

RASTGELELİK VE ENTROPİDEN ZAMAN OKUNA

LENA ZUCHOWSKI

VakıfBank Kültür Yayınları: 0408
Bilim: 006

RASTGELELİK VE ENTROPİDEN ZAMAN

OKUNA

LENA ZUCHOWSKI

Özgün Adı

*From Randomness and Entropy to the
Arrow of Time*

Türkçesi

Mustafa Bayrak

Yayın Danışmanı

Ekrem Demirli

Proje Editörü ve Son Okuma

Baha Zafer

Sayfa Uygulama ve Kapak

Faruk Özcan

VakıfBank Kültür Yayınları

İnkılap Mahallesi

Dr. Adnan Büyükdenez Caddesi

No: 7/A1 - Kat 13

34768 Ümraniye / İstanbul

Telefon: 0 216 285 9571

www.vbky.com.tr - info@vbky.com.tr

Sertifika No: 40141

© Vakıf Pazarlama San. ve Tic. A.Ş., 2025

© Lena Zuchowski, 2024

ISBN 978-625-5848-37-6

*Kitabın Türkçe yayın hakları Kalem Telif
Hakları Ajansı aracılığıyla VakıfBank
Kültür Yayınları'na aittir. Tanıtım
amacıyla, kaynak göstermek şartıyla
yapılacak sınırlı alıntılar dışında,
yayıncının yazılı izni olmaksızın
hiçbir elektronik veya mekanik araçla
çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve
mali hakları saklıdır.*

Baskı

Mega Basım Yayın San. ve Tic. A.Ş.

Cihangir Mah. Güvercin Cad. No: 3/1

Baha İş Merkezi A Blok Kat: 2

34310 Haramidere, Avcılar / İstanbul

Tel: 0 212 412 1700

www.mega.com.tr - info@mega.com.tr

Sertifika No: 44452

1. Baskı: Kasım 2025

RASTGELELİK
VE
ENTROPİDEN
ZAMAN OKUNA

LENA ZUCHOWSKI

TÜRKÇESİ
MUSTAFA BAYRAK



LENA ZUCHOWSKI

Bristol Üniversitesi Felsefe bölümünde öğretim üyesi olarak görev alan Lena Zuchowski'nin araştırma alanları arasında bilimsel modelleme; jeomorfoloji ve kriminoloji metodolojisi; rastlantısallık, kaos ve karmaşıklık teorisinin temelleri; dijital teknoloji felsefesi ve Hannah Arendt'in etik ve siyaset felsefesi yer almaktadır. Bugüne kadar yayımladığı kitapları arasında *A Philosophical Analysis of Chaos Theory* (Palgrave Macmillan, 2017) ve *The Legacy of Tatjana Afanassjewa: Philosophical Insights from the Work of an Original Physicist and Mathematician* (Springer, 2021) yer almaktadır.

MUSTAFA BAYRAK

1994 yılında Ankara'da doğdu. 2017 yılında İstanbul Tıp Fakültesi'nden mezun oldu. 2018 yılında aynı fakültenin Fizyoloji bölümünde başladığı doktorasına devam etmektedir. İstanbul Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde pratisyen hekim olarak görev yapmaktadır. Bayrak'ın VakıfBank Kültür Yayınları'ndan *Zamanın Olmadığı Bir Evren: Gödel ve Einstein'ın Unutulan Mirası* (2024) , *Marie Curie ve Radyoaktivite Bilimi* (2025) ve *Nikolas Kopernik: Dünya Gezegen Olunca* (2025) çevirileri bulunmaktadır.

İÇİNDEKİLER

Özet	7
1 Giriş	9
2 Rastgelelik ve Düzensizliği Tanımlamanın Üç Yolu	17
3 İki Entropi Yaklaşımı	39
4 İkinci Kanunun İki Versiyonu	69
5 Üç Zaman Oku	91
6 Sonuçlar	111
Kaynaklar	117

ÖZET

Bu kitap Zaman Okunu, entropide temellendirmenin farklı çıkarım yollarını yeniden inşa eder, inceler ve karşılaştırır. Ayrıca entropi ve görünür düzensizlik arasındaki ilişkiyi ve bununla bağlantılı olan Zaman Okunun düzenden görünür düzensizliğe geçişle uyuştugu iddiasını değerlendirir. Metinde Zaman Okunun üç farklı entropide temellendirilme teklifine yer verilmiştir: (1) Deneysel Zaman Oku, (2) Evrensel İstatistiksel Zaman Oku ve (3) Yerel İstatistiksel Zaman Oku. Burada aynı zamanda yüksek entropi durumlarının her zaman görünür düzensizlikle örtüşmesinin mümkün olmadığı gösterilecektir. Böylece Zaman Okuyla görünür düzensizlik arasında güçlü bir bağlantı olduğu iddiası çürütülecektir.

Anahtar kelimeler: entropi, rastgelelik, ikinci kanun, zaman oku, termodinamik

GİRİŞ

Zamanın yönlü olması bize aşıkârmış gibi görünür: Kendi yaşlanma sürecimizde, geçmişe dair anılarımız varken geleceğe ilişkin benzer bir şeyin söz konusu olmamasında ve etrafımızdaki sebep ile sonuçları anlama ve kullanma şekillerimizde bu yönlülüğün etkilerini deneyimleriz. Felsefeciler ilk zamanlardan beri deneyimlediğimiz bu yönlülüğü en iyi nasıl açıklayabileceğimiz üzerine kafa yormuşlardır (Bu konuda kaleme alınan önemli metinlerin bir derlemesi için bkz. Le Poidevin & Macbeath, 1993) ve tartışmalar çoğunlukla olayların geçmiş, şimdi ve gelecek şeklinde doğru bir biçimde nasıl sıralanacağı sorusuna odaklanmıştır.

Ayrıca fizikçiler ve felsefeciler eskiden beri doğada zamanın yönlülüğüne dair deneyimimizi “temellendirmede” kullanılabilecek başka yönlü nicelikler bulmaya çalışmışlardır. “Temellendirme” kavramı felsefede tartışma konusudur (konuya ilişkin bir değerlendirme için bkz. Correia & Schnieder, 2012); öncelikle bu genelde “nedeniyle” ilişkisi biçiminde açıklanır. Dolayısıyla Zaman Okunun fiziksel bir nicelikte temellendirilmesi, zamanın yönlülüğüne ilişkin deneyimimizin bu nicelik ve onun özellikleri nedeniyle ortaya çıktığı anlamına gelir. Kitapta bunu, temel teşkil eden niceliğin temellendirilen niceliği tanımlamada ve/veya açıklamada kullanılabileceği anlamına gelecek şekilde ifade edeceğiz (Bunu yaparken genel hatlarıyla Sklar, 1993, 388-396. sayfalarda verilen “temellendirme” açıklamasını takip edeceğiz; ayrıca bkz. 5. Bölüm). Zaman Oku örneğinde bunun fiziksel

bir nicelikte temellendirilmesi, ideal şartlarda bu nicelikle ilişkili kanunları deneyimlediğimiz şekliyle zamanın yönlülüğünü tanımlamanın yanı sıra neden bu şekilde deneyimlediğimizi de açıklamada kullanabileceğimiz anlamına gelir. Bu tür temellendirmeler için farklı fiziksel nicelikler öne sürülmüştür (detaylı bir liste için bkz. Roberts, 2022, 116. sayfa): Örneğin temel parçacık bozunumlarındaki asimetritler, elektromanyetik dalgaların yönlülüğü, kozmik genişlemenin yönlülüğü bunlar arasında yer alır. Ancak en eski ve en önemli örneklerden biri Zaman Okunu, termodinamik veya istatistiksel mekanikte işlenen entropi kavramında temellendirme çabasıdır. Entropinin farklı tanımları vardır (3. Bölüm) fakat genellikle düzensizliğin ölçüsü olarak kabul edilir; bu nedenle Zaman Okunun entropide temellendirilmesi, bir yandan da zamanla düzensizlik arasında bir bağlantı kurulmasını sağlar.

Bu kitapta Zaman Okunun entropide temellendirilmesini inceleyeceğiz. Dolayısıyla bu temellendirmenin bahsi geçen alternatif önerilerden üstün olduğunu iddia etmek gibi bir düşüncem yok. Daha ziyade buradaki amaçlarım şu şekildedir:

- 1. Amaç:** Zaman Okunu entropide temellendirmenin farklı çıkarım yollarını yeniden inşa etmek, incelemek ve karşılaştırmak.
- 2. Amaç:** Entropi ve görünür düzensizlik arasındaki ilişkiyi ve bununla bağlantılı olan Zaman Okunun düzenden görünür düzensizliğe geçişle uyduğu iddiasını değerlendirmek.

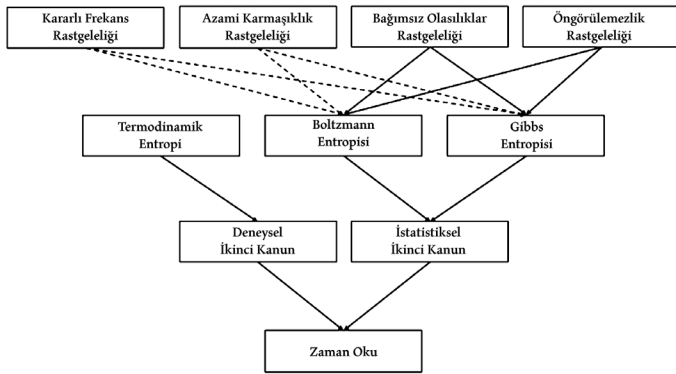
Burada Zaman Okunun entropide temellendirmenin dayanaklarını özellikle rastgelelik, entropi ve termodinamiğin ikinci kanununu kavramları üzerinden inceleyeceğiz. Bu temel kavramların her biri için birden fazla tanım söz konusu olduğu için temellendir-

menin farklı versiyonlarının bu kavramların farklı kombinasyonlarından oluşan farklı temelleri olacaktır. Öte yandan bu temeller Zaman Okunun temellendirilmesinin farklı çıkarım yolları olarak görülebilir. Zaman Okunun entropide temellendirilmesinin kavramlara bağlılığını inceleme yeni ve diğerlerinden farklı olarak kapsamlı bir yaklaşımdır ve birtakım avantajları vardır:

1. Zaman Okunun farklı entropide temellendirilmeleri arasındaki ayrımları, kavramsal temellerdeki farklara kadar izleyerek tespit etmemizi sağlayacak;
2. Farklı entropide temellendirmenin tüm çıkarım yollarına ait epistemik dezavantajları ve avantajları belirlememize yardımcı olacak;
3. Zaman Okunun farklı entropide temellendirilmelerinin çıkarımlarını termodinamik ve istatistiksel fiziğin en önemli tartışmaları bağlamına yerleştirmemize ve bu tartışmaların farklı çıkarım yollarını nasıl etkilediğini göstermemize imkân tanıyacak;
4. Entropi ve düzensizlik arasındaki ilişkiyi uygun çıkarım aşamasında değerlendirmemizi, böylece Zaman Okuyla düzensizlik arasında olduğu öne sürülen örtüşmeyi incelemeyi mümkün kılacaktır.

Yukarıda saydığım sebepler Zaman Okunun farklı entropide temellendirmelerin bağımlı kavramlar şeklinde incelenmesi, bu kitap dizisinin fizik felsefesinde eğitim alan lisansüstü ve son sınıf lisans öğrencileri için belirli bir konuda eşsiz bir yorum ve giriş sunma amacı doğrultusunda mükemmel bir çerçeve ortaya koyar. Nitekim bu kitap bir bakıma Bristol Üniversitesi'nde dördüncü sınıf ve yüksek lisans öğrencilerinin kredili dersi olan fakat doktora öğrencileri ve öğretim görevlilerinin de sıklıkla kâtildikları *İleri Fizik Felsefesi* dersi için hazırladığım altı sunuma

dayanmaktadır. Ancak bu öğretici bir metinden ibaret değildir: Aynı zamanda Zaman Okunun entropide temellendirilmesinin farklı çıkarım yollarının karşılaştırmalı analizinin özgün anlayışlara kapı araladığını ve bu yolların her birinin olası kıldığı farklı temellendirme versiyonları hakkında kişinin karşılaştırmalı bir hükme varmasına imkân tanıdığını göstereceğim (1.1. Bölüm, 1. Amaç). Ayrıca istatistiksel entropinin görünür düzensizliğin bir ölçüsü olduğu iddiasına yönelik özgün bir değerlendirme sunacağım.



Şekil 1. Zaman Okunun entropide temellendirilmesinin temel kavramları ve çıkarım yolları.

1.1. BAĞIMLI KAVRAMLAR OLARAK ZAMAN OKUNUN ENTROPİDE TEMELLENDİRME

Kitabın ilk amacı (1. Amaç) Zaman Okunun entropide temellendirilmesinin farklı çıkarım yollarını yeniden inşa etmek, incelemek ve karşılaştırmaktır. 1. Amaç Zaman Okunun entropi-

de temellendirilmesinin temel kavramları rastgelelik, entropi ve termodinamiğin ikinci kanunu olmak üzere bağımlı kavramlar oldukları önermesine dayanır. Bu farklı entropide temellendirmelerin farklı çıkarım yollarının, daha sonra temel kavramların farklı versiyonlarının çıkarımına ayrılabilceği anlamına gelir. Bugüne kadar ortaya atılan tüm rastgelelik veya entropi yaklaşımlarını incelememiz elbette mümkün değildir. Fakat temel kavramların her biri için bilhassa kavramsal veya tarihi öneme sahip olanlarını belirledim. Özellikle rastgeleliğin tanımlanmasındaki üç yaklaşımın üzerinde duracağım (2. Bölüm): Süreç Rastgeleliği (2.1. Bölüm), Fenomenolojik Rastgelelik (2.2. Bölüm) ve Kapsayıcı Rastgelelik (2.3. Bölüm). Ardından entropinin üç tanımını ortaya koyacağım (3. Bölüm): Termodinamik Entropi (3.1. Bölüm), İstatistiksel Boltzmann Entropisi (3.2.1. Bölüm) ve İstatistiksel Gibbs Entropisi (3.2.2. Bölüm). Entropinin üç tanımından hareketle termodinamiğin ikinci kanununun iki tanımı yapılabilir (4. Bölüm): Deneyisel ikinci kanun (4.1. Bölüm) ve istatistiksel ikinci kanun (4.2. Bölüm). Son olarak iki farklı ikinci kanun kullanılarak zamanın yönü için üç farklı temellendirme belirlenebileceğini göstereceğim: (Az önce bahsettiğim) Deneyisel Zaman Oku (5.1. Bölüm), Evrensel İstatistiksel Zaman Oku (5.2. Bölüm) ve Yerel İstatistiksel Zaman Oku (5.3. Bölüm). Farklı temel kavramlar ve bunların farklı çıkarım yollarındaki kavramlarla olan ilişkileri Şekil 1’de gösterilmiştir. 6. Bölümde bu şeklin önceki bölümde tüm çıkarım yolları için elzem olduğunu belirlediğimiz varsayımları da içerecek şekilde güncellenmiş bir versiyonunu paylaşacağım.

Verdiğim temellendirme tanımına göre Zaman Okunun entropide temellendirilmelerinin her birinin, deneyimlediğimiz hâliyle zamanın yönü için bir temellendirmenin tanımlayıcı ve/veya açıklayıcı bileşenine uygun olduğunu göstereceğim. Özel-

likle Deneysel Zaman Okunun zamanın yönü için bir temellendirmenin tanımlayıcı bileşenini karşıladığını öne süreceğim (5.1. Bölüm). Evrensel İstatiksel Zaman Okunun ise bu tür bir temellendirmenin hem tanımlayıcı hem de açıklayıcı bileşenini karşılama noktasında ciddi bir potansiyel taşıdığını (5.2. Bölüm), Yerel Zaman Okunun da açıklayıcı bileşeni karşılama potansiyeline sahip olduğunu göstereceğim (5.3. Bölüm). Ayrıca Evrensel ve Yerel Zaman Okunun çeşitli varsayımlara bağlı olduğunu ortaya koyacağım. Bu varsayımların doğru olup olmadıkları hâlâ fizikçiler ve felsefeciler arasında tartışma konusudur ve doğruluklarının şüpheyi yer bırakmayacak şekilde gösterilmesi kozmoloji, nörobilim ve biyolojideki geçmişten gelen meselelerin çözülmesini gerektirir. Zaman Okunun entropide temellendirilmesi konusunda “vaziyetin” nasıl olduğuna dair incelikli bir bakış açısı kazandıktan sonra 6. Bölümde ilerideki araştırmalar için geniş kapsamlı üç sonuç ortaya koyacağım.

1.2. ENTROPİ, DÜZENLİLİK VE ZAMAN OKU

İstatistiksel entropinin görünür düzensizliğin bir ölçüsü olarak kavramsal yorumu, istatistiksel mekanik tarihinin çok erken dönemlerinde ortaya konmuştur (Clausius ve Boltzmann’ın nasıl kullandığına ilişkin bir özet için bkz. Haglund, 2017, 206. sayfa). Yıllarca bu şekilde süregelen, felsefe ve fizik ders kitaplarında sıklıkla entropi kavramına giriş olarak kullanılmıştır (bir listesi için bkz. Haglund, 2017; Rickles, 2016). Entropiyi görünür düzensizliğin ölçüsü olarak görmek, aynı zamanda Zaman Okunun entropide temellendirilmesini ve zamanı düzensizlikle ilişkilendirmenin bir aracı olarak görmenin de önünü açar: Zaman Oku entropi artışı yönüne işaret ediyorsa, düzensizlik artışı yönüne

de işaret ediyor demektir. Bu ilişki sıklıkla entropi artışının göstergesi olarak kabul ettiğimiz türden süreçlere örnek vermek için kullanılır: Bir bardağın başlangıçta tek parça ve simetrik olması, daha sonra kırılarak düzensiz cam parçaları hâline gelmesi yaygın kullanılan bir örnektir. Görünürde düzensiz olan durumun daha yüksek entropiye sahip olması, aşikâr bir gerçek olarak kabul edilir.

Entropinin görünür düzensizliğin ölçüsü olarak yorumlanmasının iki temel sonucu vardır:

- Evrenin seyrinin (kabaca) düzenden düzensizliğe doğru olması gerektiğini, bu nedenle evrimin ve diğer biyolojik süreçlerin düzen ve düzensizlik bağlamında incelenebileceğini öne süren kavramsal argümanlara imkân tanır.
- Entropi ile görünür düzensizliği açıklamaya çalışan matematiksel kavram olan rastgelelik arasında doğal bir bağlantı kurar.

1. Sonuç bu kitabın esas konusu değildir fakat süreçleri artan düzen ve (görünür) düzensizlik üzerinden açıklama eğilimi, istatistiksel mekaniğin diğer akademik alanlara “ihraç ettiği” en önemli “ürünlerden” biridir. Özellikle biyolojik ve toplumsal süreçleri düzenden düzensizliğe doğru doğal bir ilerleme olarak açıklamayı hedefleyen birçok proje vardır (örneğin Gregersen, 2003; Hershey, 2009; Aoki, 2012). Hershey (2009, 9. sayfa) tipik bir örnek verir:

Basitçe söylemek gerekirse entropi insan bedenindeki, şirketler gibi sözüm ona cansız kuruluşlardaki ve hatta evrendeki düzen ve düzensizliğin bir ölçüsüdür. Bu yaşılanan sistemler kendi başlarına bırakıldıklarında kendiliğinden düşük entropi eş deyişle düzenden yüksek entropi yani düzensizliğe doğru ilerlerler.

Yaşamdan, azami düzensizlik veya azami entropi olan ölüme giderler.

Bu tür analizlerin bu kadar yaygın olması, entropiyi görünür düzensizliğin bir ölçüsü olarak gören anlayışın hâlâ geçerli olduğunu ve epistemik öneme sahip olduğunu gösterir. Bu bağlamda 2. Amaç, yani bu yorumun geçerli olup olmadığının yeniden değerlendirilmesi için meşru bir zemin teşkil eder. 2. Sonuç entropi ve entropinin seyri hakkındaki tartışmalarda çok farklı şekillerde kendisine yer bulmuştur. Bu kitapta göreceğimiz gibi bir yandan (entropi artışını varsayan) ikinci kanunun geçerliliğini göstermek için ortaya konulan basit sistemde sıklıkla bir tür süreç rastgeleliği (2.1. Bölüm) kullanılır ve bu da genellikle görünürde düzensiz, yüksek entropi taşıyan olguların ortaya çıkmasına neden olur (4.2. Bölüm). Öte yandan doğada hiçbir fenomenolojik rastgelelik tasavvuruyla (2.2 Bölüm) uyuşmadığı hâlde yüksek entropiye sahip olan olguların varlığı, entropiyi görünür düzensizliğin bir ölçüsü olarak gören anlayışın hatalı olduğunu savunmak için kullanılmıştır (Burgers, 1970; Denbigh, 1999; Frenkel, 1999). (Görünürde daha düzensiz olan) sıvı hâline kıyasla kristal formunda daha fazla entropiye sahip olan maddeler vardır (Frenkel, 1999, 27-28. sayfa; Gobbo *et al.*, 2020). 3.3. Bölümde entropinin gerçekten de rastgelelikle kavramsallaştırılan görünür düzensizliğin bir ölçüsü olarak kullanılamayacağını savunacağım. Yine de istatistiksel entropi soyut düzensizliğin bir ölçüsü olarak yorumlanabilir, yani yüksek entropi senaryoya bağlı bir faz uzayında ve bölünmede rastgele bir dağılıma işaret eder. Bu şekilde entropiyi düzensizliğin bir ölçüsü olarak görmenin hâlâ faydalı olabileceğini fakat bununla ilişkili düzen kavramının daha soyut olması gerektiğini ve görünür düzensizliğe indirgenemeyeceğini öne süreceğim.