



# KARMAŞIKLIK AÇIKLANDI

#KarmaşıklıkAçıkları  
#ComplexityExplained

# **İÇİNDEKİLER**

<b>1</b>	Etkileşimler	4
<b>2</b>	Ortaya çıkış	6
<b>3</b>	Dinamikler	8
<b>4</b>	Kendi kendine örgütlenme	10
<b>5</b>	Adaptasyon	12
<b>6</b>	Disiplinlerarasılık	14
<b>7</b>	Yöntemler	16

# KARMAŞIKLIK AÇIKLANDI

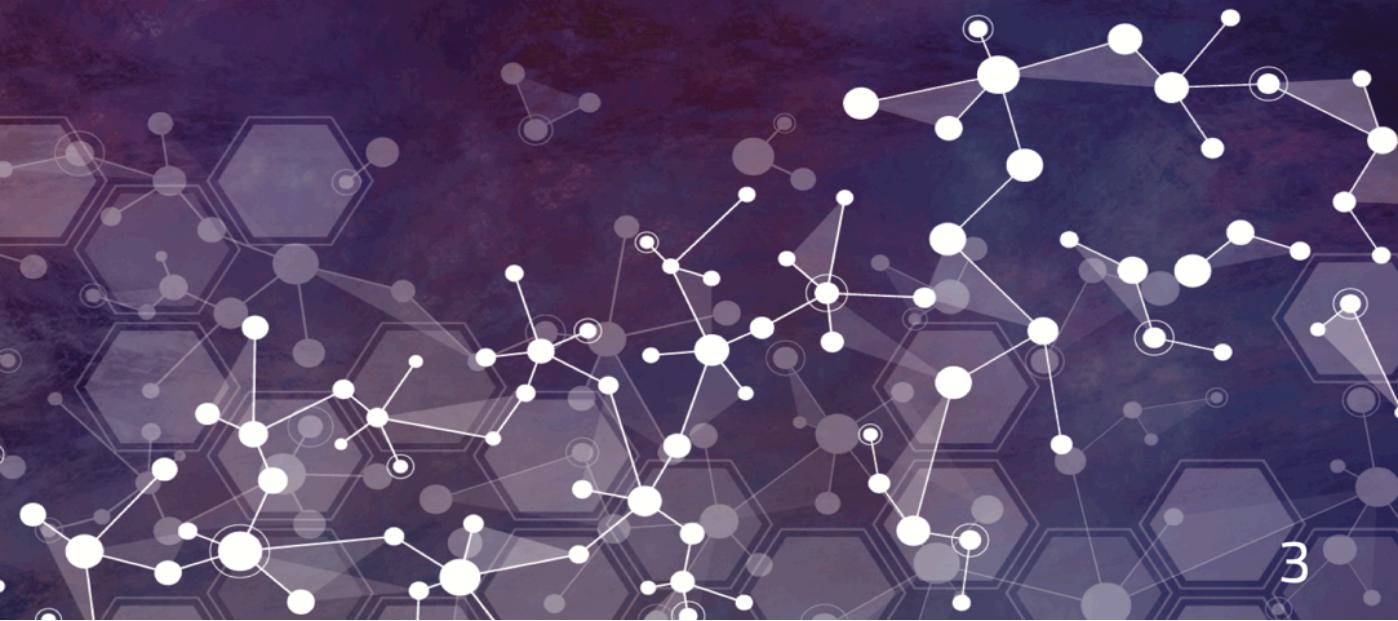


*“Bir karbon atomunda aşk yoktur, bir su molekülünde kasırga yok, bir dolarlık banknotta mali çöküş yok.”*

*Peter Dodds*

Karmaşık sistemler bilimi olarak da adlandırılan karmaşıklık bilimi, küçük ölçeklerde birbirleriyle lokal olarak etkileşen büyük bir bileşen toplumunun, büyük ölçeklerde önemsiz olmayan global yapıları ve davranışları göstermek için genellikle dışarıdan müdahale, merkezi otorite ve lider olmadan, kendiliğinden, kendini kendine nasıl organize olabileceğini inceler. Bu toplumun özellikleri, sadece bileşenlerinin tam bilgisinden anlaşılımaz veya öngörülemez. Böyle bir toplum karmaşık sistem olarak adlandırılabilir ve incelenmesi için yeni matematiksel yapılar ve bilimsel metodolojiler gerektirir.

İşte karmaşık sistemler hakkında bilmeniz gereken birkaç şey.





# ETKİLEŞİMLER

KARMAŞIK SİSTEMLER  
BİR BİRLERİYLE VE ÇEVRELERİYLE  
ÇEŞİTLİ ŞEKİLLERDE ETKİLEŞEN BİR  
ÇOK BİLEŞENDEN OLUŞURLAR.



*“Biyolojinin incelediği her konu bir sistemlerin sistemidir.”*

*Francois Jacob*

Karmaşık sistemler genellikle, birbirleriyle ve potansiyel olarak çevreleriyle de çeşitli şekillerde etkileşimde bulunan bir çok bileşen tarafından karakterize edilirler. Bu bileşenler, bazen bir çok etkileşime dahil olan sadece birkaç bileşen ile etkileşim ağları oluştururlar. Etkileşimler, bileşenleri tek başına anlamayı veya bileşenlerin geleceklerini tamamen öngörmeyi zorlaştıran yeni bilgiler üretebilirler. Buna ek olarak, bir sistemin bileşenleri de, biri diğerine bağımlı olan sistemlerden oluşan sistemleri yöneten, tamamen yeni sistemler olabilirler.

Karmaşıklık biliminin ana zorluğu sadece parçaları ve onların bağlantılarını görmek değil, ayrıca bu bağlantıların bütünü nasıl oluşturduğunu anlamaktır.

## ÖRNEKLER:

- İnsan beynindeki milyarlarca nöron etkileşimi
- Internette iletişim kuran bilgisayarlar
- Çok yönlü ilişkilerde insanlar

## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Sistem, bileşen, etkileşimler, ağ, yapı, heterojenlik, birbiriyle ilişkili olma, birbiriyle bağlantılı olma, bağlılık, alt sistemler, sınırlar, çevre, açık/kapalı sistemler, sistemlerin sistemleri.

## KAYNAKLAR:

Mitchell, Melanie.  
*Complexity: A Guided Tour.*  
Oxford University Press, 2009.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi.  
*The Systems View of Life: A Unifying Vision.*  
Cambridge University Press, 2016.



# ETKİLEŞİMLER 1



# ORTAYA ÇIKIŞ

KARMAŞIK SİSTEMLERİN BİR BÜTÜN OLARAK ÖZELLİKLERİ, AYRI AYRI BİLEŞENLERİNİN ÖZELLİKLERİNDEN ÇOK FARKLIDIR VE GENELLİKLE BEKLENMEDİKTİR.



*“Daha fazlasını elde etmek için daha fazlasına ihtiyacınız yok. Ortaya çıkışın anlamı budur.”*

*Murray Gell-Mann*

Basit sistemlerde, bütününe özelliklerini, bileşenlerinin toplanmasından veya bir araya getirilmesinden anlaşılabılır veya öngörülebilir.

Başka bir deyişle, basit bir sistemin makroskopik özellikleri, o sistemin parçalarının mikroskopik özelliklerinden çıkarılabilir. Ancak, karmaşık sistemlerde, “ortaya çıkış” (emergence) olarak bilinen olgu nedeniyle, bütününe özellikleri, genellikle bileşenlerinin bilgisinden anlaşılamaz veya öngörülemez. Bu olgu, yeni bilgiler üretmek ve daha büyük ölçeklerde basit olmayan kolektif yapılar ve davranışları sergilemek için, bir sistemin bileşenleri arasında etkileşime neden olan çeşitli mekanizmalar içerir. Bu gerçek, genellikle “bütün, parçalarının toplamından daha büyüktür” popüler tabiri ile özetlenir.

## ÖRNEKLER:

- Bir kasırga oluşturan çok miktarda hava ve buhar molekülleri
- Canlı bir organizma oluşturan çoklu hücreler
- Bir beyinde bilinci ve zekayı üreten milyarlarca nöron

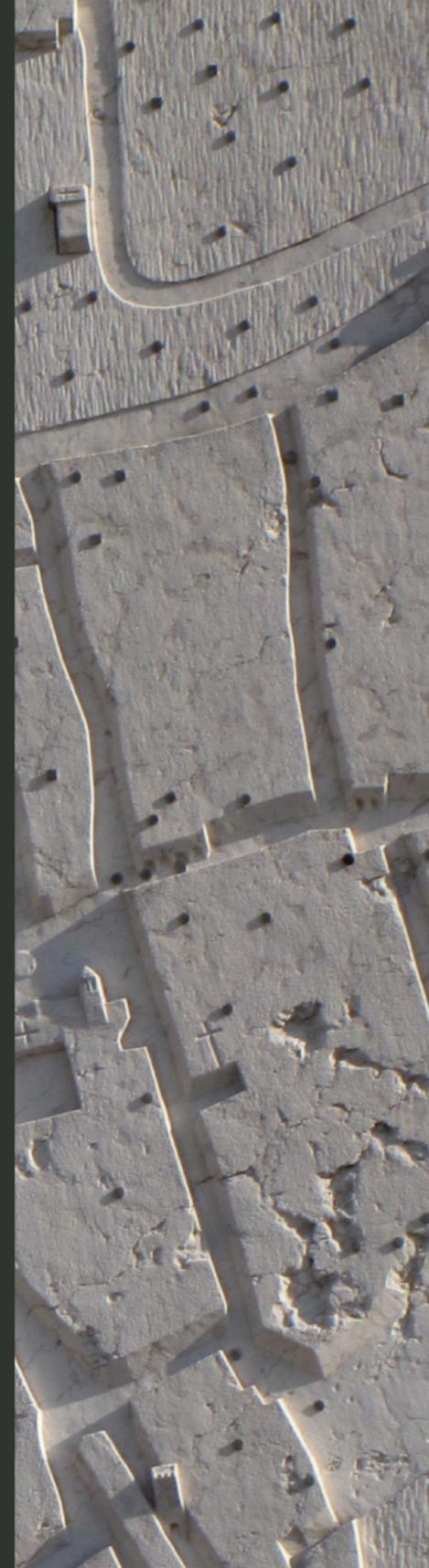
## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Ortaya çıkış (emergence), ölçekler, doğrusal olmama (non-linearity), alt üst, açıklama, süpriz, dolaylı etkiler, sezgisel olmayan, faz geçisi, indirgenemezlik, geleneksel doğrusal/istatistiksel düşüncenin yıkılması, “bütün, parçalarının toplamından daha büyktür.”

## KAYNAKLAR:

Bar-Yam, Yaneer.  
*Dynamics of Complex Systems.*  
Addison-Wesley, 1997.

Ball, Philip.  
*Critical Mass: How One Thing Leads to Another.*  
Macmillan, 2004.



ORTAYA ÇIKIŞ 2

# DİNAMİKLER

KARMAŞIK SİSTEMLER DURUMLARINI  
DİNAMİK OLARAK DEĞİŞTİRME  
EĞİLİMİNDEDİRLER, GENELLİKLE  
ÖNGÖRÜLEMEMEN UZUN VADELİ  
DAVRANIŞ GÖSTERİRLER.

*Kaos: şimdiki an, geleceği belirlerken,  
yaklaşık şimdiki anın, geleceği  
yaklaşıklıkla belirleyemeyeceğidir."*

*Edward Lorenz*

Sistemler, durumlarının zaman içindeki değişimleri açısından analiz edilebilir. Bir durum, sistemi en iyi karakterize eden değişkenler kümeleriyle tanımlanır. Sistem, durumunu bir durumdan diğer bir duruma değiştirirken, genellikle çevresine tepki vererek değişkenleri de değişir. Bu değişim, eğer zamanla, sistemin geçerli durumuyla, veya ortamdaki değişikliklerle doğrudan orantılı ise, doğrusal olarak adlandırılır, eğer onlarla orantılı değilse doğrusal değildir (non-linear'dır). Karmaşık sistemler tipik olarak doğrusal değildir, durumlarına ve çevrelerine bağlı olarak farklı oranlarda değişirler. Ayrıca, pertürbe edilse bile aynı kalabilen kararlı durumlara veya küçük bir perturbasyon ile bozulabilen sistemlerdeki kararsız durumlara sahip olabilirler. Bazı durumlarda, küçük çevresel değişiklikler sistemin davranışını tamamen değiştirebilir. Bunlar çatallanma (bifurcations), faz geçişleri veya "taşma noktası" kritik eşik (tipping points) olarak bilinirler.

Bazı sistemler “kaotik”tir, küçük perturbasyonlara karşı aşırı duyarlıdır ve uzun vadede öngörülemezdir, “kelebek etkisi” gösterirler. Karmaşık bir sistem de yola bağımlı olabilir, yani gelecekteki durumu, sadece şimdiki durumuna değil, aynı zamanda geçmiş tarihine de bağlıdır.

### ÖRNEKLER:

- Hava durumunun öngöremeyecek bir şekilde sürekli değişimi
- Borsadaki finansal dalgalanma

### İLGİLİ KAVRAMLAR:

Dinamikler, davranış, doğrusal olmama (non-linearity), kaos, denge dışı, duyarlılık, kelebek etkisi, çatallanma (bifurcation), uzun vadeli öngörülemezlik, belirsizlik, yol/bağlam bağımlılığı, ergodik olmayan.

### KAYNAKLAR:

Strogatz, Steven H.  
*Nonlinear Dynamics and Chaos.*  
CRC Press, 1994.

Gleick, James.  
*Chaos: Making a New Science.*  
Open Road Media, 2011.





# KENDİ KENDİNE ÖRGÜTLENME

KARMAŞIK SİSTEMLER, BASİT OLMAYAN DESENLERİ, BİR PLAN OLMADAN, KENDİLİĞİNDEN ÜRETMEK İÇİN KENDİ KENDİNE ORGANİZE OLABİLİRLER.



*“Morfojenler adı verilen, birlikte reaksiyona giren ve bir dokuya difüze olan, bir kimyasal maddeler sisteminin, morfojenezin ana fenomenlerini açıklamak için yeterli olduğu önerilmektedir ”*

*Alan Turing*

Bir karmaşık sistemin bileşenleri arasındaki etkileşimler global bir desen veya davranış üretebilir. Merkezi veya harici bir denetleyici olmadığından, bu genellikle kendi kendine örgütlenme olarak tanımlanır. Daha doğrusu, kendi kendini organize eden bir sistemin “kontrolü” bileşenler arasında dağıtilır ve bileşenlerinin etkileşimleri yoluyla entegre edilir. Kendi kendine örgütlenme, malzemelerin kristal desenleri ve canlı organizmaların morfolojileri gibi fiziksel/fonksiyonel yapılar veya balıkların sürü olma davranışları ve hayvan kaslarında yayılan elektrik darbeleri gibi dinamik/bilgilendirici davranışlar üretebilir.

Sistem bu süreç ile daha organize hale geldikçe, zamanla yeni etkileşim desenleri ortaya çıkabilir ve bu da potansiyel olarak daha fazla karmaşıklık üretimine yol açabilir.

Bazı durumlarda, karmaşık sistemler sadece rastgelelik ve düzenlilik arasındaki ince bir dengede varolan “kritik” bir durumda kendiliğinden organize olabilir.

Bu tür kendi kendini organize eden kritik durumlarda ortaya çıkan desenler, genellikle desen özelliklerinin kendine benzerliği ve kuvvet yasası (power-law) dağılımları gibi çeşitli kendine has özellikler gösterirler.

## ÖRNEKLER:

- Tek yumurta hücresinin bölünmesi ve sonuç olarak bir organizmanın kendi kendini organize ederek karmaşık bir şeke dönüşmesi
- Daha fazla insan ve para çektiğçe büyuyen şehirler
- Karmaşık sürü desenleri gösteren büyük bir sığircık nüfusu

## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Kendi kendine örgütlenme, kolektif davranış, sürüler (arı sürüleri), desenler, uzay ve zaman, düzensizlikteki düzen, kritiklik, kendi kendine benzerlik, patlama, kendi kendine organize olma kritiği, kuvvet yasaları (power laws), kalın kuyruklu dağılımlar, morfojenez, merkezi olmayan/dağılmış kontrol, güdümlü kendiliğinden organizasyon

## KAYNAKLAR:

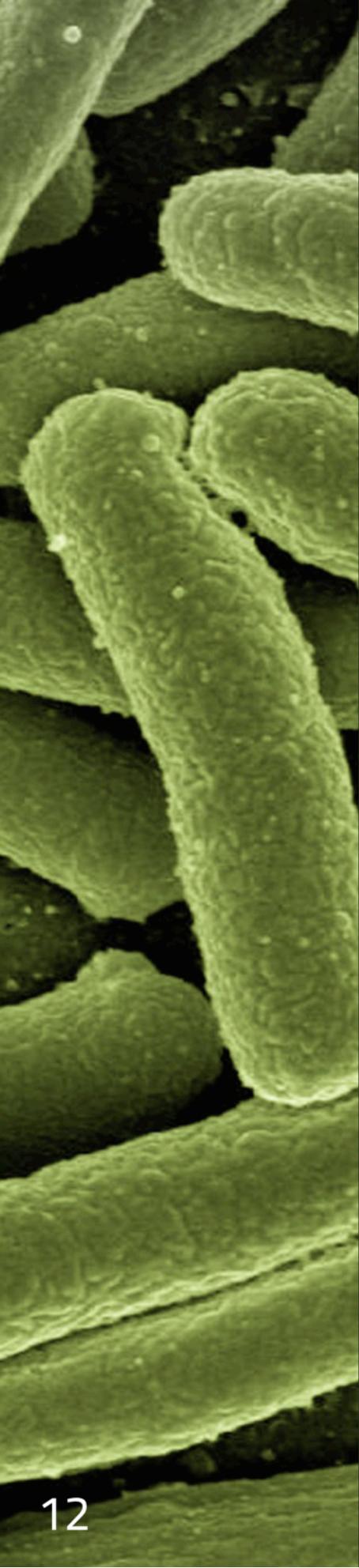
Ball, Philip.  
*The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature.*  
Oxford University Press, 1999.

Camazine, Scott, et al.  
*Self-Organization in Biological Systems.*  
Princeton University Press, 2003.



# KENDİ KENDİNE ÖRGÜTLENME

4



# ADAPTASYON

KARMAŞIK SİSTEMLER ADAPTE  
OLABİLİRLER VE EVRİM  
GEÇİREBİLİRLER.



*“Evrimin ışığı olmaksızın biyolojide  
hiçbirşeyin anlamı yoktur.”*

*Theodosius Dobzhansky*

Karmaşık sistemler yalnızca kararlı bir duruma doğru hareket etmek yerine, genellikle aktiftirler ve çevrelerine cevap verirler - bir tepenin dibine yuvarlanarak duran bir top ile uçarken rüzgar akımlarına uyum sağlayan bir kuş arasındaki fark. Bu adaptasyon birçok ölçüte meydana gelebilir: öğrenme ve psikolojik gelişim yoluyla bilişsel; sosyal bağlar aracılığıyla bilgi paylaşımı yoluyla sosyal; ya da genetik varyasyon ve doğal seleksiyon yoluyla evrimsel.

Bileşenleri zarar gören ya da eksilen sistemler çoğunlukla adapte olabilirler ve yitirdikleri fonksiyonlarını tekrar geri kazanabilirler ve hatta bazen eskisinden daha iyi bir duruma gelebilirler. Bu, sağlamlık; perturbasyonlara dayanma yeteneği, esneklik; büyük bir bozulmadan sonra orijinal durumuna geri dönme yeteneği veya adaptasyon; işlevsel ve hayatı kalmak için sistemin kendisini değiştirme yeteneği ile elde edilebilir. Bu özelliklere sahip karmaşık sistemler, karmaşık adapte sistemler olarak bilinirler.

## ÖRNEKLER:

- Patojenler hakkında sürekli öğrenen bağışıklık sistemi
- Höyüğünün neden olduğu zararları onaran termit kolonisi
- Tarihindeki milyarlarca yılda sayısız kriz olayından kurtulan karasal yaşam

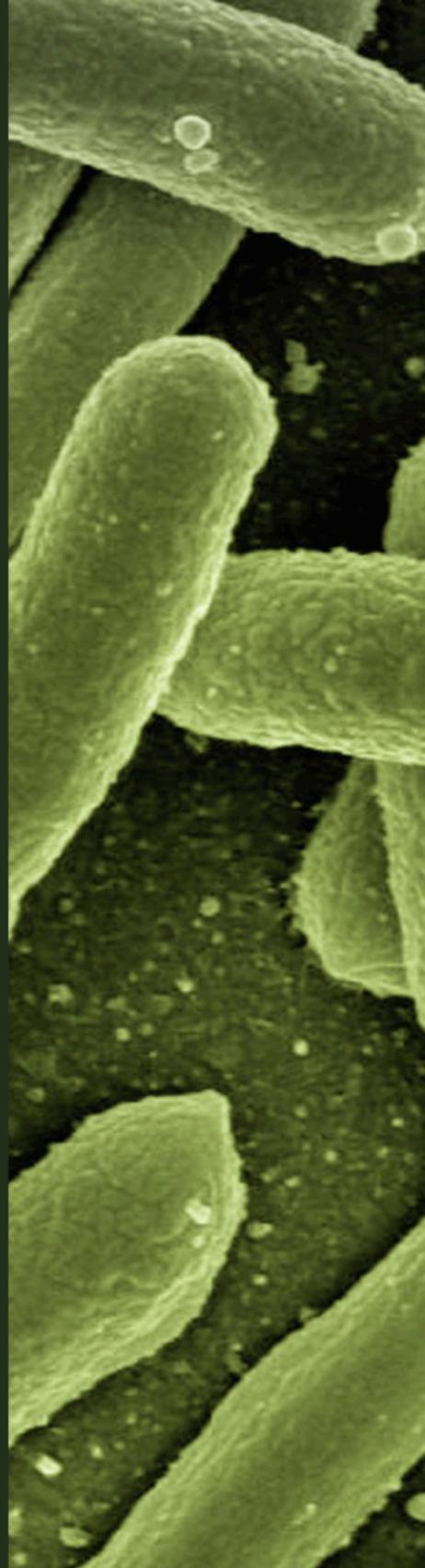
## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Öğrenme, adaptasyon, evrim, adaptif evrim manzaraları, sağlamlık, esneklik, çeşitlilik, karmaşık adapte olabilen sistemler, genetik algoritmalar, yapay yaşam, yapay zeka, sürü zekası, yaratıcılık, açık uçluluk.

## KAYNAKLAR:

Holland, John Henry.  
*Adaptation in Natural and Artificial Systems.*  
MIT press, 1992.

Solé, Ricard y Elena, Santiago F.  
*Viruses as Complex Adaptive Systems.*  
Princeton University Press, 2018.



# ADAPTASYON 5



# DİSİPLİNLERARASILIK

KARMAŞIKLIK BİLİMİ, BİRÇOK ALANDA  
ÇOK ÇEŞİTLİ SİSTEMLERİ ANLAMAK  
VE YÖNETMEK İÇİN KULLANILABİLİR.



*“Ancak, çeşitli karmaşık sistemler arasında ortak özellikler aramak tamamen boşuna olmayabilir... Geri bildirimler ve bilgi, çok çeşitli durumları görüntülemek için bir referans sistemi sağlar.”*

*Herbert Simon*

Fizik, biyoloji, ekoloji, sosyal bilimler, finans, işletme, yönetim, politika, psikoloji, antropoloji, tıp, mühendislik, bilgi teknolojisi ve daha fazlası dahil olmak üzere tüm bilimsel ve profesyonel alanlarda karmaşık sistemler ortaya çıkar. Sosyal medya ve mobil teknolojilerden otonom araçlara ve blok zincirine kadar en son teknolojilerin çoğu, toplumsal refahı anlamak ve öngörmek için çok önemli olan, ortaya çıkış özelliklerine sahip karmaşık sistemler üretirler.

Karmaşıklık biliminin anahtar bir kavramı olan evrensellik, farklı alanlardaki birçok sistemin, aynı bilimsel modeller kullanılarak tanımlanabilecek ortak temel özelliklere sahip olgular sergilediği fikridir. Bu kavramlar, çok disiplinli matematiksel/bilgisayar hesaplamalı yeni bir yapıyı garanti eder.

Karmaşıklık bilimi, her alanda belirli bir konuya odaklanan geleneksel bilimsel yaklaşımlara, tamamlayıcı, kapsamlı, disiplinler arası analitik bir yaklaşım sağlayabilir.

## ÖRNEKLER:

- Çeşitli bilgi işlem sistemlerinin ortak Özellikleri (sinir sistemi, internet, iletişim altyapısı)
- Çeşitli yayılma süreçlerinde bulunan evrensel desenler (salgın hastalıklar, geçici ilgi-modा, orman yangınları)

## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Evrensellik, çeşitli uygulamalar, çok disiplinli, disiplinlerarası, çapraz disiplin, disiplinler ötesi, ekonomi, sosyal sistemler, ekosistemler, sürdürülebilirlik, gerçek dünya sorunlarını çözme, kültürel sistemler, günlük yaşamda karar verme ile alakalı.

## KAYNAKLAR:

Thurner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter.

*Introduction to the Theory of Complex Systems.*

Oxford University Press, 2018.

Page, Scott E.

*The Model Thinker*

Hachette UK, 2018.



**DISİPLİNLERARASILIK 6**

# YÖNTEMLER

MATEMATİKSEL VE BİLGİSAYAR  
HESAPLAMALI YÖNTEMLER,  
KARMAŞIK SİSTEMLERİ İNCELEMEK  
İÇİN GÜÇLÜ ARAÇLARDIR.



*“Tüm modeller yanlıştır, ancak bazıları kullanışlıdır.”*

George Box

Karmaşık sistemler, basitçe sezgi veya kağıt kalemlle hesaplanarak keşfedilemeyen birçok değişken ve konfigürasyon içerir. Alternatif olarak, bu sistemlerin nasıl yapılandığını ve zamanla nasıl değiştiğini görmek için neredeyse her zaman ileri matematiksel ve bilgisayar hesaplamalı modelleme, analiz ve simülasyonlar gereklidir.

Bilgisayarlar yardımıyla, bir dizi varsayımsal kuralın doğada gözlenen bir davranışa yol açıp açmayacağı kontrol edebilir ve sonra bu kurallarlarındaki bilgilerimizi farklı "ya olursa" senaryolarının öngörülerini oluşturmak için kullanırız. Bilgisayarlar, insan gözüyle görülemeyen saklı desenleri ortaya çıkarmak ve görselleştirmek için karmaşık sistemlerden gelen büyük verileri analiz etmede de kullanılır.

Bu bilgisayar hesaplama yöntemleri, doğa anlayışımızı ve doğaya verdigimiz değeri derinleştiren keşiflere yol açabilir.

## ÖRNEKLER:

- Küş sürüsü için aktör temelli modelleme
- Beynin matematiksel ve bilgisayar modellemeleri
- İklim tahmini yapan bilgisayar modellemeleri
- Yaya dinamiğinin bilgisayar modellemeleri

## İLGİLİ KAVRAMLAR:

Modelleme, simülasyon, veri analizi, metodoloji, aktör tabanlı modelleme, ağ analizi, oyun teorisi, görselleştirme, kurallar, anlama.

## KAYNAKLAR:

Pagels, Heinz R.  
*The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity.*  
Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki.  
*Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems.*  
Open SUNY Textbooks, 2015.





*“Sanırım bir sonraki [21.] yüzyıl karmaşıklığın yüzyılı olacak .”*

*Stephen Hawking*

## KATKIDA BULUNANLAR

Manlio De Domenico\*, 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\*

(\* Sorumlu yazarlar)

mdedomenico[at]fbk.eu

sayama[at]binghamton.edu

## TEŞEKKÜRLER

Tasarım ve düzenleme: **Serafina Agnello**

✉ [serafina.agnello\[at\]gmail.com](mailto:serafina.agnello[at]gmail.com)

**in** [Serafina Agnello](#)

<https://complexityexplained.github.io/>

## **Katkı ve geri bildirim sağlayanlara özel teşekkürler :**

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.

## **Türkçe'ye çevirenler :**

**G.Cigdem Yalcin, Nazmi Yilmaz, Serda Kecel Gunduz**

## **Teşekkürler :**

**Yani Skarlatos, K.Gediz Akdeniz**



**Serafina Agnello**

Versión 1.0 (13 de mayo de 2019) (En Inglés)

Traducción al Español: 13 de julio de 2019.