत्रों और व्यवसायों जैसे आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस, मशीन लर्निंग और डेटा साइंस आदि के लिए गणित और कम्प्यूटेशनल चिन्तन के महत्त्व से उपजा है।" इसके अलावा, माध्यमिक स्तर से आगे के लिए कोडिंग की वकालत की गई है। इस स्थिति में किसी को यह सोचने के लिए माफ़ किया जा सकता है कि **सीटी**, जिसे वर्तमान में कम्प्यूटर विज्ञान में महत्त्वपूर्ण माना जाता है, की वकालत केवल फैशन को बढ़ावा देने के लिए है और इसका सम्बन्ध कोडिंग के साथ है। (वास्तव में, कुछ लोगों ने पहले से ही हाई स्कूल में आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस और डेटा साइंस के शिक्षण की वकालत करना शुरू कर दी है!)

"भारत की नेतृत्वकारी भूमिका" का सन्दर्भ और भी सन्देह पैदा करता है : स्कूली पाठ्यचर्याएँ स्कूली शिक्षा के उद्देश्यों द्वारा तय की जानी चाहिए और बच्चों पर राष्ट्रवादी प्राथमिकताओं की ज़िम्मेदारी का बोझ नहीं डालना चाहिए। फिर से, **सीटी** का प्रचार एक शैक्षिक उद्देश्य के रूप में आवश्यक होने के बजाय सहायक प्रतीत होता है।

एनईपी दस्तावेज़ में "कम्प्यूटेशनल चिन्तन" वाक्यांश का यह एकमात्र उल्लेख है। दूसरी ओर, एनईपी कक्षाओं में डिजिटल प्रौद्योगिकी के उपयोग की पुरज़ोर वकालत करता है। इसके लिए एनईपी में एक पूरा खण्ड समर्पित किया गया है।

इस बीच महामारी के कारण देश को स्कूली शिक्षा में भारी व्यवधान का सामना करना पड़ा और इस दौरान ऑनलाइन शिक्षा (केवल अभिजात वर्ग के लिए सुलभ) ने शैक्षिक प्रौद्योगिकी को प्रमुखता में ला दिया। इसने और भ्रम की स्थिति पैदा कर दी है और कक्षा में डिजिटल प्रौद्योगिकी की भूमिका को **सीटी** और प्रोग्रामिंग सिखाने के साथ मिला दिया है।

इस सबने शिक्षकों के एक बड़े हिस्से को यह विश्वास करने के लिए प्रेरित किया है कि स्कूलों में **सीटी** की शुरुआत का अर्थ है कक्षाओं में डिजिटल उपकरणों का उपयोग करना और शायद नए विषयों के रूप में "डेटा साइंस" और "आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस" के साथ कम उम्र से ही प्रोग्रामिंग को पढ़ाना।

एक वास्तविक *ख़तरा* यह है कि सम्भवत: एनईपी के माध्यम से **सीटी** का प्रचार इसके क्रियान्वयन के दौरान इस रूप में समाप्त हो : डिजिटल उपकरणों को बढ़ावा देना और कम उम्र से ही कोडिंग शिक्षण पर ज़ोर देना। यदि ऐसा हुआ तो यह वास्तव में एक ख़ेदपूर्ण परिणाम होगा।

3. सीटी क्या है?

सीमोर पेपर्ट [सन्दर्भ 4], एक अमेरिकी कम्प्यूटर वैज्ञानिक जिन्होंने सबसे पहले बच्चों के लिए कम्प्यूटर प्रोग्रामिंग गतिविधियाँ विकसित कीं, ने 1980 में 'कम्प्यूटेशनल थिंकिंग' शब्द गढ़ा। यह वाक्यांश "कम्प्यूटेशनल थिंकिंग" माइंडस्टॉर्म्स (पृष्ठ संख्या 182) में दिखाई देता है, लेकिन बिना विस्तार के। हम 1996 के उनके पेपर [सन्दर्भ 5] "एन एक्सप्लोरेशन इन दि स्पेस ऑफ़ मैथमेटिक्स एजुकेशन" में इस विचार का एक विस्तृत विवरण पाते हैं। इसमें वह *ऑब्जेक्ट बिफोर ऑपरेशन* (object before operation) का सिद्धान्त प्रदान करते हैं : गणितीय विचारों का "चीज़नुमा निरूपण" करना (प्रोग्रामों की सूक्ष्म दुनिया का उपयोग करना) उनके बारे में सोचने में मदद करता है।

जेनेट विंग, एक अन्य अमेरिकी कम्प्यूटर वैज्ञानिक, ने 2006 में इस शब्द को लोकप्रिय बनाया ([सन्दर्भ 6], [सन्दर्भ 7])। वह इसे एक "दृष्टिकोण और कौशल सेट" का नाम देती हैं जिसे हर कोई सीख सकता है और उपयोग कर सकता है। सरल शब्दों में कहें तो सीटी एक ऐसी प्रक्रिया है जो हमें एक जटिल समस्या को लेने, उसे समझने और इस तरह के सम्भावित समाधानों को विकसित करने में सक्षम बनाती है कि कम्प्यूटर या मानव, या दोनों यह समझ सकें कि उस समाधान को कैसे अमल में लाया जाए। यदि "गणितीय चिन्तन" एक गणितज्ञ की तरह सोचना है, तो विंग के लिए, "कम्प्यूटेशनल चिन्तन" एक कम्प्यूटर वैज्ञानिक की तरह सोचना है।

यहाँ जो महत्त्वपूर्ण है, वह है अन्तिम भाग : समाधानों को इस तरह से क्यों विकसित किया जाना चाहिए कि एक कम्प्यूटर उन्हें अमल में ला सके? यहाँ कम्प्यूटर से हमारा क्या मतलब है? कौन-सा कम्प्यूटर? हम उस कम्प्यूटर को कौन-सी क्षमताओं से लैस मान रहे हैं? दूसरे तरीक़े से पूछें तो, यह मानव द्वारा समाधान को अमल में लाने से कैसे अलग है?

ध्यान दिया जाना चाहिए कि यहाँ हमारा आशय विशिष्ट क्षमताओं से लैस किसी विशिष्ट कम्प्यूटर से नहीं है, बल्कि एक आदर्श कम्प्यूटर से है। यांत्रिक संगणना यानी यांत्रिक कम्प्यूटेशन (mechanical computation) का महत्त्वपूर्ण गुणधर्म यह है कि यह पुनरावृत्ति से ऊबता नहीं है या ग़लतियाँ करना नहीं शुरू कर देता है। एक कैल्कुलेटर के लिए 3 अंकों वाली पाँच संख्याओं को जोड़ने या 500 संख्याओं, जिसमें से कुछ करोड़ों और हज़ारों में हो सकती हैं, को जोड़ने में कोई अन्तर नहीं है।

यहाँ विचार करने योग्य दो मुख्य बातें हैं : डेटा का आकार और एल्गोरिदम की पुनरावृत्ति। कम्प्यूटेशन का मूलभूत गुण *स्केलिंग* (scaling) है। एक बार जब हम इस तरह की प्रक्रियाओं को तैयार कर लेते हैं, जिन्हें पर्याप्त रूप से सरल चरणों में तोड़ा जाता है, तो इन्हें ज़रूरत अनुसार बढ़ाया (scale up) जा सकता है।

विंग के अनुसार, **सीटी** की विशेषताएँ हैं : *अपघटन (decomposition)*, *पैटर्न की पहचान (pattern recognition)* *अमूर्तीकरण (abstraction)* और *एल्गोरिदम (algorithm)*।

- अपघटन हमें जटिल कार्यों को उपकार्यों में, फिर प्रत्येक उपकार्य को उप-उपकार्यों में तोड़ने आदि का मौक़ा देता है जब तक कि प्रत्येक कार्य स्पष्ट रूप से करने के लिए पर्याप्त सरल न हो जाए।
- ऐसा करते समय हम अक्सर पाते हैं कि कुछ कार्य मामूली अन्तर के साथ बार-बार सामने आते हैं, तब हम उन्हें एक ही कार्य के उदाहरण के रूप में मानते हैं– शायद परिवर्तन को समझने के एक मानक के साथ। यह पैटर्न पहचानने और अमूर्तीकरण की प्रक्रियाएँ हैं।
- एल्गोरिदम चरणबद्ध प्रक्रियाएँ हैं जो 'सर्वोत्तम सम्भव' तरीक़े से उपकार्यों को अनुक्रमित करती हैं। **सीटी** में न केवल समस्या को हल करने के लिए ऐसी कार्यप्रणाली शामिल है, बल्कि समाधानों की तुलना करने और उनका मूल्यांकन करने के तरीक़े भी शामिल हैं।

रोज़मर्रा के एक उदाहरण के रूप में, 4 व्यक्तियों के लिए रात का खाना तैयार करने पर विचार करें। इसके लिए पर्याप्त रूप से योजना बनाने की ज़रूरत है। जब तक हम एक मेन्यू तय नहीं कर लेते हैं, तब तक हम सामग्री नहीं ख़रीद सकते। हालाँकि, यह हो सकता है कि कुछ सामग्री उपलब्ध नहीं हो और इसलिए हमें मेन्यू को बदलने की आवश्यकता हो। एक बार जब हमारे पास सामग्री और रसोई के आवश्यक उपकरण हो जाएँ और तब अगर हमारे पास खाना पकाने वाले दो व्यक्ति हैं, तो हम तय करते हैं कि एक-दूसरे का इन्तज़ार किए बिना कौन-से काम किस क्रम में किए जाने हैं। कुछ कार्यों को निश्चित रूप से दूसरों की तुलना में पहले करना होगा।

खाना पकाने की विधि स्पष्ट होनी चाहिए और इसका ध्यानपूर्वक पालन किया जाना चाहिए। शुरुआत से ही सुरक्षा का ध्यान रखा जाना चाहिए और सुरक्षा और स्वाद दोनों के लिए कुछ "रनटाइम चेक" किए जाने चाहिए। यदि इस सबके अन्त में, आपको लगता है कि आपके पास 4 व्यक्तियों का खाना बनाने के लिए एक विश्वसनीय प्रक्रिया है, तो विचार करें कि 20

व्यक्तियों के खाने के लिए और 100 मेहमानों के लिए (एक शादी में) इसे कैसे बढ़ाया जा सकता है। इसके अलावा, एक ही मेन्यू के लिए या विभिन्न मेन्यू के लिए किसी अन्य व्यक्ति की विधियों के साथ इस प्रक्रिया की तुलना करें। इन सभी में शामिल प्रक्रियाएँ **सीटी** को दर्शाती हैं।

यह उदाहरण दर्शाता है कि कम्प्यूटेशनल चिन्तन रोज़मर्रा के सन्दर्भों में प्रासंगिक है। यहाँ "कम्प्यूटर" की धारणा अमूर्त है और किसी भी विशेष मशीन की ओर इशारा नहीं करती है। इसी तरह, खाना बनाने की विधि किसी प्रोग्रामिंग भाषा में लिखा गया प्रोग्राम नहीं है, लेकिन यह सम्प्रेषण के उद्देश्य को पूरा करता है। वास्तव में **सीटी** के इस दृष्टिकोण को इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों की आवश्यकता बिलकुल भी नहीं है और हम *कम्प्यूटर विज्ञान "अनप्लग करने की"* की बात कर सकते हैं! [सन्दर्भ 1]

इस प्रकार कम्प्यूटेशनल चिन्तन का केन्द्रीय तत्व **प्रक्रियाओं के बारे में तर्क करना** है। कई एल्गोरिदम और प्रक्रियाओं को जानना या विशिष्ट कोड लिखना, प्रक्रियाओं और एल्गोरिदम को डिज़ाइन करने में सक्षम होने, उनके कार्य करने के तरीक़ों के बारे में तर्क करने, उनके प्रदर्शन का आकलन करने, वैकल्पिक तरीक़ों की पड़ताल करने और उनकी तुलना करने में सक्षम होने से कम महत्त्वपूर्ण है। डेटा संरचनाओं (data structure) की परिभाषाओं को जानना यह समझने से कम महत्त्वपूर्ण है कि डेटा को कई तरीक़ों से कैसे व्यवस्थित कर सकते हैं, यह उन प्रक्रियाओं को कैसे प्रभावित करता है जो इनका उपयोग करती हैं और कौन-सा व्यवस्थापन किस आवश्यकता के अनुरूप है।

इस दृष्टिकोण से, कम्प्यूटेशन का फोकस कम्प्यूटिंग उपकरणों के बजाय ऐसी सोच को विकसित करना माना जाता है जिसमें कम्प्यूटेशन शैक्षिक लक्ष्य का *आधार* बन जाता है। इस तरह के चिन्तन से विद्यार्थियों को डेटा को व्यवस्थित करने, स्केलिंग, प्रक्रियाओं का आकलन करने व उनकी तुलना करने, पुनरावृत्ति और मॉड्यूलर अमूर्तीकरण को समझने में मदद मिलती है, फिर चाहे समाधान कम्प्यूटर द्वारा माँगे जाएँ या कम्प्यूटिंग प्लेटफार्मों पर कार्यान्वित किए जाएँ। इसका एक उदाहरण होगा पूर्णांकों के गुणन या भाग के लिए कई प्रक्रियाओं का ज्ञान होना और यह समझना कि किस समय किस विधि का उपयोग करना सबसे बेहतर रहेगा।

जब हम एक बच्चे को 53 + 28 + 47 जोड़ने के लिए कहते हैं, तो बाएँ से दाएँ (या ऊपर से नीचे, संख्याओं को ऊर्ध्वाधर रूप से रखकर जोड़ना, जैसा कि बच्चे अक्सर करते हैं) जोड़ना बिलकुल ठीक है। लेकिन यह कम्प्यूटेशनल सहज ज्ञान है जो हमें (53 + 47) को पहले जोड़कर फिर इसमें 28 को जोड़ने का सुझाव देता है। इससे हमें न केवल जल्दी समाधान मिलता है, बल्कि यह अधिक सुविधाजनक है क्योंकि हम दशमलव प्रणाली के साथ काम करने के अभ्यस्त हैं और 10 के गुणज हमारे लिए महत्त्वपूर्ण हैं। बतौर "कम्प्यूटर" यह पुनर्व्यवस्थापन (reformulation) हमारे लिए आसान है। योग का क्रमचयी गुणधर्म हमें ऐसा करने की अनुमति देता है और यह गणितीय समझ ही इस तरह के कम्प्यूटेशनल चिन्तन का आधार है।

इस बात को विस्तार से बताने के जोखिम पर, इस समीकरण को हल करने पर विचार करें : $2(x+1) + 3(x+1) = 10$। एक बार फिर बतौर मानक तकनीक कोष्ठक खोलकर विस्तार करने, x वाले समान पदों को बाईं ओर एवं अन्य पदों को दाईं ओर रखने, और फिर विभाजित करने में कोई नुकसान नहीं है। हालाँकि, बीजगणितीय कम्प्यूटेशन हमें बताता है कि समीकरण को $5(x+1) = 10$ के रूप में फिर से लिखा जा सकता है, जो कि हमें तुरन्त समाधान देता है। एक बार फिर, यह समीकरण को जल्दी हल करने के बारे में नहीं है, बल्कि सुविधा के बारे में है : यहाँ हम कम्प्यूटिंग कर रहे हैं; इसलिए हम कम्प्यूटिंग के विभिन्न तरीक़ों पर विचार करते हैं और चुनते हैं कि कौन-सा तरीक़ा हमारे लिए सबसे बेहतर है।

इस तरह के प्रश्न पर विचार करें : $2x^2-50$ या x^2+100 में से किसका मान तेज़ी-से बढ़ता है? यह जानकारी कि जैसे-जैसे x का मान बढ़ता है एक अचर राशि को जोड़ने या घटाने से कोई फ़र्क़ नहीं पड़ता है, मूलत: कम्प्यूटेशनल सहज ज्ञान है। साथ ही यह तथ्य भी कि फलन $2x^2$ का मान हमेशा x^2 से ज़्यादा होता है। इस तरह के सहज ज्ञान में अन्तर्निहित गणितीय औचित्य को अवकलजों (derivatives) का कम्प्यूटेशन करके और उनकी तुलना करके प्रदान किया जा सकता है।

यहाँ जिस बात पर ज़ोर दिया जा रहा है, वह यह है कि कम्प्यूटेशनल चिन्तन में न केवल प्रक्रियाओं को ईजाद करना और डेटा को उचित रूप से (पुन:)व्यवस्थित करना शामिल है, बल्कि कुछ मापदण्डों के अनुसार स्पष्ट रूप से व्यक्त वैकल्पिक प्रक्रियाओं पर विचार करना और उनमें से "सर्वश्रेष्ठ" को चुनना भी शामिल है। तभी **प्रक्रियाओं के बारे में तर्क** केन्द्रीय महत्त्व ग्रहण करता है।

जबकि पूर्वगामी को **सीटी** के मूल अर्थ के रूप में व्यक्त किया जा सकता है, फिर भी कम्प्यूटर के उपयोग से सम्बन्धित इसके सतही अर्थ की भी प्रासंगिकता है। **सीटी** शिक्षा के यह उद्देश्य कम्प्यूटिंग प्लेटफार्मों, उपकरणों और यंत्रों के उपयोग से सम्बन्धित हैं। यह उद्देश्य विद्यार्थियों को न केवल इनके उपयोग में महारत हासिल करने में मदद करते हैं बल्कि उनमें ऐसे शैक्षिक सन्दर्भों की पहचान करने और उपयोग करने के लिए विशिष्ट ढंग से सोचने की प्रवृत्ति उत्पन्न करते हैं जिनमें कम्प्यूटेशन का उपयोग मदद कर सकता है और तदनुसार कम्प्यूटेशन को इस्तेमाल कर सकता है। इस बात का एक उदाहरण किसी सम्भावित प्रस्ताव (जैसे जन्मदिन वाले सवाल - The birthday problem [1]में) की जाँच करने के लिए कुछ बंटन (distribution) के अनुसार डेटा उत्पन्न करना होगा या न्यूटन के नियमों के अनुसार एक गेंद के प्रक्षेपवक्र (trajectory) की प्लॉटिंग करना होगा। मुख्यत: "समय की बाध्यता" हमें इन उद्देश्यों की ओर ले जाती है : चूँकि ऐसे उपकरण प्रचलित हैं और उपयोग करने में आसान हैं। शिक्षकों को इनके "सही" व सुरक्षित उपयोग और शैक्षिक प्रथाओं को समृद्ध करने के ऐसे अवसरों के उपयोग को ख़ुद-ब-ख़ुद शामिल करना चाहिए। यदि आपको लगता है कि हम शिक्षण में ऐसे डिजिटल उपकरणों के उपयोग पर ज़ोर कम दे रहे हैं, तो ऐसा नहीं है कि हम उन्हें **सीटी** के

[1] The birthday problem प्रायिकता का एक मशहूर पज़ल है।

लिए कम महत्त्वपूर्ण या अप्रासंगिक मानते हैं। **सीटी** के पूरी तरह से डिजिटल उपकरणों के उपयोग तक सीमित रह जाने (जो अभी केवल काल्पनिक नहीं लगता है) के ख़तरे का विरोध करने के लिए हमने प्रक्रियाओं के बारे में तर्क करने पर ज़ोर दिया है, जो कि **सीटी** का मूल अर्थ है।

4. पाठ्यचर्या घटक

स्कूली शिक्षा के लिए **सीटी** की यह समझ क्या मायने रखती है? स्कूल में **सीटी** पढ़ाने में निम्नलिखित घटक शामिल होंगे। यह न केवल अपने आप में **सीटी** शिक्षा से सम्बन्धित हैं, बल्कि **सीटी** द्वारा प्रदान किए गए शैक्षिक अवसरों को भी बढ़ाते हैं। (यह मानना होगा कि यह पूरी तरह से स्वतंत्र घटक नहीं हैं और इनमें आपस में कुछ ओवरलैप हैं।)

i. **स्केलिंग :** प्रासंगिक मापदण्डों की गिनती व व्यवस्थित सूची और यह जाँचना कि सभी को गिना गया है योज्यात्मक तर्क (additive reasoning) से गुणनात्मक तर्क (multiplicative reasoning) की ओर बढ़ने के लिए आवश्यक है। यह फलन परिवर्तन (functional variation) और गणना के लिए सममितियों के उपयोग का मार्ग भी प्रशस्त करता है। छोटे परिमाणों की स्केलिंग करके बड़े परिमाणों को समझना जटिलता को प्रबन्धित करने का एक अच्छा तरीक़ा है।

ii. **दोहराव :** पैटर्नों की तलाश करना, पैटर्नों के निर्माण और संशोधन के तंत्र ढूँढ़ना और नए पैटर्नों को देख पाना यह सब न केवल सुखद प्रक्रियाएँ हैं, बल्कि सौन्दर्यशास्त्र और औपचारिक तर्क के बीच एक जुड़ाव भी बनाती हैं। सरल नियमों को दोहराने की शक्ति को समझना न केवल कम्प्यूटेशन के लिए, बल्कि सिस्टम की गतिशीलता (system dynamics) को समझने के लिए भी आधार बनाता है।

iii. **डेटा व्यवस्थापन :** "डेटा हैंडलिंग" शब्द स्कूली शिक्षा के लिए जाना-पहचाना है, लेकिन यह केवल डेटा के आलेखीय चित्रण (graphical depiction) और संख्यात्मक सारांश (numerical summary) की कम्प्यूटिंग के रूप में समाप्त होता है। हालाँकि डेटा को कई तरीक़ों से दर्शाया जा सकता है और कब कौन-सा तरीक़ा चुनना है यह डेटा के उपयोग पर निर्भर करता है। इसके अलावा, डेटा के भण्डारण और पुनर्प्राप्ति के लिए मेमोरी संरचनाओं की आवश्यकता होती है। इस तरह का डेटा व्यवस्थापन डिज़ाइन करना स्केलिंग और पुनरावर्ती डेटा एक्सेस की समझ के साथ व्यवस्थित रूप से जुड़ा है।

iv. **मॉडलिंग :** वास्तविक जीवन की स्थितियों से समस्याओं की असतत मॉडलिंग (discrete modelling) स्कूलों में काफ़ी हद तक अपरिचित क्षेत्र है। सूचियाँ, फैमिली ट्री, नक्शे, आलेख, जाली और नेटवर्क जैसी असतत संरचनाएँ आसानी से बन जाती हैं और कम्प्यूटिंग के लिए अमूर्त समस्या स्थान प्रदान करती हैं। शुरुआत से ही इस तरह की संरचनाओं के ठोस निरूपणों के साथ काम करने से मानसिक मॉडल

बन जाते हैं और बाद में ऐसे मॉडलों की सहायता से कम्प्यूटेशनल अमूर्तीकरण में मदद मिल सकती है।

v. **एल्गोरिदम :** अंकगणित की बात करें तो दो अंकों के जोड़ से शुरू करते हुए स्कूली शिक्षा बच्चों को सीखने के लिए विभिन्न प्रकार की प्रक्रियाएँ प्रदान करती है–इतनी अधिक कि गणित या विज्ञान-शिक्षा अक्सर विशिष्ट संख्यात्मक डेटा पर लागू की जाने वाली पूर्व-निर्धारित प्रक्रियाओं को याद करने में ही बदल जाती है। एल्गोरिदम को समझने की दृष्टि से उनका *अनुसरण करना* निस्सन्देह लाभप्रद है, लेकिन प्रक्रियाओं को *विकसित करना* कम्प्यूटेशनल चिन्तन का मूल है। इसके लिए एक ऐसी सुविधा की आवश्यकता है जिसमें प्रक्रियाएँ, उनके बारे में तर्क, प्रक्रियात्मक विकल्पों पर विचार करना और एक स्पष्ट तर्क के आधार पर उनमें से चयन करना शामिल हो।

vi. **प्रोग्रामिंग :** दी गई समस्याओं को हल करने के लिए निर्दिष्ट प्लेटफार्मों पर डेटा व्यवस्थापन और एल्गोरिदम का ठोस कार्यान्वयन एक आवश्यक कौशल है। प्रोग्राम संरचना के भाव के साथ कोडिंग एक रोमांचकारी अनुभव हो सकता है, जबकि किसी दी गई औपचारिक भाषा में अनौपचारिक कम्प्यूटिंग के अनुवाद के रूप में कोडिंग एक कठिन अनुभव हो सकता है। इसलिए अन्ततः प्रवाह प्राप्त करने के लिए शुरुआत से ही प्रोग्रामिंग के लिए एक अच्छी मनःस्थिति बनाना आवश्यक है।

vii. **उपकरण :** कम्प्यूटर, स्मार्टफ़ोन और अन्य उपकरण कम्प्यूटेशन के लिए प्लेटफॉर्म और साधन प्रदान करते हैं। बच्चों को इन उपकरणों का उद्देश्यपूर्ण उपयोग सीखने और उन पर महारत हासिल करने की ज़रूरत है। साथ ही बच्चों के शारीरिक, भावनात्मक और बौद्धिक विकास के कारण इस तरह के उपयोग से उत्पन्न होने वाली कुछ चुनौतियों पर भी ध्यानपूर्वक विचार करने की आवश्यकता है। घोर आर्थिक असमानताओं वाले देश में ऐसे उपकरणों और प्लेटफार्मों तक पहुँच को हल्के में नहीं लिया जा सकता है। इसलिए इस सन्दर्भ में मार्गदर्शक सिद्धान्त है आवश्यकता के आधार पर सुरक्षित और सूक्ष्म उपयोग होना चाहिए।

viii. **सामाजिक जुड़ाव : सीटी** कई सामाजिक संरचनाओं, उनके संचार सम्बन्धी बुनियादी ढाँचों, पहचान निर्माण आदि को देखने के लिए एक अनूठा अवसर प्रदान करता है। इस प्रकार गणितीय औपचारिकता और समाज के बीच नए सम्बन्धों को गढ़ता है। अब, जबकि भले ही बच्चे सोशल मीडिया में तल्लीन रहते हैं और समानान्तर जीवन जीते हैं, तो भी उनकी शैक्षिक क्षमता काफ़ी हद तक अनदेखी रह जाती है। महत्त्वपूर्ण बात यह है कि विद्यार्थी समुदाय द्वारा भाषायी, क्षेत्रीय और अन्य बाधाओं को तोड़ने, डेटा निर्माण और एल्गोरिदम डिज़ाइन पर एक साथ काम करने की सम्भावनाओं को ध्यानपूर्वक जाँचने की आवश्यकता है।

ix. **सिमुलेशन और विज़ुअलाइज़ेशन :** फलनों के ग्रॉफ बनाना सीखना शायद स्कूल में **सीटी** का सबसे पुराना उपयोग रहा है। हालाँकि, जब बच्चे एक बार विज़ुअलाइज़ेशन और सिमुलेशन टूल के कम्प्यूटेशनल आधार को समझ लेते हैं तो, यह टूल विविध विषयों में पड़ताल के उनके क्षितिज का विस्तार कर सकते हैं। (अणुओं में परमाणुओं की बन्ध संरचना के साथ काम करते विद्यार्थियों पर विचार करें।)

इन सभी घटकों को पूरी पाठ्यचर्या में या सभी स्तरों पर समान महत्त्व नहीं दिया जाएगा। यह पाठ्यक्रम निर्माताओं का कार्य है कि वे प्रत्येक स्तर पर प्रत्येक घटक को प्रदान किए गए महत्त्व के बारे में बताएँ।

5. उदाहरण

मौजूदा स्कूली पाठ्यचर्या में सभी स्तरों पर **सीटी** के लिए शैक्षिक अवसर पहले से ही बड़ी संख्या में मौजूद हैं। स्कूली शिक्षा के प्राथमिक और उच्च प्राथमिक स्तर पर इस तरह के अवसर मुख्यत: गणित-शिक्षा में पाए जाते हैं। माध्यमिक स्तर पर ऐसे अवसर अध्ययन के सभी विषयों में अधिक विस्तृत रेंज में पाए जाते हैं।

हम क्रमान्तरण (reordering) और पुनर्समूहन (regrouping) की उन तकनीकों का पहले ही उल्लेख कर चुके हैं, जो अक्सर "मानसिक गणित" शीर्षक के दायरे के अन्दर आती हैं। इसमें गिनती की प्रक्रियाओं के बारे में तर्क करने के लिए भी कई अवसर हैं। उदाहरण के लिए, आप एक हॉल में हैं जहाँ पर बहुत-से लोगों (100 और 150 के बीच) की उपस्थिति में एक शादी हो रही है। आप वास्तव में यह कैसे पता करेंगे कि वहाँ कुल कितने लोग हैं? कैसे पता करेंगे कि आपने उन सभी को गिना है? आप यह कैसे जाँच पाएँगे कि आपका उत्तर सही है या नहीं?

छोटे बच्चों को चुनौती प्रदान करने के लिए 20 बीजों को गिनने के लिए कहना पर्याप्त है। चुपचाप गिनना बोल-बोलकर गिनने से अलग है, लेकिन क्यों? हम आसान-सा डेटा व्यवस्थापन देकर गुच्छे बनाने (bunching) और समूह बनाने (grouping) की क्रिया भी देख सकते हैं। जब हम बच्चे को उनमें से 15 को अलग करने के लिए कहते हैं, तो हम देख सकते हैं कि क्या उसे फिर से शुरुआत से शुरू करने की आवश्यकता है।

इस प्रश्न पर विचार करें : धनात्मक पूर्णांकों के कितने जोड़ों का योगफल 17 तक होता है? निश्चित रूप से इस तरह के जोड़ों को सूचीबद्ध करने के कई तरीक़े हैं, लेकिन तर्क की इस प्रक्रिया में सूची बनाने की किसी प्रणाली का उपयोग करना शामिल है ताकि यह सुनिश्चित किया जा सके कि सभी जोड़े गिने जाते हैं, और प्रत्येक जोड़ी को केवल एक बार गिना जाता है। जब प्राथमिक स्कूल का कोई बच्चा किसी दी गई संख्या में 10, 100 आदि को जोड़ने का एक 'त्वरित' तरीक़ा प्रस्तुत करता है और यह जानता है कि यह तरीक़ा केवल इन संख्याओं के लिए विशिष्ट है, तो वह इस सन्दर्भ में **सीटी** का इस्तेमाल कर रहा होता है। एक नक्शे पर दो स्थानों के बीच कई "उचित" मार्गों को ढूँढ़ना, या अक्षरों की विभिन्न व्यवस्थाओं पर विचार करना, या विभिन्न रंगों के मोतियों से सौन्दर्यपरक रोचक पैटर्न बनाना, **सीटी** के लिए भी उत्कृष्ट अभ्यास हो सकते हैं।

इसमें डेटा निरूपण के लिए भी कई अवसर हैं। मान लीजिए कि महाराष्ट्र के एक गाँव में 61 परिवार मराठी बोलते हैं, 13 कन्नड़ बोलते हैं, 12 केवल हिन्दी बोलते हैं, 8 तमिल हैं, 5 गुजराती हैं और एक अकेला बंगाली परिवार है। इसके लिए एक तालिका बनाना निश्चित रूप से पर्याप्त होगा। लेकिन मान लीजिए कि हम प्रत्येक परिवार के लिए एक झण्डे का उपयोग करते हैं, जहाँ एक रंग एक भाषायी समूह का प्रतिनिधित्व करता है। तब हम इस जानकारी को कैसे दर्शाएँगे? झण्डे को 10×10 की तालिका में भी आयोजित किया जा सकता है, लेकिन रंगों का एक अव्यवस्थित वितरण मदद नहीं करता है। एक बार जब हम ग्रिड में रंगों को एक साथ समूहीकृत कर लेते हैं, तो अचानक से हमें न केवल एक समूह की संख्या के बारे में, बल्कि गाँव में समूहों के सापेक्ष आकार के बारे में भी बहुत सारी दृश्य जानकारी मिलती है। इसके बाद आयत चित्र (histogram) प्रस्तुत करना इस संरचना को और स्पष्ट करता है। यहाँ पर मुख्य बात सवालों के संख्यात्मक जवाब देने के लिए आयत चित्र का उपयोग करना नहीं है, बल्कि डेटा निरूपण के वैकल्पिक तरीक़ों पर विचार करते हुए उस तरीक़े पर पहुँचना है जो कि प्रश्नों के उत्तर देने के लिए सबसे अधिक उपयुक्त है। यही बात कम्प्यूटेशनल चिन्तन में डेटा संरचना का केन्द्र है और विद्यार्थियों को *कोड* (और त्रुटि सुधार) जैसी अद्भुत रचनात्मक धारणाओं के लिए तैयार करती है, जिनसे उनका परिचय बाद में हो सकता है।

सीटी के लिए आवश्यक दोहराव अन्वेषण के लिए एक उत्कृष्ट उपकरण प्रदान करता है। एक वर्ग के साथ शुरू करने पर विचार करें। मध्य-बिन्दुओं को आपस में जोड़ें। एक नया आकार बनता है, इस प्रक्रिया को दोहराएँ। यह सरल तरीक़ा आपको सुन्दर आकृतियों की ओर ले जाता है। जब विद्यार्थी यह जान जाता है कि यह प्रक्रिया अमूर्त है और किसी भी बहुभुज आकृति पर "इनपुट" के रूप में इसे लागू किया जा सकता है, तो यह **सीटी** के अनुसरण की शुरुआत होती है। तब हम टैसीलेशन, कोलम (या रंगोली) और फ्रेक्टल को दोहराव की प्रक्रिया द्वारा पैटर्न बनाने, उनकी विविधताओं के बारे में तर्क करने और इस तरह की समझ को औपचारिक रूप से सम्प्रेषित करने के अवसरों के रूप में देखना शुरू कर सकते हैं। फिर हम सीनियर स्कूल में समय के साथ भौतिक, जैविक और आर्थिक प्रणालियों में आए परिवर्तनों का वर्णन कर सकते हैं, जो दोहराए जाने वाले सरल समीकरणों द्वारा मॉडल किए जाते हैं और इन मॉडलों का उपयोग ऐसी प्रणालियों के दीर्घकालिक व्यवहार की भविष्यवाणी करने के लिए कर सकते हैं।

6. गणित-शिक्षा और सीटी

एक स्वाभाविक प्रश्न जो उत्पन्न होता है वह यह है कि क्या कम्प्यूटेशनल चिन्तन वास्तव में गणितीय चिन्तन से अलग है। वास्तव में, यह प्रश्न दार्शनिकों द्वारा सम्बोधित किए जाने वाले मूलभूत विचार से सम्बन्धित है, आप इसे स्कूली शिक्षा के सन्दर्भ में सीमित कर सकते हैं और यह दावा कर सकते हैं कि यह शैक्षणिक दृष्टि से दोनों को सार्थक रूप से अलग करने में मदद करता है।

इससे पहले कि हम इसे विस्तार से समझाएँ, थोड़े समय के लिए विश्वविद्यालय के गणित पर विचार करना उपयोगी है। वास्तविक विश्लेषण (Real analysis) में ऐसे उदाहरण प्रचुर मात्रा में मिलते हैं जो गणितीय चिन्तन और **सीटी** को अलग करते हैं। बोल्ज़ानो का प्रमेय (Bolzano's theorum) एक अन्तराल में एक मूल के अस्तित्व का दावा करता है जब एक सतत फलन (continuous function) में उस अन्तराल में विपरीत चिह्न के मान होते हैं। क्रमिक सन्निकटन की न्यूटन-रैप्सन विधि (Newton - Raphson method) मूल खोजने के लिए एक कम्प्यूटेशनल विधि प्रदान करती है। ब्रोवर फिक्स्ड पॉइंट प्रमेय (Brouwer fixed point theorem) का दावा है कि किसी भी सतत फलन f के लिए एक कॉम्पेक्ट उत्तल सेट को अपने आप में मैप करने पर एक बिन्दु x इस प्रकार होता है कि $f(x) = x$। इस तरह के एक नियत बिन्दु की गणना एक चुनौती है और हमें एक सामान्य एल्गोरिदम के हाल ही में तैयार होने तक इन्तज़ार करना पड़ा। गणितीय कथनों और प्रमाणों की एल्गोरिदम (या रचनात्मक) सामग्री को निकालना एक बहुत ही दिलचस्प चुनौती है।

हम मानते हैं कि प्राथमिक विद्यालय के स्तर पर **सीटी** से गणित को अलग करना विशेष रूप से उपयोगी नहीं है, लेकिन गणित-कक्षा के भीतर **सीटी** के लिए अवसरों को उजागर करना प्रासंगिक है जैसा कि हमने ऊपर किया था। माध्यमिक स्तर पर इन दोनों को अलग करना उपयोगी हो जाता है। उदाहरण के लिए, n अज्ञात राशि वाले n रैखिक समीकरणों (पूर्णांक गुणांक के साथ) के एक निकाय (system) को हल करने पर विचार करें। हम ऐसा करने के लिए एक एल्गोरिदम सीख सकते हैं, जिसका नाम गाउस की विलोपन विधि (Gaussian elimination) है। फिर भी जब दिए गए निकाय का कोई हल न हो या एक से ज़्यादा हल हों तो हमें कुछ सहज-ज्ञान विकसित करने की ज़रूरत होती है। दरअसल, बाद वाली स्थिति में, हम यह पूछ सकते हैं कि क्या निकाय के अनन्त रूप से कई हल होने चाहिए। एक और प्रश्न मध्यवर्ती चरणों में उत्पन्न होने वाली परिमेय संख्याओं से सम्बन्धित है। क्या आगे काम करते हुए हमें उन्हें परिमेय संख्याओं के रूप में बनाए रखना चाहिए और परिमेय अंकगणित के साथ काम करना चाहिए, या उन्हें उनके दशमलव रूप में परिवर्तित करना चाहिए? क्या इससे कोई फ़र्क़ पड़ता है? समीकरणों के निकाय के लिए मैट्रिक्स प्रस्तुतिकरण का उपयोग करके हम क्या हासिल करते हैं? इस तरह के सवालों को उठाना और उनका जवाब देना **सीटी** के लिए आवश्यक है।

स्कूल में न केवल गणित-शिक्षा के लिए, बल्कि विज्ञान और अन्य विषयों के लिए भी **सीटी** की प्रासंगिकता है। डेटा को प्रमुखता देना, डेटा को गुणात्मक और मात्रात्मक रूप से समझना और डेटा की व्याख्या करना न केवल विज्ञान के लिए बल्कि भूगोल के लिए भी आवश्यक कौशल हैं। हालाँकि इस बात को कम महत्त्व दिया जाता है, पर यह कौशल इतिहास के लिए भी ज़रूरी है। ललित कला **सीटी** के लिए कई रचनात्मक अवसर प्रदान करती है और इसके विपरीत **सीटी** ग्राफिक आर्ट्स के साथ-साथ संगीत और नृत्य में भी शैक्षिक सन्दर्भों को बढ़ा सकती है।

7. सवालों को फिर से देखना

हालाँकि हमने चर्चा की है कि **सीटी** का क्या अर्थ है और यह स्कूली शिक्षा को कैसे समृद्ध कर सकती है, पर हमने इस सवाल का जवाब नहीं दिया है कि हमें ऐसा *क्यों* करना चाहिए। एक बात तो स्पष्ट है। ऑनलाइन शिक्षा और कक्षाओं में डिजिटल प्रौद्योगिकी के उपयोग की वकालत जिन आधारों पर की जाती है, वह उनसे काफ़ी अलग हैं जिनकी चर्चा हम यहाँ कर रहे हैं। हमारे कारण अलग हैं।

- *आलोचनात्मक चिन्तन* (critical thinking) विकसित करना शिक्षा का एक प्रमुख उद्देश्य है और एल्गोरिदम पर एक आलोचनात्मक दृष्टिकोण इक्कीसवीं सदी की आवश्यकता है। एल्गोरिदम तेज़ी-से हमारा जीवन चलाती है और एल्गोरिदम द्वारा डेटा कैसे बनाया और संसाधित किया जाता है इसकी परिपक्व समझ विकसित करने के लिए इस मूलभूत ज्ञान का होना आवश्यक है कि एल्गोरिदम कैसे काम करती है। इन प्रक्रियाओं पर महारत स्कूल के वर्षों में धीरे-धीरे विकसित होती है।

- शिक्षार्थी में *स्वायत्तता* विकसित करना शिक्षा का एक और महत्त्वपूर्ण उद्देश्य है। और कम्प्यूटिंग शिक्षार्थी को दुनिया को समझने के टूलकिट के लिए एक नया शक्तिशाली उपकरण प्रदान करती है। यह नया उपकरण न केवल बहुमुखी है, बल्कि यह उन क्षमताओं को भी शामिल करता है जो अभी तक स्कूल में अज्ञात हैं।

- *संसाधनों के बारे में चेतना* (*resource consciousness*) आधुनिक जीवन की एक महत्त्वपूर्ण आवश्यकता है। और जबकि यह एक पारिस्थितिक अनिवार्यता है, इस तरह की चेतना को स्थापित करने के लिए पारिस्थितिक रूप से संवेदनशील तरीक़ों से प्रयास करने की आवश्यकता है। औपचारिक चिन्तन (formal thinking) को भी इसी तर्ज पर पोषित किया जाना ज़रूरी है। कम्प्यूटिंग विज्ञान संसाधनों के उपयोग की स्केलिंग और जटिलता के प्रति संवेदनशीलता लाकर ऐसा ही एक नया अवसर प्रदान करता है।

- शिक्षा सामाजिक विकास में भागीदारी करने और विकास के मार्ग को निर्देशित करने के लिए नागरिकों को तैयार करने में *आधुनिक लोकतंत्र* की भावना को मूर्त रूप देती है। समकालीन दुनिया में नागरिकों द्वारा *डेटा*– वो सभी डेटा जिसमें वह शामिल है और वो सभी डेटा जो उसके कल्याण का निर्धारक है –*पर लोकतांत्रिक नियंत्रण* प्राप्त किए बिना ऐसा करना असम्भव है। इसलिए डेटा और लोकतंत्र के बीच के सम्बन्धों के बारे में नागरिकों को शिक्षित करना इस पाठ्यचर्या की एक अनिवार्यता है।

इस प्रकार देखा जाए तो स्कूल में **सीटी** शिक्षा का उद्देश्य स्वायत्तता और सशक्तिकरण के लिए कम्प्यूटेशन द्वारा लाई गई ज़बरदस्त नई क्षमता का उपयोग करना है। साथ ही डेटा और एल्गोरिदम पर एक आलोचनात्मक दृष्टिकोण विकसित करना और बढ़ाने (scale up) के अभ्यास के रूप में संसाधन उपयोग के प्रति संवेदनशीलता विकसित करना भी इसका उद्देश्य है।

यह उद्देश्यों के व्यापक कथन हैं। स्कूल में किस उम्र में क्या सीखना चाहिए इसका सबसे उपयुक्त निर्णय बच्चों के सीखने के मनोविज्ञान पर शोध के आधार पर लिया जाता है, न कि प्रौद्योगिकीय उपकरणों की उपलब्धता से। वास्तव में, डिजिटल प्रौद्योगिकी अपनी चकाचौंध

वाली अभिव्यक्ति में मोहक हो सकती है। हमें इस बात को लेकर सर्तक रहने की ज़रूरत है कि बच्चे उपकरणों के गुलाम न बन जाएँ। इस तरह के विचार फिर से सुझाव देते हैं और जैसा कि हमने चर्चा भी की है कि प्रौद्योगिकी-आधारित **सीटी** की समझ की तुलना में **सीटी** और गणित-शिक्षा के बीच सम्बन्ध **सीटी** के लिए अधिक सुरक्षित और सार्थक अवसर प्रदान करता है।

अन्त में एनईपी चाहे जो भी वकालत करे और चाहे जैसे भी इसका क्रियान्वयन किया जाए, हमें यह पूछने की आवश्यकता है कि क्या हमारे पास शिक्षा-प्रणाली में सभी स्तरों पर **सीटी** का परिचय कराने की क्षमता है। शिक्षण समुदाय, विशेष रूप से गणित में, ऐसी सम्भावनाओं को लेकर जागरूक है और उन्हें शैक्षणिक संसाधनों के रूप में मदद की आवश्यकता है। *एसीएम इंडिया* की एक स्वैच्छिक पहल **सीएसपाठशाला**, जो स्कूलों के लिए एक पूर्ण **सीटी** पाठ्यचर्या [सन्दर्भ 2] प्रदान करती है और देश में लगभग एक हज़ार स्कूलों तक पहुँचती है, का अनुभव एक मज़बूत नींव प्रदान करता है जिसमें से भविष्य में कई पहलें शुरू हो सकती हैं। हम यहाँ इस बात पर ध्यान दिलाना चाहते हैं कि इस लेख में **सीटी** के बारे में प्रस्तुत अन्तर्दृष्टि काफ़ी हद तक *सीएसपाठशाला* के अनुभव से उपजी है।

तमिलनाडु राज्य बोर्ड की 2019 की गणित की पाठ्यपुस्तकों में **सीटी** पाठ्यचर्या के तत्वों को शामिल करने वाला एक *सूचना प्रसंस्करण* (information processing) ट्रैक शामिल है। शिक्षकों से इस पहल के लिए बड़े पैमाने पर प्राप्त सकारात्मक प्रतिक्रिया फिर से उम्मीद जगाती है।

References

[1] Bell, T., Alexander, J., Freeman, I., and Grimley, M. *Computer science unplugged: School students doing real computing without computers*. The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology, 13(1), 20–29, 2009.

[2] The CSPathshala curriculum, https://cspathshala.org/curriculum/

[3] Denning, Peter J. “The science in computer science.” *Communications of the ACM*, 56(5), 35–38, 2013.

[4] Papert, Seymour. *Mindstorms: Children, computers and powerful ideas*. New York, NY: Basic Books, 1980.

[5] Papert, Seymour. “An Exploration in the space of mathematics educations,” *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, Vol. 1, No. 1, pp. 95-123.

[6] Wing, Jeannette, “Computational thinking.” *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35, March 2006.

[7] Wing, Jeannette, “Computational thinking and thinking about computing.” *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366 (1881), 3717–3725, 2008.

आर रामानुजम गणितीय विज्ञान संस्थान, चेन्नई में गणितीय तर्क और सैद्धान्तिक कम्प्यूटर विज्ञान (mathematical logic and theoretical computer science) में शोध कर रहे हैं। वह तमिलनाडु विज्ञान मंच से जुड़े हुए हैं और विज्ञान एवं गणित के लोकप्रियकरण और शिक्षा में

सक्रिय रुचि रखते हैं। उन्हें विज्ञान को लोकप्रिय बनाने के प्रयास के लिए वर्ष 2020, इन्दिरा गाँधी पुरस्कार से सम्मानित किया गया था। उनसे jam@imsc.res.in पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : निदेश सोनी **पुनरीक्षण एवं कॉपी-एडीटिंग :** कविता तिवारी
सम्पादन : राजेश उत्साही