जटिलता की व्याख्या

#जटिलता-व्याख्यायित
#ComplexityExplained

विषय सूचि

1 क्रियाएँ 4

2 सृजन 6

3 गतिकी 8

4 स्वयं संगठित 10

5 अनुकूलन 12

6 अंतर विषयता 14

7 पद्धतियाँ 16

जटिलता की व्याख्या

“कार्बन अणु में कोई प्यार नहीं होता, पानी के कण में कोई झंझावत (तूफ़ान) नहीं होता, डॉलर के बिल में कोई आर्थिक मंदी नहीं होती”

-पीटर डाड्ज़
(Peter Dodds)

जटिल विज्ञान, जिसे जटिल प्रणाली का विज्ञान भी कहा जाता है, अध्ययन करता है कि कैसे वे पुर्ज़े या विभाग जो एक दूसरे से सूक्ष्म स्तर पर प्रतिक्रिया करते हैं, उनका विशाल संग्रह, अनायास ही स्वयं संगठित हो के दिलचस्प ग्लोबल ढाँचे और व्यवहार का प्रदर्शन करते हैं, और वो भी बिना किसी केंद्रीय अनुशासन, नायक या बाहरी हस्तक्षेप के।
संग्रह के गुणों को सिर्फ़ उसके सारे तत्वों के पूर्ण ज्ञान से समझा या अनुमानित नहीं किया जा सकता है। इस तरह के संग्रह को जटिल प्रणाली कहा जाता है और इनके अनुसंधान के लिए नए गणितीय ढाँचों एवं विज्ञान की पद्धितियों की आवश्यकता होती है।

कुछ बातें जो हमें जटिल प्रणालियों के बारे में पता होनी चाहिए।

क्रियाँए

जटिल प्रणालियों की संरचना उनके अनगिनत भागों से होती है जो एक दूसरे से एवं बाहरी वातावरण से क्रियाएँ करते रहते हैं।

"हर वो वस्तु जिसे जीवविज्ञान अध्ययन करता है वह प्रणालियों की प्रणाली होती है।"

- फ्रांकोइस जैकब
(Francois Jacob)

जटिल प्रणालियाँ अक्सर अपने अवयवों से वर्णित होती हैं जो ना सिर्फ़ एक दूसरें से विभिन्न प्रकार की क्रियाएँ करते हैं, बल्कि बाहर के वातावरण से भी प्रभावित होते हैं। ये सभी अवयव मिलकर क्रियाओं के एक जाल (नेटवर्क) की संरचना करते हैं, अथवा, कभी–कभार सिर्फ़ कुछ अवयव, जो भिन्न प्रकार से एक–दूसरे से क्रियाएँ करते हैं, मिलकर भी एक जाल की संरचना कर सकते हैं। ये क्रियाएँ नोवेल, अर्थात् नयी जानकारी उत्पन्न करने की झमता रखती हैं जिसके परिणाम स्वरूप अवयवों का अलग से अध्ययन करना कठिन हो जाता है और ना ही उनके अलग अलग अध्ययन करने से उनके भविष्य के व्यवहार का अनुमान लगाया जा सकता है। इसके अलावा, किसी प्रणाली का एक अवयव अपने में भी एक नया प्रणाली हो सकता है, परिणाम स्वरूप परस्पर निर्भर प्रणालियों की प्रणाली का जन्म होता है।

जटिल विज्ञान की मुख्य चुनौती एक प्रणाली के विभिन्न अवयवों या भागों और उनके मध्य हो रही क्रियाओं को देखना ही नहीं है, अपितु किस प्रकार से ये क्रियाएँ सम्पूर्ण को बढ़ावा दे रहीं हैं ये समझना भी है।

उदाहरण:

- मानव मस्तिक में अरबों तंत्रिकाकोशिकाओं की अंतर क्रियाएँ
- इंटेरनेट के माध्यम से कम्प्यूटर के मध्य संचार
- विभिन्न रिश्तों को निभाती मानव जाति

उपयुक्त अवधारणाएँ:

प्रणाली, घटक, क्रियाएँ, जाल या नेट्वर्क, संरचना या ढाँचा, विविधता, अंतर–संबंधता, परस्पर निर्भरता, उपप्रणाली, सीमाएँ, वातावरण, खुलीं/बंद प्रणाली, प्रणालियों की प्रणाली

संदर्भ:

Mitchell, Melanie.
Complexity: A guided tour (जटिलता: एक मार्गदर्शन)
Oxford University Press, 2009.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi.
The Systems View of Life: A Unifying Vision (जीवन एक प्रणाली की तरह: एक एकीकृत दृष्टिकोण)
Cambridge University Press, 2016.

सृजन

जटिल प्रणालियों के गुण एवं व्यवहार उनके भागों अथवा अवयवों के गुण एवं व्यवहारों से ना सिर्फ़ बहुत अलग होते हैं, बल्कि प्रायः अप्रत्याशित भी होते हैं।

"अधिक पाने के लिए अधिक की आवश्यकता नहीं होती है। यही सृजन का अर्थ है।"

-मरी गेल-मन

(Murray Gell - Mann)

सरल प्रणालियों में, सम्पूर्ण प्रणाली के व्यवहारों को समझना या उनका पूर्वानुमान उनके अवयवों को जोड़ने अथवा उनके एकत्रीकरण से किया जा सकता है। दूसरे शब्दों में, एक सरल प्रणाली के व्यवहार का अनुमान उसके अवयवों के सूक्ष्म व्यवहारों से किया जा सकता है। जबकि सृजन गुण के कारण जटिल प्रणालियों के सहज व्यवहार का आकलन अथवा पूर्वानुमान उनके अवयवों की जानकारी से नहीं किया जा सकता है। इस गुण में विविध क्रियाविधियों के सम्मिलित होने से, अवयवों के अंतर्गत होने वाली क्रियाएँ अदभुत जानकारी को उत्पन्न करने के साथ साथ चौंका देने वाले व्रहद पैमाने वाली सामूहिक संरचना एवं व्यवहारों का प्रदर्शन करती हैं।

यह तथ्य आमतौर पर संक्षेप में "सम्पूर्ण अपने भागों के जोड़ से अधिक होता है" के लोकप्रिय मुहावरे से जाना जाता है।

उदाहरण:

- हवा एवं वाष्प के अणुओं के विशाल संग्रह से बवंडर की उत्पत्ति
- विभिन्न कोशिकाओं से जीव का गठन
- मस्तिक की अरबों तंत्रिका कोशिकाओं के परिणामस्वरूप चेतना एवं बुद्धि का विकास

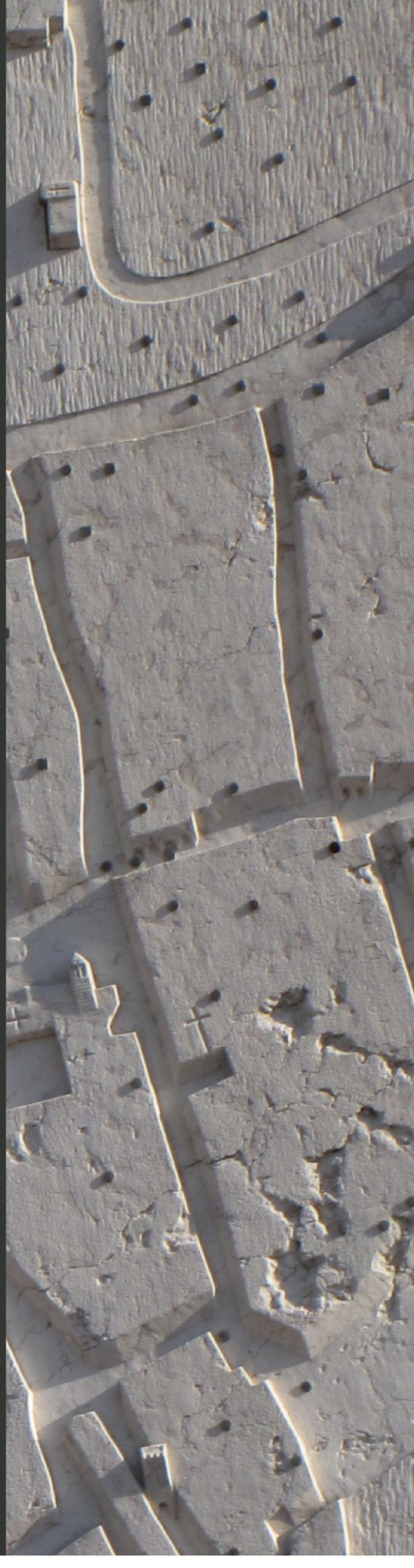
उपयुक्त अवधारणाएँ:

सृजन, पैमाना, अरेखिय, उध्र्वगामी, विवरण, आश्चर्य, अप्रत्यक्ष प्रभाव, सहज बोध से परे, अवस्था परिवर्तन, संकुचन का अभाव, रेखीय एवं सांख्यिकीय सोच की असफलता, "सम्पूर्ण अपने भागों के जोड़ से अधिक होता है"

संदर्भ:

Bar–Yam Yaneer .
Dynamics of Complex Systems (जटिल प्रणालियों की गतिकी)
Addison–Wesley, 1997.

Ball, Philip.
Critical Mass: How One Thing Leads to Another (कैसे एक चीज़ से दूसरे की शुरुआत होती है)
Macmillan, 2004.



सृजन 2

गतिकी

जटिल प्रणालियाँ प्रायः अप्रत्याशित दीर्घावधि व्यवहार दिखाते हुए अपनी अवस्था को समय के साथ परिवर्तित करती हैं।

"केआस: जब वर्तमान भविष्य को निर्धारित करता है या उसकी जानकारी देता है, लेकिन अनुमानित वर्तमान भविष्य की अनुमानित जानकारी नहीं देता है।"

- एड्वर्ड लॉरेंज़
(Edward Lorenz)

प्रणालियों का विश्लेषण उनकी समय के साथ अवस्था के परिवर्तन से किया जाता है। एक अवस्था का वर्णन उन परिवर्तनशील राशियों के समूह से किया जाता है ज़ों उस प्रणाली की विशेषताओं का वर्णन करती हैं।
जैसे जैसे एक प्रणाली अपनी अवस्था को परिवर्तित करती है, उसकी परवर्तनशील राशियाँ भी प्रायः वातावरण के प्रत्युतर स्वरूप परिवर्तित होती हैं।
ये परिवर्तन रेखीय कहलाता है अगर यह समय, प्रणाली की वर्तमान दशा, अथवा वातावरण में बदलाव के सीधे अनुपात में है, अथवा अरेखिय कहलाता है अगर यह इनके सीधे अनुपात में नहीं है।
ये स्थिर दशाओं में भी हो सकते हैं जिसमें वो सूक्ष्म व्यवधान के बावजूद भी बदलती नहीं हैं, अथवा अस्थिर दशाएँ जिसमें प्रणालियाँ सूक्ष्म व्यवधान के परिणामस्वरूप विघटित हो जाती हैं।
कुछ परिस्थितियों में, वातावरण के सूक्ष्म बदलाव प्रणाली के व्यवहार को पूरी तरह से बदल देते हैं, जिसे विभाजन, अवस्था परिवर्तन अथवा "टिपिंग पोईंट" भी कहा जाता है।

कुछ प्रणालियाँ केआटिक होती हैं – सूक्ष्म व्यवधान के प्रति अत्यंत संवेदनशील एवं अप्रत्याशित लम्बे समय में "बटफ़र्लाई प्रभाव" दिखाती हैं।
एक जटिल प्रणाली पथ निर्भर भी हो सकती हैं, इसका अर्थ है की, उसका भविष्य सिर्फ़ वर्तमान अवस्था पर ही नहीं, अपितु उसकी भूतकाल की अवस्था पर भी निर्भर करता है।

उदाहरण:

- मौसम में निरंतर अप्रत्याशित रूप से बदलाव
- शेयर बाज़ार की वित्तीय अस्थिरता

उपयुक्त अवधारणाएँ:

गतिकी, व्यवहार, अरेखिय, केआस, असंतुलन, संवेदनशीलता, बटफ़र्लाई प्रभाव, विभाजन, लम्बी अवधि में पूर्वानुमान का अभाव, अनिस्चितता, पथ/प्रसंग निर्भता , अभ्यतिप्राय की अनुपस्थिति

संदर्भ:

Strogatz, Steven H.
Nonlinear Dynamics and Chaos (अरेखिय गतिकी एवं केआस)
CRC Press, 1994.

Gleick, James.
Chaos: Making a New Science (केआस: एक नए विज्ञान का निर्माण)
Open Road Media, 2011.

स्वयं संगठित

जटिल प्रणालियाँ स्वयं संगठित हो कर महत्वपूर्ण संरचनाओं को बिना किसी ब्लूप्रिंट के उत्पन्न कर सकती हैं।

"मोरफ़ोगेनेनिस की मुख्य घटना समझने के लिए रासायनिक पदार्थों की प्रणाली जिसे मोरफ़ोगेंस कहा जाता है, जो एक साथ प्रक्रियाएँ करती हैं और ऊतक के द्वारा फैलती हैं, परियाप्त होती हैं।"

– ऐलन टूरिंग
(Alan Turing)

एक जटिल प्रणाली के भागों के मध्य होने वाली क्रियाएँ सार्वत्रिक संरचना को जन्म दे सकती हैं। जो अक्सर स्वयं संगठन के द्वारा व्याख्यित होता है क्योंकि वहाँ किसी केंद्रीय अथवा बाहरी नियंत्रक उपस्थित नहीं होता है।
बल्कि, एक स्वयं संगठित प्रणाली का नियंत्रण अपने भागों में वितरित होता है और उनकी परस्पर क्रियाओं के द्वारा एकिक्रत होता है। स्वयं संगठन भौतिक/कार्यात्मक ढाँचो, जैसे कि पदार्थों की क्रिसटलीय संरचना, जीवों की आकृति, अथवा गत्यात्मक/सूचनात्मक व्यवहार जैसे की मछलियों का सामूहिक व्यवहार एवं जानवरों की मांसपेशियों में विधूतीय तरंगो का प्रवाह को जन्म दे सकता है।
जैसे जैसे इस प्रक्रिया के कारण एक प्रणाली अधिक संगठित होती जाती है, समय के विकास के साथ नयी क्रियाओं की संरचनाएँ दिखाई दे सकती हैं।
कुछ स्थितियों में, जटिल प्रणालियाँ स्वयं संगठित हो के क्रिटिकल अवस्था में आ सकती हैं, जो की सिर्फ अनियमितता और नियमितता के मध्य एक नाज़ुक संतुलन में मौजूद रह सकती है।

इन स्वयं संगठित क्रिटिकल अवस्थाओं में जनम लेने वाली संरचनाएँ प्रायः विभिन्न अनोखे व्यवहार, जैसे की स्वयं संगठन एवं संरचनाओं का पावर–ला वितरण, दिखा सकती हैं।

उदाहरण:

- एक अंडीय कोशिकाओं का विभाजन एवं परिणामस्वरूप एक जीव के जटिल आकार में स्वयं संगठित हो जाना
- अधिक मनुष्यों एवं सम्पत्ति के आने से शहरों का विकास
- मैना की बड़ी आबादी द्वारा जटिल झुंडों की संरचना

उपयुक्त अवधारणाएँ:

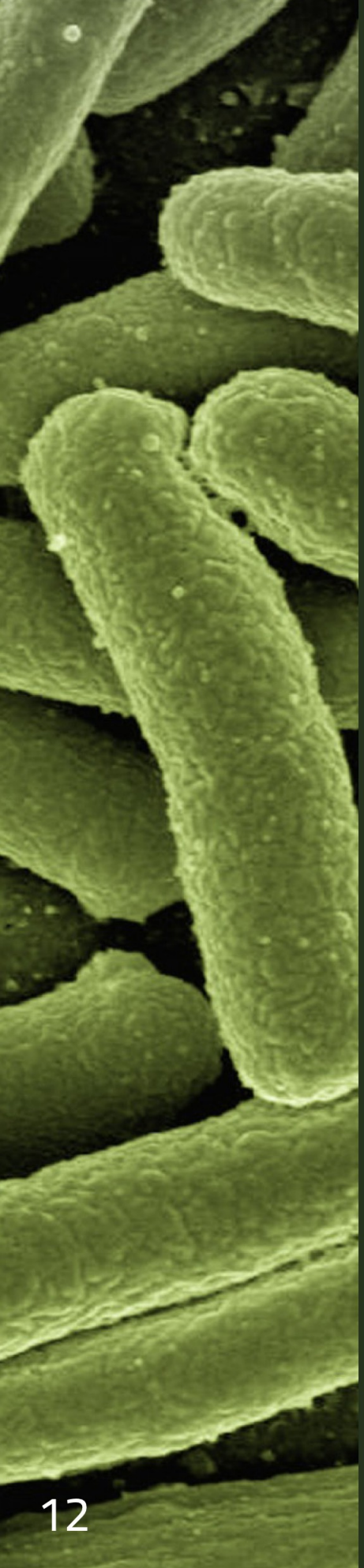
स्वयं संगठन, सामूहिक व्यवहार, झुंड, स्वरूप, स्थान एवं समय, अव्यवस्था से व्यवस्था का जन्म, कृतिकलती, पावर–लॉ, हेवी–टेल्ड वितरण, आकारीय विज्ञान, विकेंद्रीकरण/वितरित नियंत्रण, निर्देशित स्वयं–संगठन

संदर्भ:

Ball, Philip.
The Self–Made Tapestry: Pattern Formation in Nature (स्वनिर्मित टैपस्ट्री: संरचना का गठन)
Oxford University Press, 1999.

Camazine, Scott, et al. *Self–Organization in Biological Systems (जैविक प्रणालियों में स्वयं–संगठन)*
Princeton University Press, 2003.

स्वयं-संगठन 4



अनुकूलन

जटिल प्रणालियाँ अनुकूलन के परिणामस्वरूप विकसित होने की क्षमता रखतीं हैं।

"जीव विज्ञान में विकास के क्रमागत उन्नति को समझे बिना कुछ नहीं समझा जा सकता है। "

- थेओड़ोसिस दोबझंस्क्य
(Theodosius Dobzhansky)

जटिल प्रणालियाँ, अक्सर स्थिर अवस्था की तरफ़ बढ़ने के बजाय सक्रिय रहती हैं एवं वातावरण के अनूकुल होने की प्रयासरत रहती हैं – इतना अंतर जितना कि एक चोटी से लुढ़कती हुई गेंद सतह पे पहुँच के रुक जाती है और एक पंछी जो उड़ते हुए हवा के बहाव के अनूकुल हो जाता है। यह अनुकूलता विभिन्न पैमानों में हो सकती है, सृजनात्मक, सीख के और मनोवैज्ञानिक विकास के द्वारा, सामाजिक रिश्तों के कारण सूचनाओं के प्रसार के द्वारा, या फिर आनुवांशिक एवं प्राकृतिक क्रमागत उन्नति के चुनाव के द्वारा।

ये प्रणालियाँ विभागों के क्षतिग्रस्त हो जाने या हटा दिए जाने से, ना सिर्फ़ अनुकूलन के कारण अपनी पिछली कार्यक्षमता को वापिस प्राप्त कर सकती हैं, बल्कि कभी–कभी पहले से भी बेहतर हो जाती हैं। यह प्राप्त होता है दृढ़ताँ, व्यवधानों को सहने की क्षमता, लचिलापन, बड़े व्यवधानों के बाद अपनी मूल अवस्था में वापिस आ जाने की क्षमता, जिसे अनुकूलता कहा जाता है, प्रणाली के अपनेआप को बदलने की क्षमता जिससे वो क्रियाशील एवं जीवित रहें। इन गुणों वाली जटिल प्रणालियों को अनुकूलक जटिल प्रणालियाँ कहा जाता है।

उदाहरण:

एक रोग प्रतिरोधक प्रणाली हमेशा रोगजनकों के बारे में सिखाती है

- दीमकों की बस्ती जो अपने टीले की क्षति की मरम्मत करती है
- लौकिक जीवन जो अरबो वर्षों से अनेकों सकटों के बावजूद अस्तित्व में है

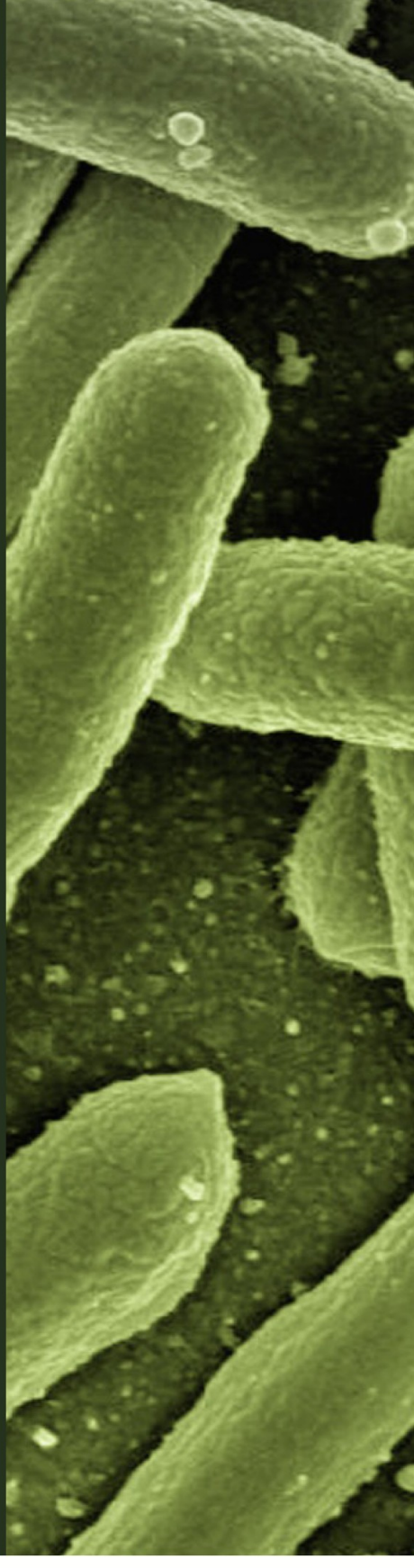
उपयुक्त अवधारणाएँ:

प्रशिक्षण, अनुकूलन, क्रमगात उन्नति, उपयुक्तत्ता, लचिलापन, विविधता, जटिल अनुकूलित प्रणाली, आनुवंशिक विधियाँ, कृत्रिम जीवन, कृत्रिम बुद्धिमता, सामूहिक बुद्धिमता, रचनात्मकता, विकासशीलता, ओपन एंडेडनेस

संदर्भ:

Holland, John Henry.
Adaptation in Natural and Artificial Systems.
(प्राकृतिक एवं *कृत्रिम* प्रणालियों में अनुकूलन*)*
MIT press, 1992.

Solé, Ricard and Elena, Santiago F.
Viruses as Complex Adaptive Systems
(विषाणु जटिल अनुकूलक प्रणालीयों की तरह)
Princeton University Press, 2018.



अनुकूलन 5

अंतर विषयता

जटिल विज्ञान का प्रयोग विविध प्रकार की प्रणालियों को समझने एवं उनके प्रबंधन के लिए किया जा सकता है।

"यह सर्वथा व्यर्थ भले ही ना हो, लेकिन विभिन्न प्रकार की जटिल प्रणालियों के एकसमान व्यवहार को ढूँढना....
प्रतिपुष्टि एवं सूचना की अवधारणा विभिन प्रकार की परिस्थियों को समझने के लिए एक ढाँचे का आधार बनाती हैं। "

– हर्बर्ट साइमन
(Herbert Simon)

जटिल प्रणालियाँ विज्ञान एवं व्यवसाय के हर एक क्षेत्र में पायी जाती हैं, जिसमें भौतिक विज्ञान, जीव विज्ञान, परिस्थिती विज्ञान, सामाजिक विज्ञान, अर्थशास्त्र, व्यापार, राजनीति, मनोविज्ञान, सूचना प्रोद्योगिकी, चिकित्सा अभियांत्रिकी इत्यादि शामिल हैं। सामाजिक मीडिया एवं मोबाइल मीडिया से लेकर स्वयात वाहन एवं ब्लॉकचैन की अनेक आधुनिक तकनीकियाँ जटिल प्रणालियों का निर्माण करती हैं जो उन अप्रत्याशित एवं आकस्मिक व्यवहारों को दिखाती हैं जिनको समझना एवं उनका पूर्वानुमान लगाना सामाजिक भलाई के लिए आवश्यक है।

जटिल विज्ञान की एक मुख्य अवधारणा है सर्वभौमिकता, जिसका मतलब है की विभिन्न क्षेत्रों की अनेक प्रणालियाँ एक जैसे आधारभूत लक्षण दिखाती हैं जिन्हें सम्यक वैज्ञानिक मॉडल से वर्णित किया जा सकता है। ये अवधारणाएँ एक नए बहु–विषयक गणितीय/ कॉम्प्यूटेशनल ढाँचे का अनुमोदन करती हैं।

जटिल विज्ञान एक विस्तृत, बहुविषयक विश्लेषणात्मक दृष्टिकोण प्रदान करता है जो परम्परागत वैज्ञानिक दृष्टिकोण, जो प्रत्येक क्षेत्र के विशेष विषयों पर केंद्रित रहता है, का पूरक होता है।

उदाहरण:

- भिन्न भिन्न सूचना संसाधन प्रणालियों (तंत्रिका तंत्र, इंटरनेट, संचार की आधारभूत संरचना) के एक जैसे गुण
- भिन्न भिन्न प्रसार की प्रक्रियाएँ (महामारी, उन्माद, जंगल की आग) में पाए जाने वाली एक जैसी आकृतियाँ

उपयुक्त अवधारणाएँ:

सर्वभौमिकता, विभिन्न अनुप्रयोग, बहु-/अंतर-/पार-विषयक, अर्थशास्त्र, सामाजिक प्रणालियाँ, पारस्थिक प्रणालियाँ, स्थिरता, प्राकृतिक संसार की समस्याओं का निधान, सांस्कृतिक प्रणालियाँ, दिन प्रतिदिन के जीवन के निर्णय लेना

संदर्भ:

Thurner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter.
Introduction to the Theory of Complex Systems (जटिल प्रणालियों के सिद्धांतों का परिचय)
Oxford University Press, 2018.

Page, Scott E.
The Model Thinker (एक विचारक मॉडल)
Hachette UK, 2018.

अंतर विषयता 6

पद्धतियाँ

गणितीय एवं कॉम्प्यूटेशनल विधियाँ जटिल प्रणालियों के अध्ययन की शक्तिशाली औज़ार हैं।

"सभी वैज्ञानिक मॉडल्स ग़लत होते हैं, लेकिन कुछ उपयोगी होते हैं"

- जॉर्ज बॉक्स
(George Box)

जटिल प्रणालियाँ की अनेक चर एवं रचनायें होती हैं, जिनका अन्वेषण सिर्फ़ सहज बोध अथवा काग़ज़ एवं कलम आधारित गणना से नहीं किया जा सकता है। अपितु, विकसित गणितीय एवं कॉम्प्यूटेशनल मॉडल, विश्लेषण एवं अनुकरण लगभग हमेशा अपेक्षित होते हैं ये देखने के लिए की कैसे इन प्रणालियों का निर्माण हुआ है और कैसे ये समय के अनुसार बदलती हैं।

कम्प्यूटर की मदद से हम इस बात का निरीक्षण कर सकते हैं कि अगर ये काल्पनिक नियम प्राकतिक व्यवहारों को जन्म दे सकते हैं, और फिर उन नियमों के ज्ञान का प्रयोग विभिन्न "अगर" जैसी स्थितियों का अनुमान लगाने में कर सकते हैं। कम्प्यूटर्स का प्रयोग हमेशा जटिल प्रणालियों के व्यापक आँकड़ों के विश्लेषण के द्वारा उनकी उन छुपी हुई रचनाओं की कल्पना के लिए किया जाता है जो खुली आँखो से नहीं दिखती हैं।
ये कॉम्प्यूटेशनल पद्धतियाँ उन अविष्कारों को अंजाम दे सकती हैं जो प्रक्रति की हमारी समझ एवं उनके गुण–दोषों के विवेचन को और गहरा करती हैं।

उदाहरण:

- पंछियों के झुंड की एजेंट बेस्ट मॉडलिंग
- मस्तिक के गणितीय एवं कॉम्प्यूटेशनल माडल्स
- कम्प्यूटर की मदद से जलवायु का पूर्वानुमान
- भीड़ के व्यवहार का कम्प्यूटर माडल्स

उपयुक्त अवधारणाएँ:

मॉडलिंग, प्रतिरूपता, आँकड़ों का विश्लेषण, पद्धतियाँ, एजेंट–बेस्ट मॉडलिंग, नेटवर्क विश्लेषण, गेम सिद्धांत, प्रत्योझकरन, नियम, समझ

संदर्भ:

Pagels, Heinz R.
The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity (तर्क के सपने: कम्प्यूटर्स एवं जटिलता के विज्ञान का उदय)
Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki.
Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems (जटिल प्रणालियों की मॉडलिंग एवं विश्लेषण का परिचय*)*
Open SUNY Textbooks, 2015.

“मुझे लगता है इक्कीसवी *[21*वी *]* शताब्दी जटिलता की शताब्दी होगी ”

–स्टीफन हॉकिंग
(Stephen Hawking)

सहयोगी

Manlio De Domenico*, Dirk Brockmann, Chico Camargo, Carlos Gershenson, Daniel Goldsmith, Sabine Jeschonnek, Lorren Kay, Stefano Nichele, José R. Nicolás, Thomas Schmickl, Massimo Stella, Josh Brandoff, Ángel José Martínez Salinas, Hiroki Sayama*

(* संवादी लेखक)
mdedomenico[at]fbk.eu
sayama[at]binghamton.edu

श्रेय

रचना एवं संपादन: *Serafina Agnello*

serafina.agnello[at]gmail.com

Serafina Agnello

https://complexityexplained.github.io/

निम्नलिखित व्यक्तियों को जानकारी एवं प्रतिक्रिया के लिए विशेष धन्यवाद :

Hayford Adjavor, Alex Arenas, Yaneer Bar-Yam, Rogelio Basurto Flores, Michele Battle-Fisher, Anton Bernatskiy, Jacob D. Biamonte, Victor Bonilla, Dirk Brockmann, Victor Buendia, Seth Bullock, Simon Carrignon, Xubin Chai, Jon Darkow, Luca Dellanna, David Rushing Dewhurst, Peter Dodds, Alan Dorin, Peter Eerens, Christos Ellinad, Diego Espinosa, Ernesto Estrada, Nelson Fernández, Len Fisher, Erin Gallagher, Riccardo Gallotti, Pier Luigi Gentilli, Lasse Gerrits, Nigel Goldenfeld, Sergio Gómez, Héctor Gómez-Escobar, Alfredo González-Espinoza, Marcus Guest, J. W. Helkenberg, Stephan Herminghaus, Enrique Hernández-Zavaleta, Marco A. Javarone, Hang-Hyun Jo, Pedro Jordano, Abbas Karimi, J. Kasmire, Erin Kenzie, Tamer Khraisha, Heetae Kim, Bob Klapetzky, Brennan Klein, Karen Kommerce, Roman Koziol, Roland Kupers, Erika Legara, Carl Lipo, Oliver Lopez-Corona, Yeu Wen Mak, Vivien Marmelat, Steve McCormack, Dan Mønster, Alfredo Morales, Yamir Moreno, Ronald Nicholson, Enzo Nicosia, Sibout Nooteboom, Dragan Okanovic, Charles R Paez, Julia Poncela C., Francisco Rodrigues, Jorge P. Rodríguez, Iza Romanowska, Pier Luigi Sacco, Joaquín Sanz, Samuel Scarpino, Alice Schwarze, Nasser Sharareh, Keith Malcolm Smith, Ricard Sole, Keith Sonnanburg, Cédric Sueur, Ali Sumner, Michael Szell, Ali Tareq, Adam Timlett, Ignacio Toledo, Leo Torres, Paul van der Cingel, Ben van Lier, Jeffrey Ventrella, Alessandro Vespignani, Joe Wasserman, Kristen Weiss, Daehan Won, Phil Wood, Nicky Zachariou, Mengsen Zhang, Arshi, Brewingsense, Complexity Space Consulting, Raoul, Systems Innovation, The NoDE Lab.

हिंदी अनुवादन:
सारिका जालन (Sarika Jalan)

Serafina Agnello

संस्करण *1.0 (13 मई 2019)*