



## Termodinamiğin Yasalarına Fiziğin ve Felsefenin Penceresinden Farklı Bir Bakış

### A Different Viewpoint on the Laws of Thermodynamics from the Perspective of Physics and Philosophy

Ünal Çamdalı<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 06100 Ankara, Türkiye

Başvuru/Received: 05/05/2024 Kabul/Accepted: 12/06/2024 Çevrimiçi Basım/Published Online: 30/06/2024  
Son Versiyon/Final Version: 30/06/2024

#### Öz

Kanunlar pozitif manada etkin bir otorite tarafından tespit edilmiş, emredici yaptırımlar olarak tanımlanmaktadır. Tanım, gerek doğa gerekse de sosyal alanlardaki örfi ve hukuki kurallar için de anlamlıdır. Ancak doğa yasalarında nesne eşyadır. Eşyanın davranışı sonucu gelişen sebep ile sonuç arasındaki bağın (ilişkinin) ortaya çıkarılmasıdır. Ortaya çıkarılan bağın genel olması gerekmektedir, kanıtlanması da önem ifade etmektedir. Zira söz konusu yasalar, normatif değildir ayrıca matematiksel denklemlerle ifade edilir. Kimilerine göre bu denklemler, evrensel ve ebedi gerçeklerin yansımasıdır.

Sosyal ve hukuki yasaların yaşamın doğal akışına paralel olarak zamanla değiştiği bilinmektedir. Gelişmelere paralel olarak bilimsel yasalar bile değişebilmektedir. Kaldı ki fizik yasaları mekanik ve kuantum gibi farklı evrenlerde farklı çalışmaktadır. Simetri, ölçek ve kuantum yasaları değişime en güzel örneklerdir.

Bu makalede mühendislik anlayışına göre ortaya konan termodinamiğin kanunlarının (yasalarının), fizik ve felsefe biliminin bakış açılarından (paradigmalarından) yararlanılarak değişimleri ile ilgili anlam sorgulaması yapılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Termodinamik, yasalar, kavramlar, değişim, fizik, felsefe”

#### Abstract

In the literature, laws are defined as mandatory rules determined by an authoritative body with positive effectiveness. This definition is also meaningful for both customary and legal rules in natural and social domains. However, in the laws of nature, the object is the thing itself. These laws aim to reveal the relationship between cause and effect that develops as a result of the object's behavior. Additionally, the relationship revealed must be general, and it is important to prove it. This is because the laws in question are not normative and are expressed through mathematical equations. According to some, these equations are expressions of universal and eternal truths.

It is known that social and legal laws change over time, in parallel with the natural flow of life. Moreover, even scientific laws change in line with developments. The laws of physics also work differently in various contexts such as mechanics and quantum mechanics. Symmetry, scale, and quantum laws are prime examples of such changes.

In this article, the meaning of the laws of thermodynamics, as defined from an engineering perspective, is examined based on their changes through the lenses (paradigms) of physics and philosophy.

#### Key Words

“Thermodynamics, laws, concepts, variation, physics, philosophy”

## 1. Giriş

Mühendislik diğer pek çok bilimden farklı özellikler taşımaktadır. Mühendisler sadece kütüphanelerde yazılan kitaplara ihtiyaç duymazlar. Kütüphanede olmayan kitaplara ve bilgilere de ihtiyaç duyarlar. Bu bakımdan mühendisliğin *bilgi teorisi* farklıdır. Ancak mühendisliğin bilgi teorisi ile ilgilenen mühendislerin sayısı azdır. İlgili alanda daha çok felsefeciler ile diğer sosyal bilimciler vardır. Bu da mühendisliğin bilgi teorisinin gelişmesinde ve daha ileri noktalara taşınmasında, bazı sıkıntıların yaşanmasına neden olmaktadır. Zira farklı disiplinlerdeki bilimcilerin alana katkısı, doğal olarak sınırlı kalmaktadır (Vincenti, 2008).

Mühendisliğin doğasında bilginin üretilmesinden ziyade kullanılması söz konusudur. Bilgi kullanılıncaya da teknolojiye, üretime ve ekonomiye dönüşmektedir. Bilgi üretilmeden daha iyi (verimli) makineler ve üretim yapmak mümkün değildir. O halde mühendislerin uygulamaya değer vermesi kadar bilgi üretimine de değer vermesi, önem ifade etmektedir. Mühendislik alanına teorik noktada temel bilimcilerin (matematikçilerin, fizikçilerin ve kimyacıların) katkıları yadsınmaz gerçektir. Özellikle termodinamik bilimi açısından bunu söylemek gerekir.

Bu makalede mühendislik anlayışına dayalı olarak ortaya konan termodinamiğin kanunlarının (yasalarının), fizik ve felsefe biliminin bakış açılarından (paradigmalarından) yararlanılarak değişimleri hususunda sorgulanması yapılmıştır. En azından gayret edilmiştir.

## 2. Kanun (Yasa) Nedir?

Literatürde kanunlar, pozitif manada etkin bir otorite tarafından tespit edilmiş, emredici yaptırımlar olarak tanımlanmaktadır. Tanım, gerek doğa gerekse de sosyal alanlardaki örfi ve hukuki kurallar için de anlamlıdır. Ancak doğa yasalarında nesne eşyadır. Eşyanın davranışı sonucu gelişen sebep ile sonuç arasındaki bağın (ilişkinin), ortaya çıkartılmasıdır. Bağın genel olması gerekmektedir, kanıtlanması da önem ifade etmektedir. Zira söz konusu yasalar, normatif değildir ayrıca matematiksel denklemlerle ifade edilir. Kimilerine göre denklemler, evrensel ve ebedi gerçeklerin yansımasıdır (Bolay, 1989; Guillen, 2001).

Doğa yasalarının ortaya konmasında, sadece doğa bilimcileri etkili olmamıştır. Felsefeciler de yasaların özellikleri ve anlaşılması konusunda, etkili olmuştur. İki farklı alandaki bilim insanlarının düşünce ve çalışmaları, yasaların daha net olarak belirlenmesine ve bu konudaki gelişime katkı sağlamıştır.

## 3. Kanunların Evrimi

Antik Yunanda kanunların, daha çok tanrılarla ilgili açıklamalar ile akıl üzerine ortaya konulan düşünceler şeklinde kabul edildiği ifade edilmektedir. Bu dönemde Demokritos'un atom düşüncesi etkilidir. Aristo'nun tümevarım yolu ile mutlak kanunlara erişilebilir olması yönünde ortaya koyduğu prensip de ilginçtir (Bolay, 1989).

Orta Çağ'da kanun anlayışı, Yüce Yaratıcı Bir İradenin, emredici kuralları olarak kabul edilmiştir. İslam Dünyasında ise kelamcılar ve tabiatçılar, Yunan düşünce sisteminden etkilenmiştir. Sadece etkilenmekle kalmamış, onu geliştirmişlerdir. Aynı dönemde Türk filozof Farabi'nin determinizme (gerekirciliğe) yol açan fikirler ortaya koyduğu bilinmektedir (Bolay, 1989).

Rönesans sonrası dönemde kanunların, insani ve ideal düzene ait olan şeyler olmayıp, eşyanın düzenine ait olan ve matematiksel denklemlerle ifade edilen prensipler olduğu düşüncesi hâkim olmuştur. Bu bağlamda günümüzde korunum yasaları şeklinde ifade edilen ilkeler, Dekart gibi filozoflarca doğa yasaları şeklinde tanımlanmıştır. Tanıma göre doğa ve âlem mekanik yapıdadır, hayvan bile makinadır (Bolay, 1989).

Modern anlamda kanun anlayışının, Galileo ile başladığı kabul edilmektedir. Galileo; Bacon ve Dekart'ın ortaya koyduğu tümevarım–tümdengelim yaklaşımlarını toparlayarak hipotetik–tümdengelim yönteminin gelişimine öncülük etmiştir. Galileo'ya göre kanun, doğa olaylarında ortaya çıkan olguların, ölçülebilir olanlarını ölçmek, ölçülemeyenleri de indirgemek prensibine dayanmaktadır. Dolayısıyla doğa bilimleri deneyseldir (Bolay, 1989; Varolun, 2019).

Yeni Çağ'da doğa anlayışı, Newton ile biraz daha farklı bir yapıya bürünmüştür. Kanun, diferansiyel denklemlerle tanımlanan ve kanıtlanan, yukarıda da ifade edildiği gibi evrensel ve ebedi gerçeklerdir. Onun doğa anlayışı tıpkı saatin çalışmasına benzemektedir. Mucize ve tesadüfe yer olmayan gerekircidir (*deterministtir*). Sonraki gelişmeler, mekanik anlayışa dayalı ortaya çıkan gerekirci (determinist) ilkenin; biyoloji, psikoloji, sosyoloji vd. doğa ve insani bilimlerde de geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu anlayışın açıklayamadığı olgular da söz konusudur. Nihayetinde doğa yasaları gelişmiş ve geliştikçe eskiler, yenilerin özel koşulları konumuna düşmüştür.

Newton'un geliştirdiği determinist (gerekirci) kanun anlayışına son noktayı, Laplace koymuştur. Onun kanun anlayışı, koşullara bağlı olarak sonsuz çözüm anlayışına dayanmaktadır. Dolayısıyla yasalar evrenselidir. Bu düşüncenin temelleri, modernizm anlayışını ortaya çıkarmıştır. Modernizm, gerçekliği bilimin konusu olarak ele alır ve onu keşfedilmesi gereken nesnel gerçeklik olarak kabul eder.

Günümüzde etkisini daha çok hissettiren postmodernizm anlayış ise bireyden, kültürden ve dilden bağımsız bir gerçekliğin kabul edilemeyeceğini ortaya koymaktadır. Ona göre gerçeklik, aynı sosyal ortam içerisinde bulunan bireylerin, kendi dünya algılarını tanımlamak için oluşturduğu zihinsel anlamlardan ibarettir. Dolayısıyla bilim ve yasaların, nesnel doğrulara değil bilimsel topluluğun kendi doğrularına ulaşmalarına olanak sağladığı, görüşü hâkimdir (Ayдын, 2006).

#### 4. Kanunların Değişimi

Kanunların değişimi ile ilgili hususlar üç alt başlıkta incelenecektir. Bunlar sırasıyla Simetri, Ölçek ve Kuantum Yasalarıdır. Açıklamaları aşağıda verilmiştir.

##### 4.1. Simetri Yasası

Simetri yasası korunum yasalarının anlaşılmasında önemli bir bakış açısı sağlamaktadır. Aynı zamanda doğruluğunun kanıtlanması için farklı bir temel oluşturmaktadır. Bir matematikçi tarafından ortaya konulan ilkeye göre evrenin yasaları zaman içinde değişmiyorsa *evrenin enerjisi de değişmiyor* demektir. Momentumun korunumu buna dâhildir. Bu yasa gerçekten ilginç ve şaşırtıcıdır. Korunum yasasının geçmişte de geçerli olduğu, fizikçiler tarafından milyarlarca ışık yılı uzaklığında bulunan galaksilerden gelen ışığın görüncesinin (spektrumun) değişmediğinin tespitiyle kanıtlanmıştır. Ancak yasa, korunumun ilanihaye (sonsuz kadar) devam edeceği garantisini vermemektedir (Kaku, 2017).

##### 4.2 Ölçek Yasası

Ölçek yasası doğa yasalarının ölçek etkisi altında olduğunun ifadesi açısından önem ifade etmektedir. Yasanın sosyal dünyada da etkisi söz konusudur. Yasaya göre bir insanın boyutları örneğin 10 kat artırılsa ağırlığı  $10 \times 10 \times 10 = 1.000$  kat, kemiklerinin ve kaslarının kesitleri ise  $10 \times 10 = 100$  kat artacaktır. Dolayısıyla yeni boyutundaki insan, eskisine nazaran 100 kat daha güçlü olacak fakat 1.000 kat daha ağır olacaktır. Bu durumda ayağa kalktığında, bacakları kırılacak, hareket bile edemeyecektir. Ayrıca boyutların 10 kat artmasıyla ısı kaybı da 100 kat artacaktır. Vücut iç ısı  $10 \times 10 \times 10 = 1.000$  kat artacağından, ısıyı daha yavaş kaybedecektir. Ufak tefek insanların iriyarı olanlara kıyasla daha çabuk üşümesinin nedeni budur (Kaku, 2017).

Makro dünyadaki, yarım küre şeklindeki su yığını kararsızdır ve kendi ağırlığı ile çöker. Mikro dünyada ise yüzey gerilimi izafi olarak daha büyük olduğundan, su yığını daha kararlı yapı sergileyerek yarım küre şeklini koruyacaktır. Dolayısıyla ölçek yasası makro ve mikro evrendeki fizik yasalarının değişebileceğini ortaya koymaktadır (Kaku, 2017).

Ölçek yasası sosyal dünyada da etkilidir. Aile, şirket ve devlet en nihayetinde sosyal topluluktur hatta kozmostur (düzendir). Ancak bire bir yönetilmesi ile ilgili olarak devletin kanunları şirkette, şirketin kanunları da ailede geçerli değildir. Üçü de insan kaynaklı sistemler olmasına karşın ölçekleri farklıdır. Ölçek farklılıkları, sistemlerin yönetilmesi ile ilgili kanunlarının farklı olduğu anlamındadır.

##### 4.2. Kuantum Yasaları (Alanı)

Evrende bulunan galaksilerin, atomun yapısına benzediği bilinmektedir. Galaksiler, yıldızlardan (merkezde) ve etrafında belli uzaklıkta, belli yörüngede bulunan gezegenlerden oluşmaktadır. Atom da tıpkı yıldız ve gezegenleri gibi çekirdek ve etrafında belli yörüngelerde bulunan elektronlardan oluşmaktadır. Ancak burada önemli farklılıklar vardır. Atomda bulunan elektronlar, gezegenlerin aksine herhangi bir uzaklıkta değil değişik yörüngelerde bulunabilmektedir. Ayrıca her gezegen birbirinden farklı olmasına rağmen atomlardaki tüm elektronlar birbirinin aynıdır. İşin ilginç tarafı, gezegenlerin aksine elektronlar dalga özelliği göstererek aynı anda iki yerde olabilmektedir (Kaku, 2017). Kaldı ki kuantum evreninde maddenin ve enerjinin korunum yasaları tek tek değil birlikte (bütün olarak) çalışmaktadır. Buradaki varlıklar, bazen madde bazen de dalga şeklinde davranmaktadır. Tekillik yok, ikilik vardır. Kuantum evreninin izlenebilirliğini varsayarak benzetme yapılırsa orada örneğin bir futbol oyuncusu kaleye penaltı attığında, atış sonrası kaleci topu yakaladığını, penaltı atan da gol attığını iddia edebilir.

#### 5. Termodinamiğin Yasaları

Mühendislik termodinamiği (ya da klasik termodinamik) daha çok makro fiziğe dayanır. Yasaları dört temel gerçeklikten kaynaklanmaktadır. Bunlar: sıfıncı, birinci, ikinci ve üçüncü yasalardır. Sıfıncı yasa sıcaklığın ölçümünün dayanağını yani su ile ölçeklendirilen termometrenin, farklı maddelerin veya sistemlerin sıcaklığının ölçümünde kullanılacağını teyit etmektedir. Birinci yasa, enerjinin korunumunu ( $\Delta E_{evren} = 0$ ); ikinci yasa entropinin yoktan var olarak artışı ( $\Delta S \geq 0$ ) ya da enerjinin kalitesi olan ekserjinin yok oluşunu; üçüncü yasa ise sonlu sayıdaki süreçlerle mutlak 0 K ( $-273$  °C) sıcaklığa erişilemeyeceğini ayrıca kimyasal bakımdan homojen ve mükemmel kristal yapıdaki maddelerin sıcaklığının mutlak sifıra yaklaştığında, entropilerinin ( $s$ ) de sifıra yaklaşacağını ( $\lim_{T \rightarrow 0} s \cong 0$ ) ortaya koymaktadır (Büyüktür, 1995). Bunlar evrenin en temel yasalarındandır. Genellikle değişmediği özellikle mühendisler tarafından vurgulanmaktadır (Çamdalı, 2012).

Yasalara (birinci ve ikinci yasaya) felsefi perspektiften bakıldığında ise farklı bakış açıları ortaya çıkmaktadır (Çamdalı, 2020a). Buna göre tüm kapalı sistemlerde, bazı şeyler (enerji gibi) ister istemez korunacaktır. Varlıklardaki ve yaşamdaki değişim ise bazı şeylerin yok olmasını (ekserji), bazı şeylerin de var olmasını (entropi) gerektirecektir. Farabi'nin ifadesiyle *varlıklar kendiliğinden yok olamayacak, öyle olsaydı var olamayacaktı* (<https://mimoza.marmara.edu.tr/~avni/dersbelgeligi/felsefekolu/farabi.htm>).

##### 5.1. Termodinamik Yasaların Değişimi

Termodinamik yasaların *mekanik evrende* değişimi pek olanaklı görünmemektedir. Bugüne kadar yasalara aykırı bir gözlem, söz konusu evrende tespit edilememiştir. Makro evrenin yasaları, büyük olasılıkla sabittir. Ancak bazı farklı olguları gözden uzak tutmak

mümkün değildir. Bunların ortaya konması gerekmektedir. Çok düşük ihtimalle de olsa örneğin Dünyadaki hava moleküllerinin (dışarıdan herhangi bir müdahale olmadan) Atlas Okyanusu üzerinde toplanarak yeryüzünü havasız bırakması mümkündür (Taslaman, 2006). Bu durumda entropi yasasına aykırı bir durum, makro evrende bile oluşabilir demektir. Bir kitabın düzenli olan sayfaları havaya fırlatıldığında, sıralarının bozulduğu görülecektir. Entropi yasasına göre her olayda sistem ve çevresinin toplam entropisi artarak ( $\Delta S_{top} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{çevre} > 0$ ) karmaşa meydana gelecektir (Greene, 2010; Rifkin ve Howard, 2010). Sırası bozulmuş olan sayfalar, çok uzun bir süre havaya atılmaya devam edilirse eski düzenli sırasına gelmesi, matematiksel olarak mümkündür. Düzenin tekrar oluşması için oldukça fazla bir zaman beklenirse de böyle bir olasılık vardır (Greene, 2010; Greene, 2013). Anlamı kaostan düzen çıkabilir demektir. Örnekler çoğaltılabilir.

Yukarıda ifade edildiği üzere doğa yasaları simetriktir. Tüm zamanlarda eşit olarak etkilidir. Hâlbuki (toplam) entropi, zamanla hep artmaktadır. Belli bir zamandan geleceğe gitmek istenildiğinde, entropinin gelecekte artacağı doğal olarak beklenir. Ancak geçmiş gidildiğinde ise entropi *artacak* mı *azalacak* mı? Bunun açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Yasalar simetrik olduğuna göre entropinin geçmişte de artmasını beklemek, yanlış olmayacaktır. Hâlbuki geçmiş bilgilerimiz ve hafızamız bize bunun böyle olmadığını söylemektedir (Greene, 2010; Greene, 2013). Burada bir çelişki mi doğuyor? Yoksa simetri yasası ve/veya entropi yasası doğru değil mi? Açıklanmalıdır. Her ikisinin de doğru olduğu bilinmektedir. Burada olasılıkçı bakış açısı devreye girmektedir. Yani geçmiş gidildiğinde her iki durumla da karşılaşma olasılığı mümkün demektir. Ancak entropinin artışının olasılığı, her zaman azalışından daha yüksektir denilebilir. Her iki durum da mümkün olmasına rağmen birinci olasılık ikinciye göre daha yüksektir. Hâlbuki geçmiş bilinmektedir. Yoksa! Geçmişe gitmek termodinamik açıdan mümkün değil mi? Bu net bilinmemektedir.

Enerjinin Korunum Yasası tek başına kuantum dünyasında geçerli değildir. Entropi yasası için de benzer bir çıkarım söylenebilir (Çäpek and Sheehan, 2005). Kuantum evreninde moleküler boyutta entropi azalabilir.

## 6. Sonuç

Pratik yaşamdan da bilindiği gibi her şey değişmektedir. Bilim tarihinden doğa yasalarının (kanunların) kavramsal olarak değiştiği zaten görülmektedir. İlk Çağ'da tanrılarla ilişkilere dayalı kurallara ve mantık esaslarına, kanun (doğa yasası) tanımı yapılırken Orta Çağ'da kanun, daha çok dini hükümlerden kaynaklı ortaya çıkmıştır. Aydınlanma ve Yeni Çağ'da ise doğada gözlenen ve eşyanın davranışını temel alan, sonrasında diğer alanlarda (biyoloji ve sosyal bilimlerde) kendini hissettiren kurallara kanun denmiştir. Günümüzde etkisini sürdüren postmodern anlayış ise bilim ve yasaları, nesnel doğrular olarak değil bilimsel bir topluluğun kendi doğrularına ulaşmalarına olanak sağlayan uğraşı olarak görmektedir.

Buradan insanlığın tüm yaşamı süresince, kanunların evrime uğradığı yani değiştiği görülmektedir. Ancak değişimin hangi koşullarda gerçekleştiğinin bilinmesi de önemlidir. Özellikle Aydınlanma Çağı'nda bilimdeki ilerlemeler (klasik fizik) sonucunda gelişen kanun anlayışı ve sonucunda ortaya çıkan teknolojiyle birlikte yeni bir medeniyet ortaya çıkmıştır. Bunun adı modernizmdir. Modernizm geleneksel yaşam anlayışını yıkmıştır. Sonrasında, fizik bilimindeki gelişmeler (görelilik kuramları ve kuantum yasaları), kimya ve diğer alanlardaki yeni bilimsel bilgilerin keşfi, teknolojiye son gelişmeler (internet, iletişim ve bilişim teknolojileri, yapay zekâ, nano teknoloji vd.) ile ortaya çıkan, kendi doğasını oluşturmaya çalışan postmodern anlayış (postmodernizm), yaşamda etkin olmaktadır. Postmodernizm modernizmi ve belki istemeden de olsa *değerleri* yıkmıştır. Küresel ölçekte ortaya çıkan ve tüm dünyayı etkileyen *Kovid-19* salgını ise pek çok doktrini ve düzeni yıkmasa da aşındırıştır (Çamdalı, 2020b).

Her şey değişir. Değişim, doğanın belki de değişmez tek yasasıdır. Makro evrenin yasaları değişmese bile anlayışları ve yorumları değişebilir. Her gün yeni bir gün olarak ortaya çıkar, yeni gün ise yeni şeyleri (olguları) beraberinde getirir. Değişimin doğasını anlamak ve değişime katkı yapmak bu bağlamda önemlidir. Tarihte değişime ve gelişime öncülük etmiş, pek çok bilim, felsefe ve sanat insanımız mevcuttur. Farklı mekân ve farklı zeminde, tarihi sorumluluğu üstlenecek, yeni öncülerimiz tekrar ortaya çıkabilir. Tarih bu noktada çizgisel değil döngüseldir.

## Teşekkür

Bu makalede yer alan bilgilerin bir kısmı, Ankara Sosyal Bilimler Vakfı Düşünce Platformunda çevrimiçi olarak yayınlanmıştır. Bu makale platform editörlerinin bilgisi ve izni dahilinde hazırlanmış ve yayınlanmıştır.

## Referanslar

Aydın, H. (2009). Modern Bilime Yönelik Postmodern Eleştiriler ve Etik Değeri, Mantık, Matematik ve Felsefe VII. Ulusal Sempozyumu, İzmir/Foça, Türkiye, 8–11 Eylül 2009, cilt.1, 355–387 [http://turkoloji.cu.edu.tr/GENEL/hasan\\_aydin\\_modern\\_bilim\\_postmodern\\_elestiri.pdf](http://turkoloji.cu.edu.tr/GENEL/hasan_aydin_modern_bilim_postmodern_elestiri.pdf).

Aydın, H. (2006). Eleştirel Aklın Işığında Postmodernizm, Temel Dayanakları ve Eğitim Felsefesi, Eğitimde Politika Analizleri ve Stratejik Araştırmalar Dergisi, 1(1), 27–48.

Bolay, S.H. (1989). E. Boutroux'da Zorunsuzluk Doktrini, MEB Yayınları.

Büyüktür, A. R. (1995). Termodinamik Cilt 2, Birsen Yayınevi.

Čápek , V. and Sheehan, D.P. (2005). Challenges to The Second Law of Thermodynamics: Theory and Experiment, Springer.

Çamdalı, Ü. (2012). Termodinamik ve Sosyal Sistemlerin Yakın Çevre İlişkilerindeki İlginç Benzeşim, Değişim ve Bir Sonuç–Bir Ümit, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 67(02), 213–221.

Çamdalı, Ü. (2020a). Eşyanın Doğasından İnsanın Davranışına: Termodinamik yaklaşımla, Karar Gazetesi: Düşünceler, <https://www.karar.com/esyanin-dogasindan-insanin-davranisina-termodinamik-yaklasimla-1591868>.

Çamdalı, Ü. (2020b). Koronanın Yansıması Paradigmanın İflası, Karar Gazetesi: Düşünceler, <https://www.karar.com/koronanın-yansimasi-paradigmanin-iflasi-1560639>.

Greene, B. (2010). Evrenin Dokusu, Çev. Murat Alev, Tübitak Yayınları.

Greene, B. (2013). Saklı Gerçeklikler, Çev. Nalan Büyükkantarçioğlu, Tübitak Yayınları.

Guillen, M. (2001). Dünyayı Değiştiren Beş Denklem, Çev. Gürsel Tanrıöver, Tübitak Yayınları. <https://mimoza.marmara.edu.tr/~avni/dersbelgeligi/felsefekolu/farabi.htm>.

Kaku, M. (2017). Olanaksızın Fiziği, Çev. Engin Tarhan, ODTÜ Yayıncılık.

Rifkin, J. ve Howard, T. (2010). Entropi Dünyaya Yeni Bakış, Çev. Hakan Okay, İz Yayıncılık.

Taslaman, C. (2006). Din Felsefesi Açısından Entropi Yasası, Marmara Üniversitesi İlahiyat Fak. Dergisi, 30 (1), 89–111.

Varolun, Y. (2019). Galileo'nun Bilim Tarihi ve Bilim Felsefesindeki Yeri, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Vincenti, W. G. (2008). Mühendisler: Ne Bilirler, Nasıl Bilirler? Havacılık Tarihinden Analitik Çalışmalar, Çev. Sinan Kuraner, Tübitak Yayınları.