

SİMULASYON

Giriş

Prof. Dr. H. Kemal İlter



@hkilter

TEMEL KAVRAMLAR

Tanım

Simülasyon

Belirli durumlardaki davranışlarının belirlenebilmesi için bir sistemin laboratuvar ortamında oluşturulması.

Simülasyon çalışması (deneyi)

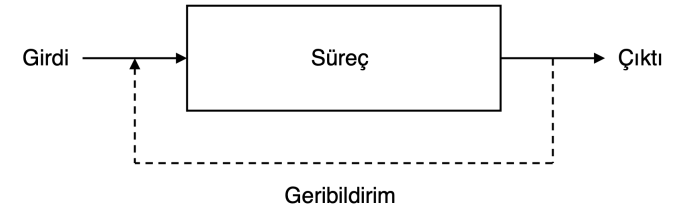
Bir sistemin çıktılarını veya davranışını tahmin etmek için tasarlanmış ve bilgisayarla yapılan bir matematiksel modelleme süreci.

Simülasyon modeli

1. Sistemin belirli bir durumu (state of the system).
2. Olası sistem durumları (possible states).
3. Olası olaylar (possible events).
4. Zamanın akışı (simulation clock).
5. Rastsal olaylar oluşturmak (randomly generating events).
6. Rastsallığı durum geçişleri için kullanmak (state transitions)

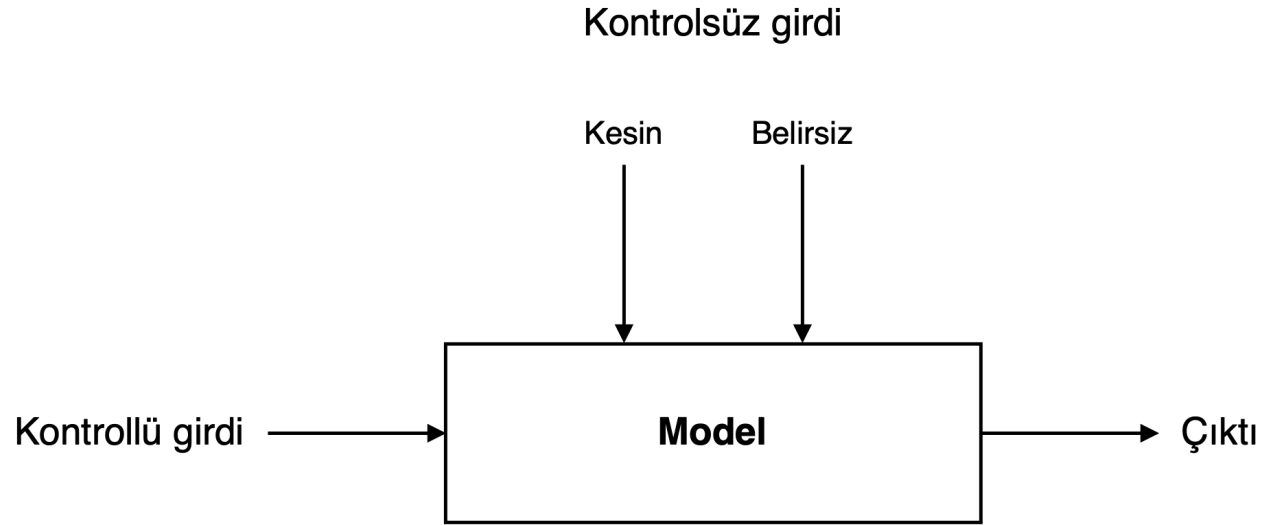
Sistem

Belirli bir amaç için birlikte çalışan alt-sistemler bütünü.



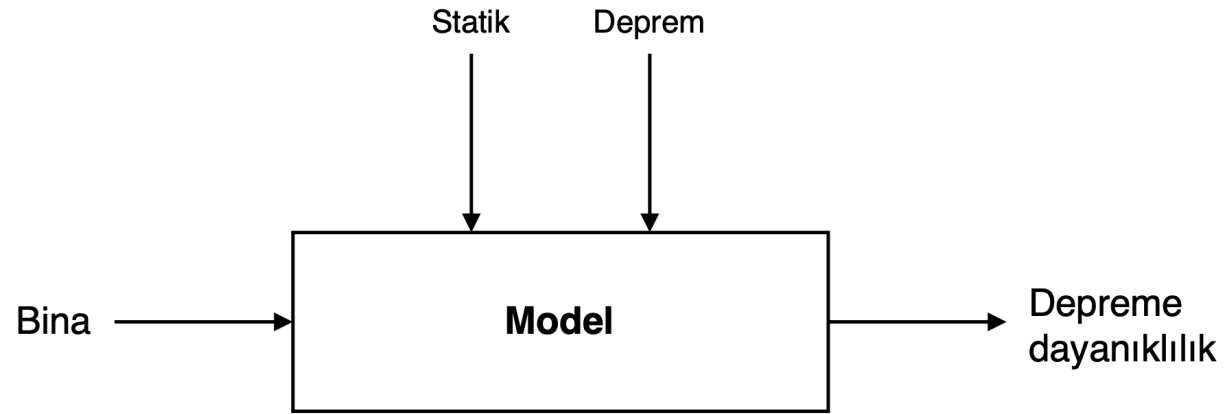
Stokastik sistem

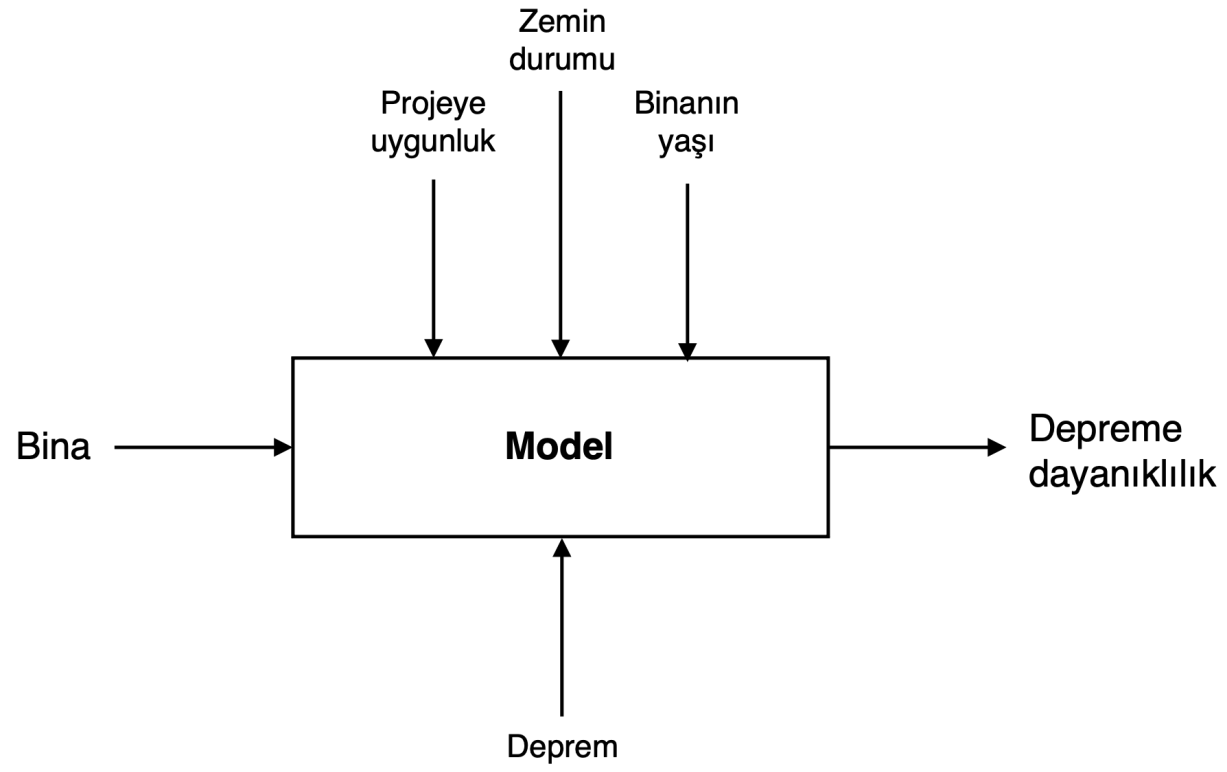
Olasılığa bağlı olarak zamanla evrilen sistem.



■ TEMEL KAVRAMLAR

Simülasyon Modeli







SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

Örnek: PortaCom

Problem

PortaCom şirketi dizüstü bilgisayarlar ve ilgili ekipmanları üretmektedir. PortaCom'un ürün tasarım grubu, yeni bir taşınabilir yazıcı için bir prototip geliştirmiştir. Yazıcı yenilikçi bir tasarıma sahiptir ve pazarda büyük bir pay alma potansiyeline sahiptir. Şirket yönetimi birinci yıl sonundaki kar/zarar durumunu öğrenmek istemektedir.

Ön pazarlama faaliyetleri ve finansal analizlere göre satış fiyatı, ilk yıl için yönetim maliyeti ve reklam maliyeti aşağıdaki gibidir:

Sabit değerler

Satış fiyatı = \$249/adet

Yönetim giderleri = \$400,000

Reklam giderleri = \$600,000

Planlama faaliyetlerine göre tahmin edilen maliyet ve talep aşağıdaki gibidir:

Tahmin edilen değerler

İşçilik maliyeti = \$45/adet

Parça maliyeti = \$90/adet

Birinci yılın talebi = 15,000 adet



SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

Örnek: PortaCom

$$\begin{aligned}\text{Kar} &= \text{Gelir} - \text{Gider} \\ \text{Gelir} &= (\text{Satış fiyatı} \times \text{Talep}) \\ \text{Gider} &= \text{Yönetim giderleri} + \text{Reklam giderleri} + \\ &[(\text{Birim işçilik maliyeti} + \text{Birim parça maliyeti}) \times \text{Talep}]\end{aligned}$$

Sabit değerlerin yerleştirilmesi

$$\begin{aligned}\text{Gelir} &= (249 \times \text{Talep}) \\ \text{Gider} &= 1,000,000 + [(c_1 + c_2) \times \text{Talep}]\end{aligned}$$

Kar fonksiyonu

$$\begin{aligned}\text{Kar} &= (249 \times \text{Talep}) - (c_1 + c_2) \times \text{Talep} - 1,000,000 \\ \text{Kar} &= (249 - c_1 - c_2)x - 1,000,000\end{aligned}$$

Tahmini senaryo

$$\begin{aligned}c_1 &= 45, c_2 = 90, x = 15,000 \\ \text{Kar} &= (249 - 45 - 90)15,000 - 1,000,000 = 710,000\end{aligned}$$

Değişime ilişkin varsayım

$$c_1 = 43 \rightarrow 47, c_2 = 80 \rightarrow 100, x = 1,500 \rightarrow 28,500$$

En iyi senaryo

$$\begin{aligned}c_1 &= 43, c_2 = 80, x = 28,500 \\ \text{Kar} &= (249 - 43 - 80)28,500 - 1,000,000 = 2,591,000\end{aligned}$$

En kötü senaryo

$$\begin{aligned}c_1 &= 47, c_2 = 100, x = 1,500 \\ \text{Kar} &= (249 - 47 - 100)1,500 - 1,000,000 = -847,000\end{aligned}$$



SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

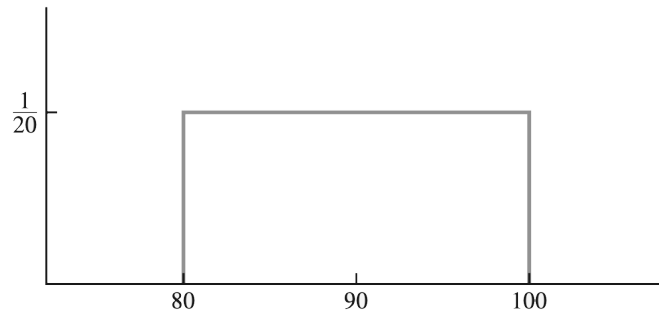
Örnek: PortaCom

Birim işçilik maliyetine ilişkin olasılık dağılımı

<i>İşçilik maliyeti</i>	<i>Olasılık</i>
\$43	0.1
\$44	0.2
\$45	0.4
\$46	0.2
\$47	0.1

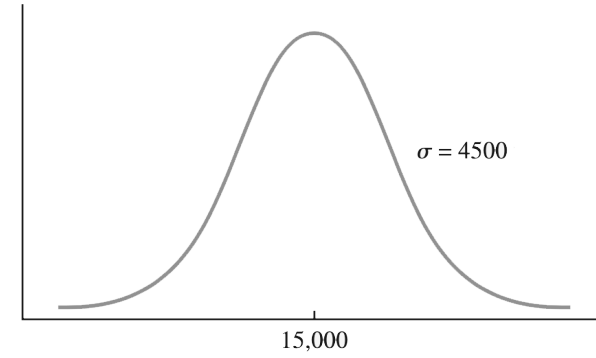
Birim parça maliyetine ilişkin olasılık dağılımı

\$80-\$100 arasındaki tüm değerlerin eşit gerçekleşme olasılığına sahip olduğu **düzgün dağılım** (uniform distribution)



Talebe ilişkin olasılık dağılımı

Ortalaması 15,000 ve standart sapması 4,500 olan **normal dağılım** (normal distribution)



Çözüm

 [ornek-portacom.xlsx](#)



SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

Sınıflandırma

Zaman

Kesikli simülasyon (Ayrık olay simülasyonu), sistemin, belirli bir olay olduğunda değişikliğe uğradığını varsayan çalışmalar olarak tanımlanabilir.

Sürekli simülasyon, sistemin işleyişinde zamanın sürekliliği dikkate alınarak yapılan simülasyon çalışmalarıdır.

Durağanlık

Statik simülasyon, sistemdeki anlık durum değişikliğinin takip edilebileceği, zamanla değişmeyen ve bu nedenle zaman akışını dikkate almayan modellerdir.

Dinamik simülasyon, zaman içinde değişen, gelişen ve evrilen sistemlere ilişkin modellerdir.

Değişkenlerin Belirliliği

Deterministik simülasyon, model içinde kullanılan değişkenlerin belirli olduğu ve deterministik algoritmalarla hesaplanabildiği çalışmalardır.

Stokastik simülasyon değişkenlerin rastsal değişimlerin bir sonucu olarak çıktığı çalışmalardır.

Melez Modeller

- ▶ deterministik ve statik modeller (Örn. x 'in bağımsız ve y 'nin bağımlı değişken olduğu birinci dereceden bir eşitlik),

$$y = 4x - 1$$

- ▶ stokastik ve statik modeller (Örn. bir para atışında yazı ya da tura gelme olasılığı),

$$P(Tura) = 1/2 = 0.5 = 50\%$$

- ▶ deterministik ve dinamik modeller (Örn. zamanın, t , bağımsız değişken olduğu bir diferansiyel eşitlik),

$$y(t) = 3e^{-t} + 2e^{-2t}$$

- ▶ stokastik ve dinamik modeller (Örn. tek sunuculu bir kuyruk sistemindeki bekleme sürelerine ilişkin model),

$$L = \lambda W$$

■ NEDEN?

Simülasyon çalışması, gerçek veya fiziksel bir sistemin çıktılarını veya davranışını tahmin etmek için tasarlanmış ve bilgisayarla yapılan bir matematiksel modelleme süreci olarak ele alınır.

Seçilen matematiksel modelin güvenilirliğini kontrol etmeye de imkan sağladığı için, simülasyon bir çok doğal (fizik, kimya, biyoloji) ve sosyal (ekonomi, psikoloji, sosyal bilimler, sağlık, mühendislik) sistemin modellendiği çalışma alanları için önemli bir araçtır.

Amaç, gerçek sistemin davranışlarının ve sistem çıktılarının benzerlerinin oluşturulması ve sistemin tanımlanmasıdır.

Çeşitli durumlarda bir analitik modelin simülasyonuna ihtiyaç duyulabilir.

Örneğin,

- ▶ analitik modele ilişkin tüm varsayımların anlamlı ve geçerli olmadığı durumlarda,
- ▶ istenen sonuçları elde etmenin matematiksel karmaşıklığından dolayı zor olduğu durumlarda,
- ▶ iyi (optimal olması gerekmeyen veya alt-optimal) çözümlerin yeterli olduğu durumlarda.



NASIL?

Birçok pratik problemin simülasyon modeli bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir. Bir simülasyon modelinin oluşturulmasında, problemin karmaşıklığı, simülasyon maliyeti, kullanıcı deneyimi, arzu edilen sonuçların detayları gibi nedenlerle kullanılan farklı bilişim tercihleri olabilir.

- ▶ Bir tablolama yazılımının kullanılması (MS Excel, Apple Numbers, Google Sheets, vb.; Risk, Crystal Ball gibi eklentilerle birlikte),
- ▶ Programlama dillerinin kullanılması (Python, FORTRAN, PL/1, C, Pascal, Basic, vb.),
- ▶ Simülasyon dillerinin kullanılması (GPSS, SIMAN, SLAM, vb.),
- ▶ Bir simülasyon yazılımının kullanılması (ARENA, PROMODEL, vb.). Simülasyon modellerini etkin kullanabilmek için, modelleme ve programlama bilgisinin yanısıra, istatistik bilgisinin de önemli olduğu görülmektedir.

Çeşitli Kullanım Alanları

Kuyruk sistemleri

Stok sistemleri

Üretim Sistemleri

Dağıtım ve taşıma sistemleri

Finansal risk analizi

Sağlık sistemleri

Savunma sistemleri

Karmaşık Simülasyon Örnekleri

- ▶ 1997, 66.239 aracın (tank, kamyon ve diğer askeri taşıt araçları) belirli bir bölgeyi ele geçirmesine ilişkin çöl savaşı simülasyonu (NASA)
- ▶ 2005, İnsan beyninin moleküler düzeydeki simülasyonu (BlueBrain, EPFL)
- ▶ 2005, Tüm canlılarda kompleks protein üretiminden sorumlu ribozomun 2,64 milyon atomlu modelinin simülasyonu (LANL)
- ▶ 2012, Mycoplasmagenitalium bakterisinin tüm yaşam döngüsünün simülasyonu (STANFORD)
- ▶ 2013, Bir milyar atomdan oluşan malzeme deformasyonu modelinin simülasyonu (IBM)

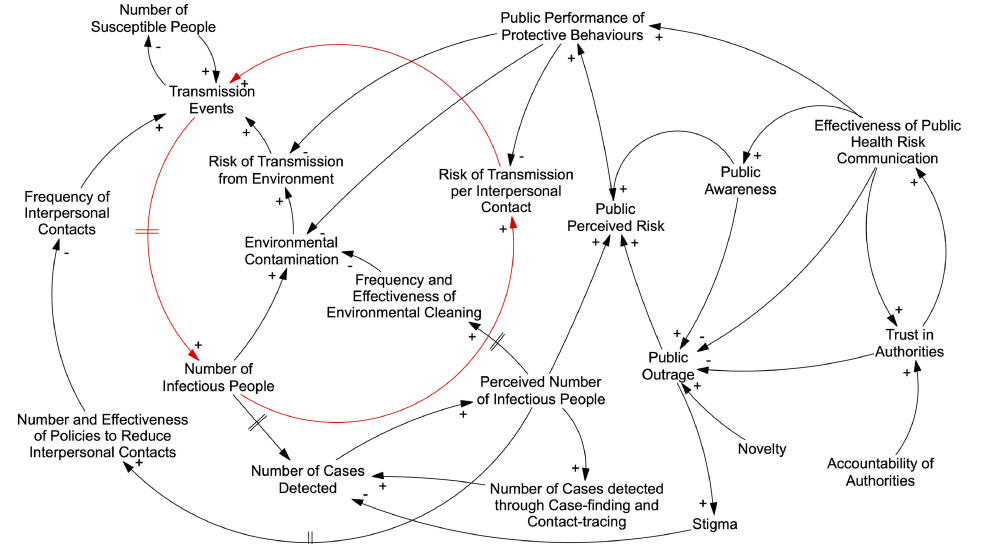


SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

Sistem Dinamiği (System Dynamics)

Sistem dinamiği yaklaşımı, alt-sistemlerin nedensel ilişkilerinin bir sistemin davranışını nasıl etkilediğine odaklanır. Bu yaklaşım, belirli bir sistemin döngüsel nedensellik içeren bir dizi basit süreç (Örn. *A* değişkeni, yine kendisini etkileyen *B* değişkenini etkiler) olarak modellenmesini sağlar.

Bu döngüsel nedensellik, güçlendiren ve artıran pozitif geribildirim veya zayıflatan ve azaltan negatif geribildirim şeklinde olabilir. Sistem dinamiği yaklaşımı, karmaşık nedensellik ve zamanlama içeren sistemlerin davranışlarının anlaşılmasında kullanım alanı bulmuştur.



COVID-19 tehdidi altındaki bir toplumdaki etkileşimli bileşenlerden bazılarını gösteren örnek *döngüsel nedensellik diyagramı* (casual loop diagram).

<https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100325>

<https://systemdynamics.org>



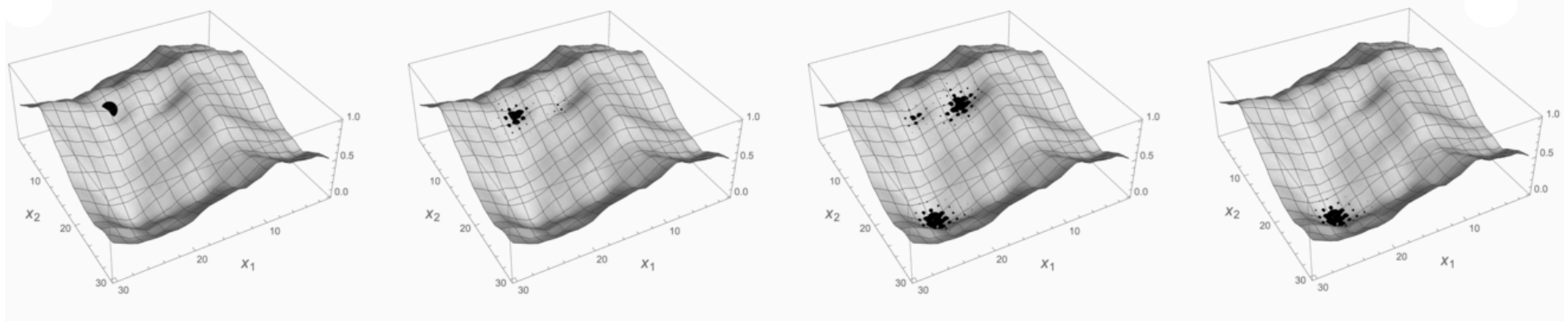
SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

NK Uyum Yüzeyleri (NK Fitness Landscapes)

NK uyum yüzeyleri yaklaşımı, sistem elemanları arasındaki ilişkilerin önemli olduğu durumlarda modüler bir sistemin, optimal noktaya ulaşmak için, ne kadar hızlı ve etkin uyum gösterdiğine odaklanır.

Bu yaklaşımda sistem, N sayıdaki düğümden oluşan bir küme ve kümedeki düğümler arasındaki K sayıdaki etkileşim yoluyla kavramsallaştırılır. Sistemin, optimal noktayı bulmak için, süregelen adımlar ve sıçramalar gibi uyum (adaptation) veya arama (search) stratejilerini kullandığı varsayılır.

NK uyum yüzeyleri yaklaşımı, düğümler arasındaki güçlü veya zayıf ilişkilerden etkilenen modüler bir sistemde uyumun ne kadar hızlı ve etkin optimum bir noktaya ulaştığının anlaşılması amacıyla kullanılır.





SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

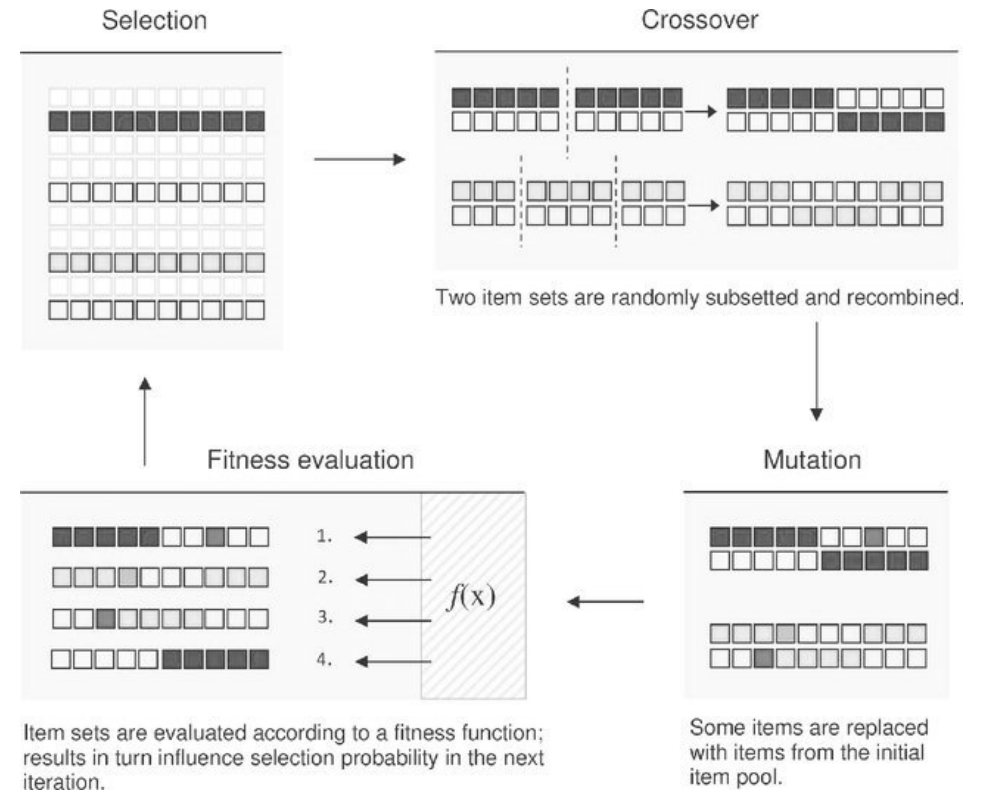
Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)

Genetik algoritmalar, genlerden oluşan heterojen bir popülasyonun ne kadar hızlı ve etkin öğrendiğine odaklanır. Adaptasyon, birikmiş deneyim yoluyla kademeli gelişimi destekleyen stokastik bir evrim süreci (çeşitlilik, seçim, üreme) aracılığıyla gerçekleşir.

- Çeşitlilik (variation) iki şekilde oluşur; mutasyon (hatalara yol açan bir ya da daha fazla gendeki rastsal değişim, mutation) ve genetik değişim (varolan genlerin bileşiminden sorumlu olan ajanlardaki gen kümelerinin rastsal değişimi, çaprazlama—crossover).
- Seçim, ajanların (genlerin) performanslarına (fitness) göre gerçekleşir.
- Üreme, seçilen ajanların bir nesilden diğerine kopyalanmasıdır.

Zamanla, başarılı çeşitliliğin korunma olasılığı daha yüksek olacak ve gelecekteki çeşitliliğin temelini oluşturacaktır. Sonunda popülasyonda yalnızca yüksek performanslı ajanlar kalacaktır ve genellikle tek bir ajan formu hayatta kalır. Bir popülasyonun evrimsel adaptasyonu, daha önce alınan kararların bir devamı olarak (path dependent), tümleşik (combinatorial) optimal bir forma doğru olacaktır.

Genetik algoritmalar, sistem bileşenlerinin veya popülasyon bireylerinin deneylerle iyileştirilmiş çözümleri nasıl öğrendiğini (adaptive learning) açıklamak için kullanılmaktadır.

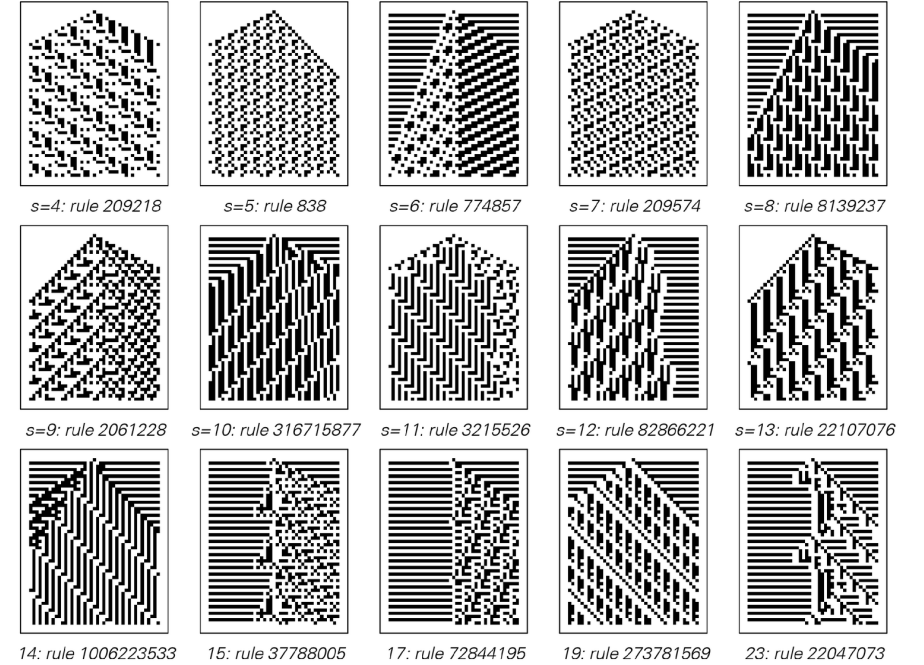




SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

Hücresel Otomata (Cellular Automaton)

Hücresel otomata, uzamsal olarak ilişkili yarı-zeki ajanlar arasındaki mikro düzeydeki etkileşimlerden makro düzey sistem modellerinin ortaya çıkmasına odaklanır. Uzamsal ilişki, bileşenlerin birbirlerini etkileme derecesinin aralarındaki uzaklığa bağlı olduğunu anlatır. Bileşenler, etkileşimin nasıl olduğuna ilişkin basit kurallara göre davranır. Kurallar, yakındaki bileşenlerin uzak olanlardan daha fazla etkilendiği uzamsal süreçlerle ilgili olmakla birlikte, genellikle tüm bileşenler için aynı ve deterministiktir. Hücresel otomata, makro düzeydeki örüntülerin, mikro-düzeydeki uzamsal süreçlerden (dağılma, yayılma, ayrışma, rekabet, vb.) nasıl ortaya çıktığını araştırmak için kullanılmaktadır.



<https://www.wolframscience.com/nks/notes-12-10-minimal-cellular-automata-for-sequences/>

<https://www.wolframscience.com>

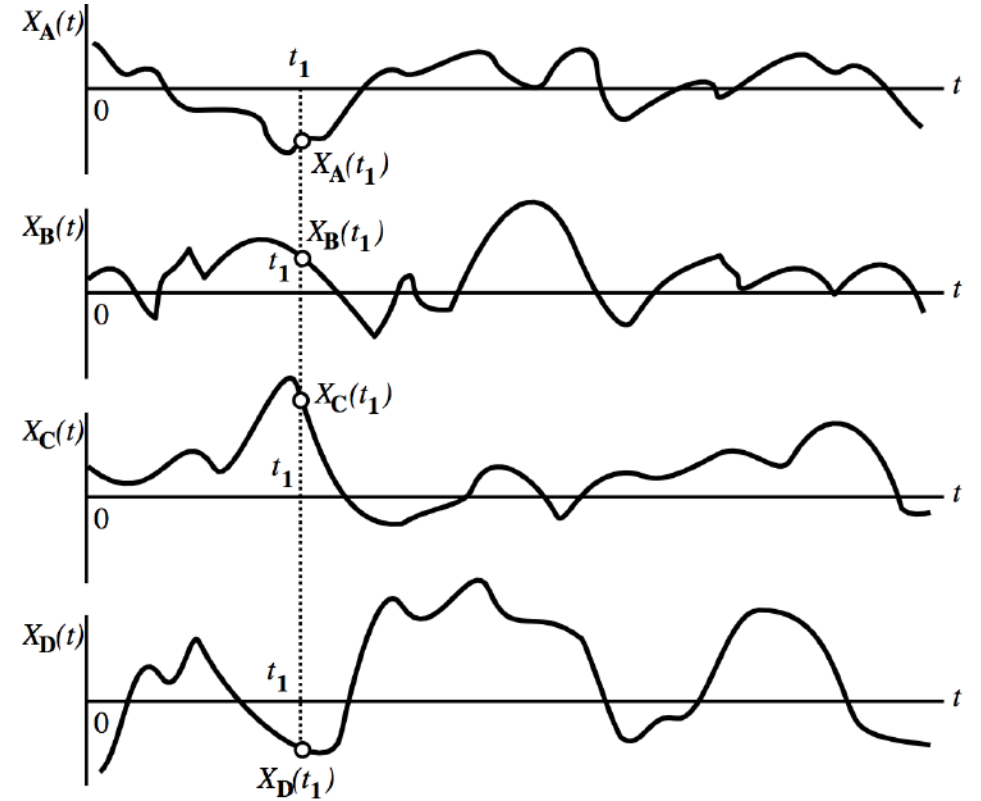


SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

Stokastik Süreçler

Stokastik süreçler, simülasyonların rastsal süreçlerle özel olarak tasarlanmalarını sağlayan esnek bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, üzerinde çalışılan sistem veya onun kuramsal dayanağı hakkında bir varsayımda bulunmaz ve yukarıda bahsedilen yapısal simülasyon kuramlarına veya varsayımlarına uymayan durumlar için kullanılır.

Dinamik değişkenliğe ya da zamansal geçişlere sahip sistemlerin farklı süreçlerinin bir araya getirilmesinde, rastsallığın çeşitli kaynaklardan (sistem çevresindeki olaylardan, süreçlerin zamansal ilişkilerinden veya sistemin kendi içinden) elde edildiği ve stokastik —basit ya da karmaşık— istatistiki dağılımlar olarak kullanıldığı görülmektedir. Simülasyonun oluşturulmasında genellikle bilinen süreçler (Örn. Markov zincirleri) ve rastsallık kaynakları (Örn. varış zamanları için Poisson dağılımı) kullanılır.





SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

Örnek: Para Atışı Deneyi

Problem

Para atışları, sonuçları Yazı (Y) veya Tura (T) ile sonuçlanacak olaylar olarak tanımlanabilir.

Bu örnekte, paranın dik düşme olasılığının olmadığı, parayı atan kişinin bu konuda bir profesyonelliğin olmadığı, paranın hilesiz olduğu varsayılmıştır.

Para havaya atılmakta ve sonuçlar not edilmektedir.

Olası sonuç uzayı iki alternatiften oluşmaktadır, (Y ve T).

Bu durum, deney sonucunda Y ve T 'nin ortaya çıkma olasılığının eşit ve %50 ($\frac{1}{2}$) olduğunu anlatmaktadır.

Teori ile pratik arasındaki fark nasıl açıklanabilir?

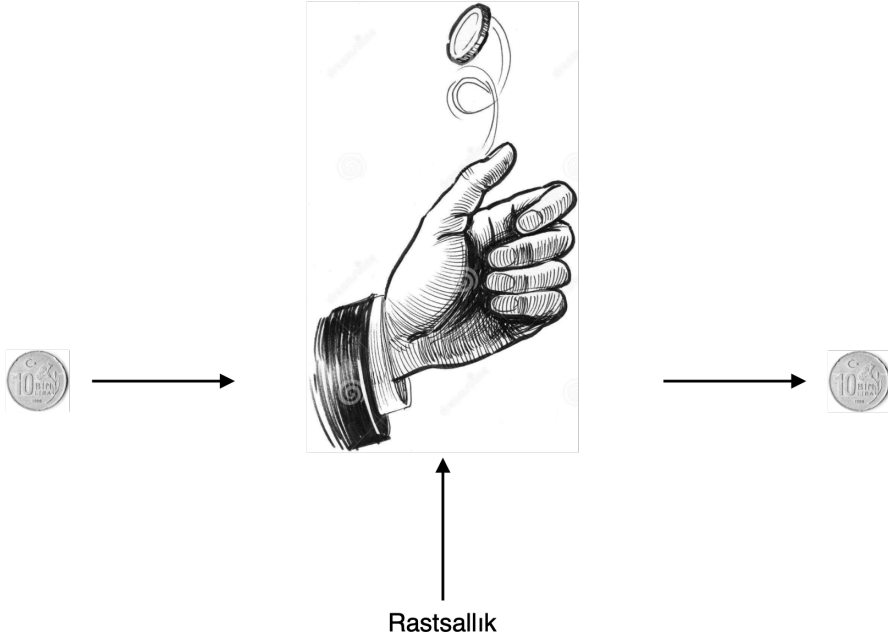




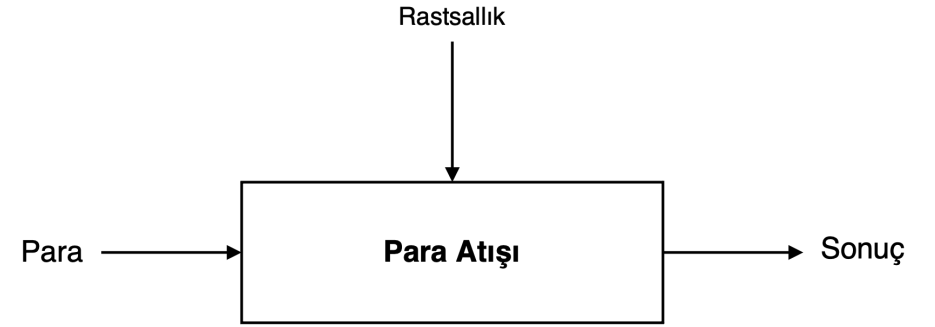
SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

Örnek: Para Atışı Deneyi

Deney



Simülasyon

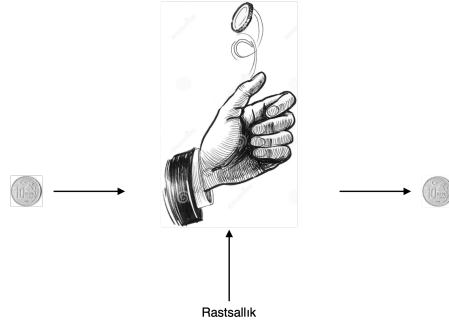




SİMÜLASYONUN TEMELLERİ

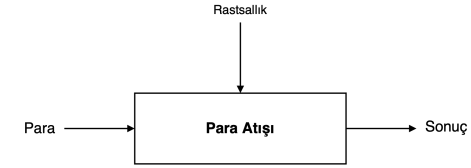
Örnek: Para Atışı Deneyi

Deney



<i>Tekrar no.</i>	<i>Sonuç</i>
1	Y
2	T
3	Y
4	Y
5	Y
6	T
7	T
8	Y
9	Y
10	T

Simülasyon



<i>Tekrar no.</i>	<i>Rastsal Sayı</i>	<i>Sonuç</i>
1	0.28	Y
2	0.67	T
3	0.03	Y
4	0.14	Y
5	0.47	Y
6	0.65	T
7	0.62	T
8	0.24	Y
9	0.48	Y
10	0.91	T





RASTSALLIĞIN ÜRETİLMESİ

Rastsal Sayıların Özellikleri

<i>Tekrar no.</i>	<i>Rastsal Sayı</i>	<i>Sonuç</i>
1	0.28	Y
2	0.67	T
3	0.03	Y
4	0.14	Y
5	0.47	Y
6	0.65	T
7	0.62	T
8	0.24	Y
9	0.48	Y
10	0.91	T



Rastsal Sayı Haritası

<i>Kümülatif Olasılık</i>	<i>Sonuç</i>
0.00–0.49	Y
0.50–0.99	T

Teori ve Pratik

<i>Sonuç</i>	<i>Tekrar</i>
Y	6
T	4
Y-T Oranı	1.50

Çözüm

 para-atisi.xlsx