

कम्प्यूटर सिमुलेशन एवं गणितीय मॉडलिंग: एक वैज्ञानिक समीक्षा

राकेश कुमार सिंह
वैज्ञानिक-डी(सूचना प्रौद्योगिकी)
गोविंद बल्लभ पंत राष्ट्रीय हिमालयी पर्यावरण एवं सतत् विकास संस्थान
कोसी-कटारमल, अल्मोड़ा-263643, उत्तराखण्ड, भारत ।
rksingh@gbpihed.nic.in

प्राप्त तिथि-24.05.2018, स्वीकृत तिथि-06.08.2018

सार- कम्प्यूटर सिमुलेशन का उपयोग वस्तुओं या प्रणालियों के गतिशील व्यवहार का अध्ययन उन परिस्थितियों में करने के लिए किया जाता है जिन्हें वास्तविक जीवन में आसानी से या सुरक्षित रूप से लागू नहीं किया जा सकता है। सरल शब्दों में कम्प्यूटर सिमुलेशन भौतिक प्रयोग के लिए एक विकल्प है, जिसमें कम्प्यूटर प्रोग्राम के रूप में वास्तविक प्रणाली के गणितीय वर्णन या गणितीय मॉडल का उपयोग करके कुछ भौतिक घटनाओं के परिणामों की गणना करने के लिए कम्प्यूटर का उपयोग किया जाता है। कम्प्यूटर सिमुलेशन और गणितीय मॉडलिंग प्रायः निर्णय लेने की प्रक्रिया का एक अभिन्न घटक होता है। मॉडल और सिमुलेशन कारणों और प्रभावों के तेजी से और विविध मूल्यांकन की अनुमति देते हैं और मुख्य लाभ यह है कि वे सीमित निवेश लागतों के साथ दीर्घकालिक कार्यवाहियों का विश्लेषण भी करते हैं। यह समीक्षा पत्र कम्प्यूटर सिमुलेशन और गणितीय मॉडलिंग के प्रमुख अवधारणाओं, तत्वों और व्यावहारिक क्षेत्रों पर केंद्रित है।

बीज शब्द- कम्प्यूटर सिमुलेशन, गणितीय मॉडलिंग, कम्प्यूटर प्रोग्राम, असतत् घटना सिमुलेशन, सतत् सिमुलेशन, संकर सिमुलेशन।

Computer simulation and mathematical modeling: a scientific review

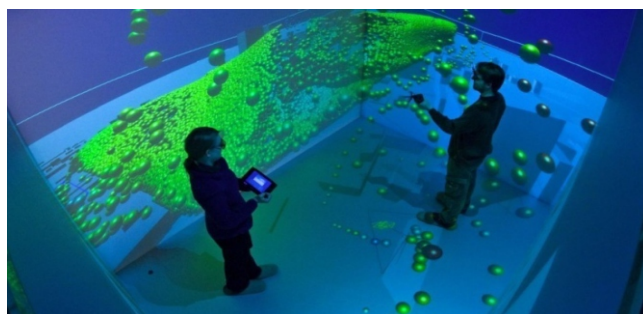
Rakesh Kumar Singh
Scientist-D(Information Technology)
Govind Ballabh Pant National Institute of Himalayan Environment and Sustainable
Development, Kosi-Katarmal, almora-263643, Uttarakhand, India
rksingh@gbpihed.nic.in

Abstract- Computer simulation is used to study the dynamic behaviour of objects or systems in response to conditions that cannot be easily or safely applied in real life. Computer simulation in simple terms is a substitute for physical experimentation, in which computers are used to compute the results of some physical phenomenon by using mathematical description or mathematical models of a real system in the form of a computer program. Computer simulation and Mathematical modeling is often an integral part of the decision-making process. Models and simulations allow rapid and varied evaluation of causes and effects and the principal advantage is that they enable an analysis of even long-term actions with limited investment costs. This review paper is focused on major concepts, elements and practical areas of computer simulation and mathematical modeling.

Key words- Computer simulation, mathematical modeling, computer program, discrete event simulation, continuous simulation, hybrid simulation.

1. **कम्प्यूटर सिमुलेशन का परिचय-** किसी वास्तविक वस्तु, प्रक्रम या कार्यकलाप का किसी अन्य विधि से कम्प्यूटर द्वारा अनुकरण करना कम्प्यूटर सिमुलेशन या अभिकलित्र अनुकार कहलाता है। अन्य शब्दों में कह सकते हैं कि किसी कम्प्यूटर प्रोग्राम की सहायता से या कम्प्यूटरों के एक नेटवर्क की सहायता से किसी तन्त्र या उसके किसी भाग के व्यवहार की जानकारी की गणना करना कम्प्यूटर सिमुलेशन या अभिकलित्र अनुकार कहलाता है। वर्तमान समय में प्रौद्योगिकी, प्राकृतिक विज्ञानों, सामाजिक विज्ञानों एवं अन्य क्षेत्रों में कम्प्यूटर सिमुलेशन महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहे हैं। सिद्धान्त एवं प्रयोग के अलावा कम्प्यूटर सिमुलेशन भी विज्ञान में शोध की एक अपरिहार्य विधि बन गयी है। कम्प्यूटर सिमुलेशन, कुछ मिनट में पूर्ण होने वाले एक छोटे कम्प्यूटर प्रोग्राम से लेकर घण्टों चलने वाले नेटवर्कित कम्प्यूटर और

उससे भी बढ़कर कई दिनों तक चलने वाले सिमुलेशन के अनेक रूपों में देखे जा सकते हैं। आज का सिमुलेशन इतना विशालकाय हो गया है जो कागज-पेंसिल की सहायता से सम्भव ही नहीं हो सकता था। कागज-पेंसिल से सिमुलेशन के दौर में जिस सिमुलेशन की कल्पना तक नहीं की जा सकती थी वह आज आसानी से किया जाने लगा है। प्रायः कम्प्यूटर सिमुलेशन सॉफ्टवेयरों में गणितीय मॉडलिंग के विभिन्न तरीकों का प्रयोग किया जाता है। कम्प्यूटर सिमुलेशन उन मानव प्रणालियों के संचालन के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिये एक महत्वपूर्ण अंग बन गया है जो समस्याओं का विश्लेषणात्मक समाधान खोजने के लिए प्रयास करता है, जो एक गणितीय मॉडल के माध्यम से किया गया है। कम्प्यूटर सिमुलेशन किसी गणितीय मॉडल के व्यवहार की भविष्यवाणी सक्षम बनाता है।



चित्र-1: रसायनिक प्रतिक्रियाओं के लिए 3डी कम्प्यूटर सिमुलेशन

2. गणितीय मॉडलिंग क्या है?— किसी भौतिक तंत्र या प्रक्रम या अमूर्त तंत्र के विभिन्न अवयवों के अन्तर्सम्बन्धों का गणित की भाषा में वर्णन उस तन्त्र का गणितीय प्रतिरूप या गणितीय मॉडल कहलाता है। गणितीय मॉडल प्रायः संगत तंत्र के सरलीकृत रूप होते हैं। इससे उस तन्त्र की कार्यप्रणाली को आसानी से समझने में सुविधा होती है। इसकी सहायता से यह गणना की जा सकती है कि किस स्थिति में क्या होगा। गणितीय मॉडल की सहायता से ही उस भौतिक तन्त्र का नियन्त्रण भी किया जा सकता है। किसी तन्त्र को कम्प्यूटर द्वारा सिमुलेट करने के लिये उस तन्त्र का गणितीय मॉडल बनाना पहली आवश्यकता है। गणितीय मॉडल का प्राकृतिक विज्ञानों एवं प्रौद्योगिकी में अधिकाधिक उपयोग होता है। इसके अतिरिक्त इसका सामाजिक विज्ञानों, जैसे अर्थशास्त्र, समाज शास्त्र एवं राजनीति शास्त्र में भी उपयोग होता है। गणितीय मॉडल भौतिकी में बहुत महत्व रखते हैं। भौतिक सिद्धान्त प्रायः गणितीय मॉडल के रूप में ही प्रस्तुत किये जाते हैं। उदाहरण के लिये गैसों का व्यवहार आदर्श गैस समीकरण के रूप में व्यक्त किया जाता है। यह एक गणितीय मॉडल ही है। इसी प्रकार किसी पोटेंशियल फील्ड में किसी कण का व्यवहार ज्ञात करने के लिये अवकल(डिफरेंशियल) समीकरण के रूप में एक गणितीय मॉडल प्रस्तुत किया जा सकता है।

3. कम्प्यूटर सिमुलेशन एवं गणितीय मॉडलिंग का महत्व— कम्प्यूटर सिमुलेशन, सैद्धान्तिक विज्ञान को विकसित रूप के रूप में समझा जा सकता है क्योंकि इसके द्वारा वैज्ञानिक सिद्धान्तों की परिणति की गणना की जा सकती है। अर्थात् सिमुलेशन यह बताता है कि किस स्थिति में क्या होगा। सिमुलेशन इससे भी आगे जा सकता है। सिमुलेशन के प्रयोग से नये सिद्धान्त खोजे जा सकते हैं और ऐसे प्रयोग रचे जा सकते हैं जो इन नये सिद्धान्तों की जाँच करें। प्रयोग के विकल्प के रूप में सिमुलेशन का उन स्थितियों में भी बहुत उपयोग होता है जब प्रयोग करना या तो बहुत खर्चीला हो या बहुत खतरनाक हो या बहुत समय लेने वाला हो। सिमुलेशन का उपयोग प्रशिक्षण एवं अनेकानेक क्षेत्रों(विज्ञान, प्रौद्योगिकी, समाज, अर्थ, युद्ध आदि) में उपयोग में लाया जा रहा है। यह अपने आप में एक सशक्त करने वाली प्रौद्योगिकी है। मुद्दे, समस्या का रूप धारण करें, उसके पहले ही यह उन्हें समझने और उन्हें हल करने की पहल करता है। सिमुलेशन कूपमण्डूकता को छोड़कर सम्पूर्ण दृष्टि और अन्तर्दृष्टि देती है तथा रीतिपूर्वक सोचने को बाध्य करती है।

गणितीय मॉडल, भौतिक मॉडल की तुलना में बहुत अधिक लचीला और उपयोगी होता है। समय का कोई बन्धन नहीं, अधिक समय लेने वाला प्रक्रम भी कम समय में सिमुलेट करके देखा जा सकता है। एक बार गणितीय मॉडल बन जाने के बाद भौतिक मॉडल आवश्यक नहीं रह जाता। इसके नये डिजाइन या टेक्नोलॉजी को गणितीय मॉडल की सहायता से ही विकसित किया जा सकता है। अतः वर्तमान तन्त्र का कामधाम रोके बिना ही काम बन जाता है। विभिन्न पैरामीटरों के मान जाँचे जा सकते हैं। उन्हें अदल-बदल कर उनके प्रभाव का अध्ययन किया जा सकता है। वे राशियाँ भी मापी व गणना की जा सकती हैं जिन्हें भौतिक तन्त्र में देख पाना असम्भव होता है। गणितीय मॉडल पर कोई भी प्रयोग १०० प्रतिशत सुरक्षित होते हैं। भौतिक तन्त्रों पर प्रयोग प्रायः खतरनाक होते हैं। भौतिक तन्त्रों पर कर्मियों को धन व्यय करके प्रशिक्षित करना पड़ता है। गणितीय मॉडल अन्तर्दृष्टि प्रदान करने में सहायक हैं। इससे उनके बारे में अच्छी समझ पैदा होती है।

4. कम्प्यूटर सिमुलेशन के प्रकार— फाइनाइट-एलिमेंट विधि द्वारा मोटरकार के टक्कर के कम्प्यूटर सिमुलेशन का परिणाम अलग-अलग आधारों पर किया जा सकता है। कम्प्यूटर-सिमुलेशन कई प्रकार का हो सकता है—

(क) घटनाक्रम के आधार पर:

- सतत्-समय (कांटीन्युअस-टाइम) सिमुलेशन
- विरिक्त-समय सिमुलेशन (डिस्क्रीट-टाइम सिमुलेशन)
- मिश्रित सिमुलेशन-ऐसे तन्त्र जिनमें सतत्-समय एवं असतत्-समय दोनों के अवयव हों।

(ख) स्थिति के आधार पर:

- स्थैतिक-स्थिति (स्टैडी-स्टेट)
- क्षणिक (ट्रान्सिएन्ट)
- हार्मोनिक विश्लेषण
- प्रत्याशित
- अप्रत्याशित

(ग) मान्टे-कार्लो सिमुलेशन: मॉन्टे-कार्लो विधियाँ कम्प्यूटर कलन विधियों के उस समूह को कहते हैं जो किसी समस्या के संख्यात्मक परिणाम प्राप्त करने के लिये यादृच्छिक प्रतिचयन का उपयोग करता है। इस विधि का मूल मंत्र यह है कि यादृच्छता का उपयोग करते हुए उन समस्याओं का भी हल निकाल सकते हैं जो सिद्धान्ततः सुनिर्धार्य हैं। मान्टे-कार्लो विधियाँ प्रायः ही भौतिक एवं गणितीय समस्याओं के हल के लिये उपयोग में लायीं जाती हैं। ये उस समय सर्वाधिक उपयोगी होती हैं जब अन्य विधियों का उपयोग नहीं किया जा सके। ये विधियाँ मुख्यतः तीन प्रकार की समस्याओं के हल के लिये प्रयुक्त होती हैं— ईष्टतमीकरण, संख्यात्मक समाकलन, तथा प्रायिकता वितरण दिये होने पर ज़ाँ निकालना।

5. गणितीय मॉडलिंग के प्रकार एवं बनाने की विधियाँ— एक गणितीय मॉडल प्रायः दो प्रकार का होता है—

- रेखीय (लिनियर) तन्त्र
- अरेखीय तन्त्र (नॉन-लिनियर)

गणितीय मॉडल बनाने की मुख्यतः दो विधियाँ हैं—

- डिफरेंशियल समीकरण या डिफरेंस समीकरण के रूप में सिद्धान्तों एवं नियमों का उपयोग करते हुए तन्त्र का गणितीय वर्णन। इसके लिये तन्त्र की बनावट एवं कार्यपद्धति का सम्पूर्ण ज्ञान आवश्यक है।
- तन्त्र की पहचान (सिस्टम आइडेन्टिफिकेशन) के रूप में, इसमें तन्त्र को सम्यक प्रकार का इन्पुट देकर ऑउटपुट रिकार्ड कर लिया जाता है। और इन आंकड़ों से ज्ञात किया जा सकता है कि तन्त्र किस स्तर(ऑर्डर) का है व उसके विभिन्न पैरामीटर का मान क्या होगा। इसका मुख्य लाभ यह है कि इसके लिये सिस्टम की पूर्ण जानकारी जरूरी नहीं है, किन्तु इसके लिये वास्तविक तन्त्र का विद्यमान होना जरूरी है जिस पर प्रयोग करके आंकड़े लिये जा सकें। सिस्टम आइडेन्टिफिकेशन की मुख्यतः दो विधियाँ हैं: (1) समय-डोमेन में, प्रायः स्टेपइनपुट के संगत ऑउटपुट रिकार्ड करके, (2) आवृत्ति-डोमेन में, अलग-अलग आवृत्ति के साइनस्वायडल (साइन आकार वाले) संकेत देकर उनके संगत ऑउटपुट का आयाम व कला (फेज) नापकर।

6. कम्प्यूटर सिमुलेशन की भाषाएँ— कम्प्यूटर सिमुलेशन को सुगमता पूर्वक अभिव्यक्त करने के लिये जिन कम्प्यूटरी भाषाओं का उपयोग किया जाता है उन्हें सिमुलेशन की भाषाएँ कहते हैं। सिमुलेशन की भाषाओं में यह क्षमता होनी चाहिये कि वे अलग-अलग तरह के (जैसे सतत् या डिस्क्रीट, डिटर्मिनिस्टिक या स्टॉकैस्टिक) तन्त्रों को सुविधा पूर्वक वर्णन कर सकें और विविध प्रकार के विश्लेषण (डी-सी, ए-सी या ट्रान्सिएन्ट आदि) करके परिणामों को विविध प्रकार (सारणी, तरह-तरह के ग्राफ, एनिमेशन आदि) से प्रदर्शित कर सकें। इसके अतिरिक्त, डिस्क्रीट-इवेंट भाषाओं में अलग-अलग प्रायिकता-वितरण (प्रोबेबिलिटी-डिस्ट्रिब्यूशन) पर आधारित छद्म-यादृच्छिक संख्याएँ पैदा करने की क्षमता भी होनी चाहिये।

(क) डिस्क्रीट इवेंट सिमुलेशन की भाषाएँ:

- ऑटोमॉड
- ईएम-प्लॉट
- रॉकवेल एरिना
- जीएसपी
- जीपीएसएस
- सिमपाई
- सिमएससीआरआईपीटी।।5— एक अच्छी तरह से स्थापित वाणिज्यिक संकलक।

- सिमुला
- जावा मॉडलिंग टूल्स— ग्राफिकल यूजर इंटरफेस के साथ एक ओपन—सोर्स पैकेज ।
- पॉज़— पेद्री नेट आधारित मॉडलिंग के साथ एक अलग—अलग घटना सिमुलेशन सिस्टम ।

(ख) सतत् सिमुलेशन की भाषाएँ:

- उन्नत निरंतर सिमुलेशन भाषा (एसीएसएल)— पाठ या ग्राफिकल मॉडल विनिर्देश का समर्थन करता है ।
- डायनमो
- सिमएप— गतिशील प्रणालियों और नियंत्रण प्रणाली का सरल सिमुलेशन ।
- सिमगुआ— सिमुलेशन टूलबॉक्स और वातावरण, विजुअल बेसिक का समर्थन करता है ।
- एसएलएएम— वैकल्पिक मॉडलिंग के लिए सिमुलेशन भाषा (एसएलएएम) या एनालॉग मॉडलिंग के लिए सिमुलेशन भाषा (एसएलएएम) भी कहा जाता है ।
- विससिम— एक दृष्टि प्रोग्राम ब्लॉक आरेख भाषा ।

(ग) संकर एवं अन्य सिमुलेशन की भाषाएँ:

- एएमईएसआईएम— मॉडल और बहु—डोमेन सिस्टम का विश्लेषण करने और उनके प्रदर्शन की भविष्यवाणी करने के लिए सिमुलेशन मंच ।
- एनीलॉजिक— बहु—विधि सिमुलेशन टूल, जो सिस्टम गतिशीलता, अलग घटना सिमुलेशन, एजेंट—आधारित मॉडलिंग का समर्थन करता है ।
- मॉडेलिका— जटिल भौतिक प्रणालियों के मॉडलिंग के लिए खुली मानक वस्तु उन्मुख भाषा ।
- इकोसिमप्रो भाषा— असतत् घटनाओं के साथ सतत् मॉडलिंग ।
- सेबर—सिम्युलेटर— यह विभिन्न इंजीनियरिंग डोमेन (हाइड्रॉलिक, इलेक्ट्रॉनिक, मैकेनिकल, थर्मल, इत्यादि) में भौतिक प्रभाव को सिमुलेट करता है ।
- सिमूलिक— सतत और अलग घटना क्षमता ।
- स्पाइस— यह एनालॉग विद्युत परिपथ के सिमुलेशन में प्रयुक्त होता है ।
- जेड सिमुलेशन भाषा
- साईलैब— इसमें साईकॉस नामक एक ग्राफीय सिमुलेशन पैकेज सम्मिलित है ।
- एक्सएमएल प्रयोगशाला— एक्सएमएल के साथ सिमुलेशन ।
- फ्लेक्ससिम 4.0— अलग घटना और निरंतर प्रवाह सिमुलेशन के लिए शक्तिशाली इंटरैक्टिव सॉफ्टवेयर ।
- सिमियो— अलग घटना, निरंतर, और एजेंट आधारित सिमुलेशन के लिए सॉफ्टवेयर ।

7. कम्प्यूटर सिमुलेशन के प्रयोग क्षेत्र— आज के दौर में विभिन्न क्षेत्रों में कम्प्यूटर सिमुलेशन का प्रयोग किया जा रहा है । जो निम्न प्रकार है—

- वायु प्रदूषण का विश्लेषण करने के लिए ।
- रसद सामग्री व विमान डिजाइन करने व निर्माण करने में ।
- सड़कों पर शोर व ध्वनि प्रदूषण रोकने के लिए ।
- मॉडलिंग आवेदन प्रदर्शन में ।
- वायुयानों के उड़ान के दौरान चालकों(पायलटों) को सुरक्षित रखने के लिए ।
- मौसम पूर्वानुमान में ।
- अन्य कम्प्यूटर अनुकरण के लिए ।
- वित्तीय बाजार पर कीमतों की भविष्यवाणी के लिए ।
- इमारतों और औद्योगिक भागों के निर्माण में ।
- रासायनिक संयंत्रों के रूप में औद्योगिक प्रक्रियाओं के डिजाइन तैयार करने में ।
- रणनीतिक प्रबन्धन और संगठनात्मक अध्ययन में ।
- जलाशय सिमुलेशन, उपसतह जलाशय मॉडल तैयार करने के लिए और पेट्रोलियम इंजीनियरिंग के लिए ।
- प्रोसेस इंजीनियरिंग सिमुलेशन उपकरण ।
- रोबोट सिमुलेशन, रोबोटों और रोबोट नियंत्रण एल्गोरिदम के डिजाइन के लिए ।
- शहरी सिमुलेशन मॉडल, शहरी भूमि के उपयोग और परिवहन नीतियों को गतिशील पैटर्न और प्रतिक्रियाओं का अनुकरण है ।
- यातायात इंजीनियरिंग की योजना बनाने या परिवहन प्रणाली की योजना, डिजाइन और संचालन के लिए एक राष्ट्रीय राजमार्ग नेटवर्क से अधिक शहरों, एकल जंक्शनों से सड़क नेटवर्क के कुछ हिस्सों को नया स्वरूप देना ।
- कार दुर्घटनाओं की मॉडलिंग एवं नए वाहन के मॉडल में सुरक्षा तंत्र का परीक्षण करने के लिए ।

- फसल मिट्टी सिस्टम समर्पित सॉफ्टवेयर चौखटे के माध्यम से कृषि के क्षेत्र में ।

8. खगोलीय सिमुलेशन(इल्लुस्ट्रिस टीएनजी सिमुलेशन)— खगोलीय कम्प्यूटर सिमुलेशन में सदा इस बात का विशेष ध्यान रखा जाता है की संवेदनशीलता विश्लेषण उच्च कोटि का हो। इससे पता चलता है कि परिणाम कितने विश्वसनीय हैं। संवेदनशीलता विश्लेषण में या आंकड़ों में आंशिक बदलाव भी परिणाम में बहुत अधिक बदलाव ला देता है। उन्नत कंप्यूटेशनल विधियों से अधिक से अधिक जानकारी एकत्र कर ब्रह्माण्डीय स्तर पर सिमुलेशन बनाया जाता है। सिमुलेशन हमें कई प्रकार की नयी जानकारीयां प्रदान करता है जैसे कोई ब्लैक होल कैसे डार्क मैटर को ब्रह्माण्ड में वितरित करता है? ब्रह्माण्ड कैसे भारी तत्वों को निर्मित करता है और उसका वितरण कैसे किया जाता है? प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र ब्रह्माण्ड में मौजूद हैं वे ब्रह्माण्डीय स्तर पर क्या प्रभाव डाल सकते हैं या अभी डाल रहे हैं? इत्यादि। हीडलबर्ग इंस्टीट्यूट फॉर थ्योरेटिकल स्टडीज, मैक्स प्लैंक इंस्टीट्यूट्स फॉर एस्ट्रोनॉमी एंड एस्ट्रोफिजिक्स, हार्वर्ड यूनिवर्सिटी, मैसाचुसेट्स इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी और फ्लैटिरेन इंस्टीट्यूट सेन्टर फॉर कम्प्यूटेशनल एस्ट्रोफिजिक्स के शोधकर्ताओं ने नए ब्रह्मांड सिमुलेशन मॉडल को विकसित और क्रमादेशित किया है। इस साझा शोध सहयोग को इल्लुस्ट्रिस टीएनजी कहा जाता है। यह नया मॉडल अपने तरह का सबसे उन्नत ब्रह्मांड सिमुलेशन है। इस सिमुलेशन से हम समझ सकते हैं कि आकाशगंगाओं ने कैसे अपने तारा-गठन गतिविधि के साथ अग्रानुक्रम में अपने आप को कैसे विकसित किया है। जब हम एक दूरबीन का उपयोग करते हुए आकाशगंगाओं को देखते हैं और जानकारी या अध्ययन करते हैं तब हम केवल कुछ मात्रा को ही माप सकते हैं लेकिन सिमुलेशन के साथ हम आकाशगंगाओं के सभी गुणों को एक साथ ट्रैक कर सकते हैं। भविष्य में हमारी आकाशगंगा कैसे बदल सकती है इसकी जानकारी भी हमें इस सिमुलेशन में मिलती है। यह इल्लुस्ट्रिस टीएनजी सिमुलेशन हमें चुम्बकीय क्षेत्र के ब्रह्माण्ड पर होने वाले प्रभाव को समझने में मदद करता है।

9. वीएआर (वैल्यू इन रिस्क) में मान्टे-कार्लो सिमुलेशन— कम से कम सिमुलेशन जो कि जोखिम(वीएआर) मूल्यांकन में काफी सटीक मान के लिए चलाना चाहिए, आम तौर पर 1000 माना जाता है, लेकिन उद्योग मानक न्यूनतम 10000 सिमुलेशन है। वीएआर का मूल्यांकन करने के लिए मान्टे-कार्लो विधि, जो कि यादृच्छिक संख्या पीढ़ी पर आधारित है एक उत्तम विधि है। वीएआर एक जोखिम प्रबंधन मूल्यांकन उपकरण है जो कि अस्थिरता के पारंपरिक जोखिम माप को बढ़ाने के लिए विकसित किया गया है। वीएआर या तो किसी व्यक्तिगत परिसंपत्ति या निवेश के पूरे पोर्टफोलियो का एक निश्चित अवधि के दौरान और विश्वास के विशिष्ट स्तर के साथ संभावित हानि का उपाय करता है। मान्टे-कार्लो विधि संभावित निवेश प्राप्ति परिणाम की एक श्रृंखला का उत्पादन करने के लिए एक यादृच्छिक संख्या जनरेटर का उपयोग करता है। इस पद्धति की एक संभावित कमजोरी इस बात पर निहित है कि प्रारंभिक रूप से अव्यवस्थित ढंग से उत्पन्न संख्या के समग्र परिणाम हो सकते हैं, इसलिए कम से कम 1000 सिमुलेशन चलाने की अनुशंसा की जाती है। प्रत्येक सिमुलेशन अलग-अलग परिणाम पैदा करता है, लेकिन मान्टे-कार्लो सिमुलेशन एक उच्च संख्या के बीच एक छोटे औसत परिवर्तन में परिणाम देता है।

10. भारत में कम्प्यूटर सिमुलेशन के क्षेत्र में अनुसंधान एवं विकास— सीएसआईआर-सेंटर फॉर मैथमैटिकल मॉडलिंग एंड कंप्यूटर सिमुलेशन, बेंगलूर ने अत्यधिक प्रभाव वाले मौसम की घटनाओं जैसे चरम बारिश और धुंध के एपिसोड की विशेष चिंता के साथ विशेष रूप से भारत के लिए एक बहु-स्तरीय “पर्यावरण मॉडलिंग और पूर्वानुमान प्लेटफॉर्म” विकसित करने के लिए एक व्यापक कार्यक्रम शुरू किया है। कोहरे का प्रबंधन करने के लिए पूर्वानुमान आधारित दृष्टि पर जोर देने के लिए सीएसआईआर ने पूर्वानुमान मंच “द्रष्टि-कुहा” का विकास किया है। सीएमएमएसीएस में विकसित और कैलिब्रेटेड कोहरे पूर्वानुमान वाले प्लेटफॉर्म में एक अंतर्निहित फ्लाइंट अनुसूची निर्णय समर्थन प्रणाली है जो कोहरे के पूर्वानुमान और प्रबंधन पैरामीटरों के आधार पर उड़ान के पुनर्निर्धारण की अनुमति देता है। यह भारत की पहली और एकमात्र उड़ान अनुसूची निर्णय समर्थन प्रणाली है जिसमें उच्च-रिजोल्यूशन, लंबी दूरी की गतिशील पूर्वानुमान, पूरी तरह से इन-हाउस विकसित किए गए हैं। सीएमएमएसीएस वर्तमान में “उच्च-रेजोल्यूशन क्षेत्रीय वायुमंडलीय विश्लेषण (एचआईआरआरएएए) को मेसो-स्तरीय ऑब्जर्वेशन नेटवर्क फॉर अर्बन सिस्टम (मोनस)” के कार्यान्वयन में शामिल है। मोनस का उद्देश्य मॉडल अंशांकन और मॉडल सत्यापन के लिए कतिपय कमजोर स्थलों पर उच्च-रिजोल्यूशन डेटा सेट करना है। मोनस शुरू में दिल्ली पर मौसम संबंधी टावरों के साथ अवलोकन स्टेशनों का एक पैट होगा, जिसके बाद दूसरे शहरों में विस्तार होगा।

11. कम्प्यूटर सिमुलेशन के क्षेत्र में रोजगार के अवसर— कम्प्यूटर सिमुलेशन एक उच्च तकनीक उद्योग है जिसमें अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला है। अनुकरण के माध्यम से, विश्लेषक विस्तृत वर्चुअल सिस्टम बनाते हैं और जांचते हैं कि वे कैसे कार्य करते हैं। कम्प्यूटर सिमुलेशन कई क्षेत्रों में लागू किया जा सकता है, जिसमें जलवायु अध्ययन, द्रव गतिशीलता और सामग्री अध्ययन शामिल हैं। कम्प्यूटर सिमुलेशन पाठ्यक्रम कम्प्यूटिंग, समांतर कम्प्यूटिंग और समांतर एल्गोरिदम पर ध्यान केंद्रित करते हैं। कम्प्यूटर सिमुलेशन की अनेक क्षेत्रों में उच्च मांग है। निजी उद्योग और कई सरकार सिमुलेशन विशेषज्ञों को किराये पर लेती हैं जिसमें हवाई अड्डा योजनाकार, बैंकिंग विश्लेषक, औद्योगिक इंजीनियर, सिमुलेशन इंजीनियर, उत्पाद डिजाइनर और सिस्टम इंजीनियर शामिल हैं। देश के कई विश्वविद्यालयों में कंप्यूटर सिमुलेशन के क्षेत्र में विभिन्न पाठ्यक्रम संचालित किये जा रहे हैं। यह पाठ्यक्रम स्नातक एवं परास्नातक स्तर पर संचालित किये जाते हैं। कम्प्यूटर सिमुलेशन के क्षेत्र में भविष्य में रोजगार के अवसरों की अपार संभावनायें हैं ।

12. **निष्कर्ष**— कम्प्यूटर सिमुलेशन में सदा इस बात का ध्यान रखना चाहिये कि संवेदनशीलता विश्लेषण किया जाए। इससे पता चलता है कि परिणाम कितने विश्वसनीय हैं और कौन सा चर थोड़ा सा बदलने पर भी परिणाम में बहुत अधिक बदलाव ला सकता है। कम्प्यूटर सिमुलेशन एक शक्तिशाली औजार के रूप में उभर कर आया है, एक ऐसा औजार जो इक्कीसवीं शती में विज्ञान और तकनीकी में कार्य करने के तरीके में क्रान्तिकारी परिवर्तन लायेगा।

12. सन्दर्भ

1. तिवारी, राम कुमार(2013) आभासी प्रयोगशाला: एक प्रभावी शैक्षिक उपकरण, अनुसंधान विज्ञान शोध पत्रिका, खण्ड-1, अंक-1, मुद्रा 51-54।
2. बैंक, जे(1998) सिमुलेशन की पुस्तिका: सिद्धांत, पद्धति, अग्रिम, अनुप्रयोग, और अभ्यास, होबोकन: जॉन विली एंड संस।
3. स्टीनहौसर, मार्टिन ओ(2012) भौतिकी और इंजीनियरिंग में कम्प्यूटर सिमुलेशन, डे ग्रूटर द्वारा प्रकाशित।
4. बैंक, जे0; कार्सन, एस0 जे0; नेल्सन, बी0 एन0 एवं निकोल, डी0 एम0(2005) असतत् घटना सिस्टम सिमुलेशन, चौथा संस्करण), न्यू जर्सी: प्रेंटिस-हॉल, इंक।
5. फिशमैन, जी0 एस0(2001) असतत् घटना सिमुलेशन, न्यूयॉर्क: स्प्रिंगर।
6. गोल्डसमैन, डी0; नान्स, आर0 एवं विल्सन, आर0 जे0(2009) 1777 से 1981 तक सिमुलेशन का एक संक्षिप्त इतिहास, 2009 शीतकालीन सिमुलेशन सम्मेलन में पेश किया गया पेपर, ऑस्टिन।
7. हैरिंगटन, एच0 जे0 एवं तुमे, के0(2000) सिमुलेशन मॉडलिंग तरीके, न्यूयॉर्क: मैकग्रा हिल।
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_simulation
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Modeling_and_simulation
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_model