

## İktisat-Fizik İlişisine Tarihsel Bakış\*

*Hale Kırer\*\* - Ercan Eren\*\*\**

### Özet

Değişen ve giderek karmaşık hale gelen dünyada yüzyıllar içerisinde bilimin köklü değişimlere uğradığını söylemek mümkündür. Özellikle fizikteki gelişim ve yeniliklerin tüm bilimleri etkilediği ve yeni dönemler açtığı iddia edilebilir. İktisat bilimi fiziğin yüksek derecede etki yarattığı bilim dallarının başında gelmektedir. Klasik iktisadın deterministik dünya görüşünün hakim olduğu Newton fiziği üzerine inşa edildiği söylenebilir. Yirminci yüzyılda fizikteki determinist dünya görüşünün terk edilip, fiziğin köklü değişimlere uğraması, iktisat bilimi üzerinde de önemli değişimlere neden olmuştur. Yaşanılan karmaşık dünyada geleneksel iktisat kuramlarının belirli olguları anlamada yetersiz kalması ve istatistiksel fizik tekniklerinin doğrusal olmayan dinamiklerle bir araya gelerek bu karmaşık yapıyı açıklamadaki gücü, özellikle 1990'ların başında fizikçilerin, son yıllarda ise iktisatçıların ilgisini çekmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar daha önceleri sadece fizik dergilerinde, son zamanlarda ise iktisat dergilerinde de yer buluyor olması bunun en önemli göstergesidir. Bu çalışmanın amacı iktisadın doğuşu ile başlayan iktisat – fizik ilişkisini incelemek ve fizik biliminin geçirdiği evrimin iktisat bilimini ne derecede etkileyerek değiştirdiğini göstermektir.

**JEL Kodları:** B40, B59

**Anahtar kelimeler:** İktisat-Fizik ilişkisi, ekonofizik, karmaşıklık bilimi.

---

\* Bu çalışmada Prof. Dr. Ercan Eren'in danışmanlığında, Hale Kırer'in hazırladığı "Türkiye ve Almanya'nın kişisel gelir dağılımına ekonofizik yaklaşım" adlı doktora tezinden geniş ölçüde faydalanılmıştır.

\*\* Yrd. Doç. Dr. Bandırma 17 Eylül Üniversitesi, Bandırma İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, [hkirer@bandirma.edu.tr](mailto:hkirer@bandirma.edu.tr), Misafir Araştırmacı, The New School for Social Research, [kirerh@newschool.edu](mailto:kirerh@newschool.edu)

\*\*\* Prof. Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, [eren@yildiz.edu.tr](mailto:eren@yildiz.edu.tr)

## **Historical Perspective on the Relationship Between Economics and Physics**

### **Abstract**

As the world has evolved and become ever more complex in the process, science has played a central role in that evolution, itself undergoing dramatic changes. Within science, the field of physics has led the way forward to revolutionary approaches that have spread to other disciplines—including economics. Indeed, economics was among the first to feel the influence of the ferment in physics. Arguably, classical economics was built upon Newtonian physics and was long dominated by its idea of determinism. In the 20<sup>th</sup> century, however, the attachment to determinism was abandoned by physicists, and the upshot of this was radical changes later worked their way through economics. In the early 1990s, physicists, and to a lesser extent economists, began directing their attention to the relationship between their two fields of study. Propelling these two professions toward each other were three factors: mainstream economists' lack of a thorough understanding of real-world phenomena; the advent of statistical physics; and the coming to the fore of techniques based on non-linear dynamics. Against this background, this study aims to analyze this relationship between economics and physics and to outline how the evolution in physics has affected economics.

**JEL Codes:** B40, B59

**Keywords:** Economics-Physics relationship, econophysics, complexity.

## 1. Giriş

İktisat-fizik ilişkisinin, Adam Smith (1776) ile başladığı kabul edilen iktisat biliminin tarihi ile başladığını söylemek mümkündür. Tarih boyunca etkileşim içerisinde olmalarına karşın, ilk zamanlarda yapılan bilimsel çalışmaların çoğunlukla kendi içlerinde değerlendirildiği görülmektedir. Ancak özellikle 1990'lar sonrasında karmaşık dünyayı açıklamak için geleneksel iktisat kuramı ile yapılan çalışmaların yetersiz kalması, iktisat ve fizik dalları arasındaki kalın çizginin giderek yok olmasına neden olmuştur. Bu çalışmada etkileşimin başladığı ilk andan, aralarındaki çizginin yok olduğu döneme kadar gelen süreç anlatılmaktadır. İktisat-fizik ilişkisinin tarihsel gelişimi incelenmeden önce iktisat-biyoloji (evrim) ilişkisinden bahsetmek te oldukça önemlidir. Bu kapsamda öncelikle iktisat-fizik (denge)-biyoloji (evrim) ilişkisi ile ilgili genel bir bilgi verilecek, daha sonra fizikçi iktisatçıların bu süreçteki etkileri incelenip, ekonofizik ismi ile yeni bir alan olarak karşımıza çıkan iktisat-fizik ilişkisi ayrıntılı olarak irdelenecektir.

## 2. İktisat - Fizik (Denge) – Biyoloji (Evrim) İlişkisi

1980'li yıllara kadar iktisat-biyoloji ilişkisi, iktisat-fizik ilişkisine daha çok rakip olarak görülmüştür. Günümüzde özellikle karmaşıklık (complexity) fiziği ve iktisadi bağlamındaki gelişmeler iktisat, fizik ve biyoloji ilişkisini rakip olmaktan çıkarmıştır.

İktisat - fizik ilişkisinin temeli Newton fiziği ve dentedir. Bu noktada biyoloji ve evrim ilişkisi de önemlidir. Darwin'in evrim kuramı da birçok iktisatçının ilgisini çekmiştir. Darwinci ve Darwinci olmayan evrim kuramları 1920'li yıllara kadar iktisatçılarınca tartışılmıştır. Ancak bu dönemde tartışmanın kesin galibinin belli olduğunu söylemek mümkün değildir. 1920'li yıllardan sonra ise iktisat üzerinde biyoloji-evrim etkilerinin unutulduğu görülmektedir. 1980'li yıllarla birlikte tartışma tekrar başlamıştır. Burada fizikteki değişimin iktisada yansımaları kadar, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile evrim ve belirsizliğin modellenenebilir olmasının da oldukça etkili olduğu söylenebilir.

İktisat-Newton fiziği ilişkisinde olduğu gibi, İktisat- evrim bağlantısının da Adam Smith ile başlatıldığı görülmektedir. Bu doğrultuda Smith, Marx, Menger, Marshall, Veblen, Schumpeter ve Hayek gibi iktisatçılar "evrimci" olarak tanımlanmaktadır. Smith, birçok yazar tarafından Darwin öncesi Darwinci olarak adlandırılmaktadır. Veblen - Darwin ilişkisi ise karşılıklıdır; Veblen Darwinci iktisat yapmıştır. Birçok heteredoks iktisatçı Veblen'i ekonomiyi karmaşık, uyumlu (adaptive), dinamik, açık, denge dışı, ergodik olmayan ve

patika bağımlı bir sistem anlamında evrimci modellerle ele alan başlangıç noktası olarak görmektedir (Valentinov, 2015).

Schumpeter'de evrim, daha çok teknik değişiklik, girişimcilik ve yenilik anlamında kullanılmıştır. Menger ve Hayek'te de evrim fikri söz konusudur. Menger'in paranın ortaya çıkışını evrimci bir kurum olarak analiz etmesi de evrimi ön plana çıkarmaktadır. L.Von Mises ve F. Hayek'in, O. Lange ile yaptıkları "piyasa sosyalizmi" tartışmalarında da evrim fikri vardır. Hayek'in geliştirdiği "kendiliğinden düzen" evrimci bir kavramdır.

Marx'ın Darwin ile ilişkisi, "Kapital"i ona adayacak kadar güçlüdür. Marx, F. Engels'e yazdığı mektubunda Darwin'in kitabının kendi düşünceleri için doğa bilimindeki temeli içerdiğini yazmış, başka bir mektubunda ise kitabın çok önemli olduğunu ve sınıf çatışmaları için bir temel oluşturduğunu belirtmiştir (Colp, 1974)

İktisat- fizik ve biyoloji ilişkisinde karşılaştırma ve tercih konusunda A.Marshall'ın açıklaması çarpıcıdır. Marshall, İktisadın İlkeleri kitabının ön-sözünde şunları söylemektedir (Marshall, 1920[1890, xxv-xxvi]; Hodgson, 1993, s. 406): "İktisatçıların Mekkesi iktisadi dinamikten çok iktisadi biyolojidir. Ancak biyolojik kavramlar mekanik kavramlarından daha karmaşıktır; Esaslar (Foundations) üzerine yazılacak olan bir kitap, mekanik analogilere görece daha fazla yer vermek durumundadır. Ayrıca akıllara statik bir analogi getiren 'denge' kavramı da sık sık kullanılır. Bu vakıa, bu ciltte modern çağa ait normal yaşam koşullarına verilen önemin baskın bir ağırlığa sahip olması gerçeğiyle birleştiğinde, kitabın temelindeki düşüncenin 'dinamik'ten ziyade 'statik' olduğu fikrini uyandırabilir. Fakat kitap baştan sona hareketi yaratan güçler üzerinedir, dayanak noktası dinamiktir."

Yine bir başka sayfada Marshall (1920, s. 772) şunları yazmaktadır: "İktisat da biyoloji gibi, içsel doğası ve oluşumu yanında dışsal biçimi de sürekli değişen madde ile ilgilenmektedir; bu nedenle iktisat, geniş anlamda biyolojinin bir dalıdır." (Hodgson, 1993, s. 407). Marshall ayrıca iktisadın fiziksel bilimlerden farkına dikkat çekmektedir; "Fakat elbette, iktisat kesinlik ifade eden fiziksel bilimlerle karşılaştırılmaz; çünkü iktisat insan doğasının sürekli değişen ve pek açık olmayan güçleri ile uğraşır". ( Marshall, 1920, s. 14; Skousen, 2005, s. 198)

1930'lara kadar Almanya ve ABD'de Neoklasik İktisadın ana akım iktisat olmadığı görülmektedir. Almanya'da Tarihçi Okul, ABD'de ise Kurumsal İktisat, Neoklasik İktisat kadar, belki daha fazla, egemen durumdadır. 1885 yılında Amerikan İktisat Birliği (American Economic Association – AEA) kurulduğunda hâkim grup Neoklasik iktisatçılar değildir. Ulusal İktisadi Araş-

tırmalar Bürosu (NBER) kurumsal iktisatçı W.C.Mitchell tarafından kurulmuştur.

1950’de A. Alchian, 1971’de Nicholas Georgescu-Roegen (entropi kavramını kullanan iktisatçı) ve 1981’de Kenneth Boulding’in iktisada evrimsel bakış açısı ile yaklaşımları; Nelson ve Winter’in (1982) “Evolutionary Theory of Economic Change” adlı çalışmaları ve izleyen süreç ile evrim kavramı tekrar öne çıkmaya başlamıştır. 1984 yılında Santa Fe Enstitüsü’nün kurulması ve karmaşıklık iktisadının ortaya çıkışı ve Ajan-Bazlı Hesaplamalı İktisat (Agent-Based Computational Economics – ACE) çalışmaları bilgisayar teknolojileri ile birleşerek bu tür çalışmaların değişik bir yöne doğru ilerlemesini sağlamıştır.

Anderson’un (1991) Physics Today dergisinde yayınlanan “Karmaşıklık fizik midir? Bilim midir? Nedir?” çalışmasının da daha önce kullanılan klasik yöntemlerin başka bir yöne evrilerek şekillenmesinde yardımcı olduğunu söylemek gerekir. Anderson söz konusu makalesinde kendi sorusuna şu şekilde cevap vermiştir (Anderson, 1991, s. 11): *“Karmaşıklık, daha önceki paragrafta tanımlandığı gibi, çoğu kez fiziktir. Bilimin çığır açan parçasıdır. Ve kesinlikle canlandırıcıdır.”*

Bu kapsamda klasik fiziğin yerini kısmen bilgisayar teknolojilerinin ve evrimci fiziğin aldığını söylemek mümkündür. Kendi kendine organize olma, kaos ve karmaşıklık bu süreç içerisinde üzerinde durulması gereken en önemli kavramlardır. Burada çizge (grafik) kuramı ve ağ bilimi gibi alanlarda yapılan çalışmalarda artış, bir anlamda Darwinci evrimin matematiksel kuzenleri olarak düşünülebilir (Beinhocker, 2011).

Özetle bugün iktisatta, kendilerine çok fazla doğrudan atıf yapılmadan Veblen ve Avusturya Okulunun geri dönüşüne sahne olduğu görülmektedir. Bu yöndeki yaklaşımların asıllarından farkı, modellenebilir olmalarıdır.

### 3. Fizikçi İktisatçılar

İktisat-fizik ilişkine iktisatçıların fizikten etkilenmeleri ve fizik kökenli iktisatçıların iktisadi etkilemeleri olarak ayrı ayrı bakmak gerekir. Bu çalışmada bu ayrım yapılmayacak olmakla birlikte, Walras, Pareto, Fisher, Samuelson, Phillips gibi fizikçi-mühendis iktisatçıların iktisadın kapsam ve içeriğini belirlediklerini söylemek mümkündür. 1980’lerden sonra da ekonofizik, karmaşıklık ve ajan bazlı hesaplamalı iktisat modelleri çerçevesinde, fizikçilerin (ve mühendislerin) iktisatta çalışmaları “yeni” iktisadın yöntemini oluşturmaya başlamıştır.

Neoklasik İktisatta Walras, Pareto, Fisher, Samuelson çizgisi ve 1950'ler dengenin varlığı ve tekliğin kanıtı (matematik yardımıyla) doğrudan olarak fizik biliminin iktisadın çerçevesini belirlemesidir. 1949 yılında B. Philips'in geliştirdiği MONIAC (Monetary National Income Analogue Computer) (Philips Hydraulic Computer / Financesphalograph) da fiziğin bir yansıması olarak kabul edilebilir.

Fisher ve Samuelson, iktisadı fizikleştirme konusunda daha sonra özeleştirici yapmışlardır. Marshall'da öz eleştirici çok daha kısa süre sonradır.

Fisher (1933) bunu şöyle açıklamaktadır: “42 yıl önce değer ve fiyat teorisi üzerine belirli matematiksel araştırmalarla ilgili doktora tezimi yazarken matematiksel fizik öğrencisiydim. Gençlik heyecanı ile iktisadın ya da onun bir dalının, fiziği uzun süre önce inşa etmiş olan yöntemlerle, gerçek ve görkemli bir bilim alanı olarak gelişmesinin hayalini kurdum.” Aynı şekilde Marshall, “Politik çıkarlar genellikle ulusun yalnız bir kısmının veya parçalarının çıkarları anlamına gelir. Bundan dolayı politik ekonomiyi bırakıp, basit olarak ekonomi bilimimden veya kısaca ‘economics’den konuşabiliriz.” (Marshall ve Marshall,1879). Yukarıda da belirtildiği üzere, kısa süre sonra 1890'da iktisat biyoloji ilişkisinin altını çizerler. Kısaca, Marshall, yaşamının ileriki yıllarında, ekonomiyi doğal bilimleştirme (scientize) girişiminden pişman olacaktır, ancak ok yandan çıkmıştır. (Skousen, 2005, s.198.)

P.Samuelson'un da benzer bir ifadesinin olduğu görülmektedir. Özellikle doktora çalışması termodinamiğin iktisada uygulamasına dayanan P.Samuelson, 1970 Nobel konuşmasında, “Fiziğin kavramları ile ekonominin kavramları arasında zoraki paralellikler kurmaya çalışan bir iktisatçı veya emekli bir mühendise sahip olmaktan daha acıklı bir şey yoktur” demektedir. (Skousen, 2005,s.198).

1980'lerde yine doğrudan etkileme, içerik belirleme süreci başlamıştır. Santa Fe (P. Anderson- K.Arrow), Ekonofizik (H. E. Stanley,) ve karmaşıklık süreci iktisadı hızla etkilemiş ve aynı şekilde etkilemeye devam etmektedir. Değişme, doğrusal olmama (nonlinearity), kendi kendine organize olma (self organization), süresizlik, rassallık (random), birbirini etkileme gibi kavramların iktisadın “doğal” kavramları haline geldiği görülmektedir.

1988 yılında Anderson ve Arrow'un editörlüğünü yaptığı iktisatçı ve fizikçilerin tartıştığı kitabın adı “Karmaşık sistem olarak evrilen ekonomi”dir! Bu noktada evrim yaklaşımının, biyolojiden (ayrıca kimyadan) fiziğe doğru kaydığı görülmektedir.

#### 4. Fizik – İktisat Etkileşiminin Tarihçesi

Bilim dallarını, sosyal ve doğa (fen) bilimleri şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Doğa bilimleri norm, kural ve amaç belirlemeye uygun olmayan yapıları nedeni ile pozitif bilim olarak adlandırılırken, sosyal bilimler pozitif bilim içerisinde yer almamaktadır (Yalçınkaya, 2006). Bu kapsamda yeni iktisadın önemli kavramlarından biri olan ekonofiziğin bileşenlerinden fizik doğa bilimleri içerisindeyken, iktisat sosyal bilimler içerisinde yer almaktadır. Ancak iki bilim türünü birbirinden ayıran kalın çizgi, gün geçtikçe ortadan kalkmıştır.

Doğa bilimi olarak adlandırılan fizik; yapılar, bu yapıların ortaya çıkışı ve değişimi ile ilgilenmektedir. Doğa farklı düzeylerde bulunan organizasyonlara sahiptir. Makro özellikler, mikro unsurlar temelinde ve onların birbirleri ile olan etkileşimleri sonucu ortaya çıkmaktadırlar. İktisat biliminde de ajanlar, fizikteki atomlara benzer şekilde temel unsur olarak ele alındığında aynı süreci izleyebilmektedir (Yegorov, 2007). Bu açıdan birbirinden ayrı gibi görülen iktisat ve fizik bilimlerinin etkileşimini çok eski yıllara götürmek mümkündür. Ancak tek bir isim altında ayrı bir disiplin olarak ortaya çıkması son derece uzun bir süreçtir.

Fizik modellerinin, temelde Neoklasik modelin yerini alma çabaları iki yüzyıldan daha eskidir. İktisat tarihçileri ve diğer birçok iktisatçı uzun zamandan beri fizik ve iktisat arasındaki bazı yakın kalıtsal benzerliklerin farkındadır. G. Sebba'ya göre, iktisadi modelleri fizik modellerine benzeterek kuran yeni modellerin ortaya çıkması ve ileriye yönelik tahminlerde doğa bilimlerinin kullanılması ile birlikte, modellerin kavram ve mekanizmalarının değerlendirilmesi iyileşmeye başlamıştır (Sebba, 1953).

Fizik biliminde iki ayrı dönemin olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki 1895'li yıllarda egemen olan, sırası ile Galileo, Descartes ve Newton tarafından yayılan Klasik Fizik, diğeri ise kuantum mekaniği ve görelilik (relativity) tabanındaki 20. yüzyıl olgusudur (Mirowski, 1984). Newton, klasik mekaniğin temel kanunlarını ortaya atmış ve fiziğin matematiksel çözümlemelerinde kullanılan integral yöntemini geliştirmiştir. Determinizm, Newton mekaniğinin bir özelliği olarak 19. yüzyılda en parlak dönemine ulaşmıştır. 19. yüzyıl sonlarına kadar fizik, Newton fiziği olarak adlandırılmakta ve kesinlikle sarsılmaz olarak düşünülmekteydi. Ancak 1900 yılında Max Planck'ın kuantum kuramı ve 1905 yılında Albert Einstein'ın görelilik kuramı ile Newton fiziği derinden sarsılmıştır. Newton Fiziği kütleli (mass) sürekli (continous) düşünürken, kuantum kuramı ayrık (discrete) olarak ele almaktadır (Lisa, Filatrella, 2002).

Hollingsworth ve Müller (2008) çalışmalarında, fizikteki bu değişimi Bilim I ve Bilim II şeklinde nitelendirmiş ve farklarını Tablo 1'deki gibi özetlemişlerdir.

**Tablo 1. Bilim I ve Bilim II Arasındaki Farklar**

|   | <b>Bilim I</b>   | <b>Bilim II</b>   |
|---|--|---|
| Bilimin başlıca alanları                                | Klasik fizik   | Evrimsel biyoloji ve karmaşıklık bilimi   |
| Kuramsal amaç   | Genel, evrensel kurallar                                       | Örnek biçimlendirme (pattern) ve örnek tanımlama                                      |
| Kuramsal perspektif                                     | Aksiyomatik, indirgemeci                                       | Olgu, gerçeğin çeşitli düzeylerinde eşzamanlı olarak iç içe girmiş durumda            |
| Karmaşıklık   | Düşük  | Yüksek  |
| Değişimdeki Perspektif                                  | Durağanlığı, denge durumundaki doğrusal olguyu vurgulamakta    | Dinamizm, açık sistemler, dengeden uzak işlemi vurgulamakta                           |
| Dağılım olgusu  | Normal dağılım üzerinde durmakta, dağılım çan eğrisi biçiminde | Kıt ve uç noktadaki olayların üzerinde durmakta, güç yasasına uyumlu olgulara duyarlı |
| Mikro – makro ayrımları                                 | Mikro ve makro düzey süreçler ayrık görülmekte                 | Makro olgular, ortak mikro düzey davranışlardan meydana gelmekte                      |
| Sosyal ve doğa bilimleri arasındaki bilişsel uzaklıklar | Yüksek   | Orta  |

**Kaynak:** Hollingsworth ve Müller (2008), s. 400.

Fizik biliminin bu tarihçesi ile iktisadın gelişimi arasında yakın benzerlikler bulunmaktadır. Özellikle 18. ve 19. yüzyıl klasik fiziğinin, iktisat bilimi üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Bu dönemde iktisatçılar, fizik biliminin metodolojisini izleyerek çok sayıda çalışma yapmışlardır. Mekanik iktisat, Newton'dan yaklaşık bir yüzyıl sonra onun görüntüsü ile inşa edilmiştir (Sebba, 1953). Bu doğrultuda klasik iktisatçılar, kendi disiplinlerini fizik metotlarına göre yeniden modellemeye çalışmışlardır. Sözü edilen metot, gerçeğin idealize edildiği modellerin inşa ve manipülasyonu sonucu elde edilen bilginin tümdengelimci sistemleştirilmesi şeklinde, Öklid geometrisi ve Newton fiziği temelinde oluşturulmuştur (Birner, 2002).

İktisat bilimi içerisinde bu sürece ilk örnek, Klasik iktisadın kurucusu Adam Smith'dir. Smith'in modeli temel olarak genel bir mekanik denge modelidir (Sebba, 1953). Smith, "The Principles Which Lead and Direct Philosophical Enquires: Illustrated by the History of Astronomy" isimli çalışma-



sında, gözlemlenen düzenin rolünü vurgulamış ve daha sonra gözlemleri tekrarlayan kuramlar kurarak bilim metodolojisini kullanmıştır. Burada astronomi referans noktası olmuştur. Smith, fikirler sisteminin makinelere benzediğini iddia etmektedir. Ona göre; bir sistem, gerçekte uygulanan farklı hareket ve etkilerde hayal edilen birlikteliğin bağlantılarını sağlamak için icat edilen bir hayal makinesidir (imaginary machine) (Alvey, 1999).

E. Halévy'e göre James Mill, iktisattaki Öklid benzerliğini açıklayan ilk kişidir. Mill, Öklid kuramına benzer şekilde insan doğasının yasalarını kullanarak, sonuçları tümdengelimci yöntem ile kanıtlamıştır. Fransız iktisatçı Say, klasik iktisadi sistemleştirerek geliştirme hususunda aynı amaca sahip olan bir iktisatçıdır. Say, Smith'in çalışmasının sadece, politik iktisadın ses getiren ilkelerinin açık örneklemelerle desteklenen yöntemsel olmayan bir montajı olarak düşünülebileceğini belirtmiştir. 1809 yılında David Ricardo, Say'ın metodu için hayranlığını dile getirmiştir. Buradaki politik iktisat, Smith için siyaset ve hukukun (legislation) bir dalıyken, Ricardo için gelir bölüşümü kuramı olmuştur. Ricardo ayrıca sistematik şekilde ve tümdengelim metodu ile açıklanabilecek olası tüm olguların genel yasasını bulmanın Newtoncu ilkesini savunan James Mill'in etkisine maruz kalmıştır. (Birner, 2002)

J. Hintikka ve U. Remes, Newtoncu metodu şu şekilde tarif etmektedirler (Birner, 2002):

- Belirli bir durumun kendi içerik ve faktörleri çerçevesinde analiz edilmesi,
- Bu faktörler arası karşılıklı bağımlılıkların analizi,
- İlişkilerin genelleştirilmesi ve bu yolla tüm benzer durumların keşfedilmesi,
- Diğer durumları açıklamak ve tahmin etmek için genel yasalara tümdengelimci uygulamalar yapılması.

18. yüzyıl sonlarında ve 19. yüzyılda J. L. Lagrange, W. R. Hamilton ve diğerleri, Newton'un kuramlarını analitik mekanizmanın daha modern kuramlarına çevirmişlerdir. Bu durum iktisatçıları da etkileyerek, iktisadın matematiksel olarak şekillenmesinde kullanılmıştır (Burda, Jurkiewicz ve Nowak, 2003).

Newtoncu mekanikten 19. yüzyıl fiziğine geçiş ile klasik politik ekonomiden marjinalist iktisada geçiş arasında güçlü bir bağın olduğu açıktır (Çakır, 1998). Fizikte enerji biliminin yükselişi, Neoklasik İktisadın keşfine neden olmuştur denilebilir. Neoklasik İktisat, 19. yüzyıl ortaları fiziğini tüm yönleriyle benimsemiştir. Bu dönemde fayda, enerji benzetmesi ile yeniden tanımlanmıştır. Walras, Jevons, Fisher, Pareto gibi iktisatçılar, ekonominin şekilci-

liği ile fiziğin şekilciliğini eşleştirmeye çalışmışlardır. Bu doğrultuda maddesel noktaları iktisadi ajanlarla yer değiştirmişler, potansiyel enerjiye benzer “fayda” kavramını ortaya atmışlar ve daha sonra “en az eylem ilkesine”<sup>1</sup> benzer bir sistem geliştirmişlerdir (Burda, Jurkiewicz ve Nowak, 2003).

Patika (path) seçimi, en az eylem ilkesince yönetilmektedir. En geniş anlamda maksimum – minimum ilkesi olarak ifade edilirse, iktisadi bir terim olarak kullanılabilir. Bu nedenle klasik mekanik, iktisadın bir modeli olmamasına karşın iktisadi bir model olarak kabul edilebilmektedir (Sebba, 1953). Ancak enerji biliminin matematiği ile Neoklasik İktisada nakledilen kısmı arasında temel bir farklılık bulunmaktadır. Enerji bilimindeki koruma ilkesi, doğrudan Neoklasik İktisada çevrilememektedir; çünkü gelir ve faydanın toplamı enerji biliminde bahsedildiği şekilde korunmamaktadır. Bu durum, iktisat kuramı bağlamında anlamsız olabilmektedir (Mirowski, 1984).

1871 yılında W. Stanley Jevons, politik iktisadın gelişimini “fayda ve kişisel çıkarın mekaniğine” benzer şekilde planlamıştır. Yıllar sonra, 1906 yılında Vilfredo Pareto da bu fikri savunmuştur (Roegen, 2009). Leon Walras ise, babasının kavramı olan kıtlık (rareté) kelimesini matematikleştirmek için, diğer şartlar sabitken fiyatların talep edilen miktarla ters orantılı, arz edilen miktarla ise doğru orantılı olduğunu varsayarak, piyasa ilişkilerinin Newtoncu bir modelini uygulamaya çalışmıştır.

Ancak Walras’ın bu modeli ile ilgili bir memnuniyetsizlik mevcuttur. Lozan Akademisindeki (Academy of Lausanne) mekanik profesörü Antonie Paul Piccard, Walras’ı gözlemlenemeyen ihtiyaç miktarının (quantité de besoin) optimizasyonu konusunda uyarılmış, Walras ise bunu dikkate almamıştır. Walras daha sonra bu konunun araştırmasını takipçileri olan Antonelli ve Pareto’ya bırakmıştır. Lozan Okulunun ilk temsilcilerinin mühendislik eğitimi almış olmalarının, iktisat-fizik ilişkisi ve sonucunda ortaya çıkmış olan ekonofiziği incelemede önemli bir gösterge olduğunu belirtmek gerekir. Giovanni Antonelli inşaat mühendisi idi. “On the Mathematical Theory of Political Economy” isimli çalışmasında, açık olarak fayda kuramından bahsetmiştir. Antonelli tüketici kuramındaki bütünleşebilirlik (integralibilite) sorununu formüleştiren ilk kişidir, bu kuramın öncüsü olarak kabul edilmektedir. Vilfredo Pareto da mühendislik eğitimi almıştır. Bu alandaki uzmanlığı Pareto’ya, rasyonel mekanik ve termodinamikte faydanın gerçekleşmesinde patika bağımsızlığının (path-independence) çıkarımlarını keşfetme, denge enerji durumunda patika bağımsızlığının doğrudan bir tahminini yapabilme olanağı sağ-

<sup>1</sup> En az eylem ilkesi: Herhangi bir cismin, bir noktadan diğerine gitmek için olası yörüngeler içinden eylem artışının en az olacağı yörüngeyi kullanması şeklinde tanımlanmaktadır. Özmütlu (2007).

lamıştır. Bu çalışma, daha sonraları unutulmaya yüz tutmuştur. Bunun bir nedeni, Pareto ve Antonelli'nin ileri yaşlarında iktisat kuramını bırakmaları, ikinci bir nedeni ise yeni iktisat kuramı çalışan sınırlı sayıdaki mühendisin bu yazıları okumamasıdır (Mirowski, 1984).

Ölüm, doğum ve evlilik oranı gibi sosyal sayılar üzerine yapılan çalışmalar, 17. yüzyıldan bu yana gelişmektedir. Bu çalışmaları gösteren istatistik terimi, 18. yüzyılda ortaya atılmıştır. 19. yüzyılda ise sosyal istatistik terimi, popülaritesini Belçikalı gökbilimci Adolphe Quetelet ile birlikte kazanmıştır. 1850'li yıllardan önce istatistik, politik iktisadın deneysel bir kolu olarak düşünülmekteydi. Ancak daha sonraları, tüm disiplinler için uygun kantitatif analizlerin genel bir yöntemi haline dönüşmüştür. Bu durum, fizikçileri 19. yüzyılın ikinci yarısında istatistiksel mekaniğin gelişimi için harekete geçirmiştir. James Clerk Maxwell, Ludwig Boltzman ve Josiah Willard Gibbs, bu doğrultuda ön plana çıkan fizikçilerdir. Bu fizikçiler, atomların varoluşunu ve onların istatistiksel özelliklerini açıklamak için gelişmiş matematiksel yöntemler kullanmışlardır. Bir gazın içindeki moleküllerin vektörel hızlarının dağılım olasılığı (Maxwell – Boltzman dağılımı) ve farklı enerjili durumların genel olasılık dağılımı (Boltzman – Gibbs dağılımı) buna örnek olarak gösterilebilir (Yakovenko, 2008).

Sosyal istatistik ile istatistiksel mekanik arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Sosyal olaylar istatistiksel mekanik temelinde, gazların kinetik enerjisinin gelişimi doğrultusunda Maxwell ve Boltzman'a yol göstermiştir (Ball, 2002, s. 1). 19. yüzyıl sonlarına doğru, Edgeworth ve Marshall ekonominin denge durumunu gerçekleştirme kavramını keşfetmek için, Maxwell ve Boltzman tarafından gazlar için açıklanan fikirleri kullanmışlardır. G. Daniel ve D. Sornette'ye göre, günümüzde birçok iktisadi düşüncenin temelinde bulunan genel denge kuramı önemli değildir; ancak P. Krugman tarafından ifade edilen “ekonomideki her şey her şeyi etkiler” fikrinin formülasyonu önemlidir ve fizikteki “ortalama - alan kuramı”<sup>2</sup> (mean - field theory) ya da diğer bir ifade ile “kendi kendine – tutarlı alan kuramını (self - consistent field theory) andırmaktadır (Daniel ve Sornette, 2008).

İktisat – fizik tarihçesinin ilk dönüm noktası, Vilfredo Pareto'nun 1897 yılındaki “Cours d'Economie Politique” isimli çalışmasıdır. Pareto çalışmasında, gelir dağılımının yüksek ve düşük kısımlarında güç yasasının geçerli olduğuna dikkat çekmiştir (Yakovenko, 2008).

---

<sup>2</sup> Ortalama Alan Kuramı (Kendi Kendine Tutarlı Alan Kuramı): İstatistiksel fizikte kullanılan yaklaşım modelidir. Spinler en yakın komşularla etkileşmek yerine bir ortalama spinle etkileşiyormuş gibi işlem yapılı.

İstatistiksel fizik uygulamalarının en ünlü örneği rassal yürüyüştür (random walk). Rassal yürüyüş, 1900 yılının başında Lois Bachelier tarafından fiyat dinamiklerinin açıklanmasında kullanılmıştır (Alfi, 2007). Bachelier, iktisadi veri tabanında Brownian Hareketi (Brownian Motion) kuramını geliştirmiştir (Burda, Jurkiewicz ve Nowak, 2003). Bu tarihten beş yıl sonra 1905 yılında Albert Einstein ise, rassal yürüyüşü matematiksel olarak formüleştirmiştir. Brownian Hareketi, Einstein tarafından son derece az, bağımsız basamaklı rassal yürüyüşün limiti olarak tanımlanmıştır. Brownian Hareketi daha sonra 1920'li yıllarda Norbert Wiener tarafından matematiksel olarak tanımlanmıştır (Spencer, 2007). Takip eden modern rassal yürüyüş modelleri şu anda kuramsal fizik, iktisat ve finans modellerinin temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır (Daniel ve Sornette, 2008).

Einstein'ın uzay - zaman eğrisi kuramının<sup>3</sup> (theory of curved space - time) önemini fark eden ilk iktisatçının Keynes olduğunu söylemek mümkündür. Keynes, "General Theory of Employment, Interest and Money" isimli eserinde bu konuya yer vermektedir. Buna göre; klasik kuramcılar Öklitçi olmayan bir dünyada (non - Euclidean world) Öklit geometrisini<sup>4</sup> kullanmaktadırlar ve aynı durum iktisatçılar için de geçerli olmaktadır. İktisat bilimi klasik doktrinden vazgeçmeli ve gönülsüz işsizlerin olduğu bir sistemin davranışları üzerine çalışmalıdır. Ancak Keynes'in bu sözleri tamamen Einstein'dan esinlenerek yazdığı şeklinde abartılı bir yorum yapılması doğru değildir. Post Keynesyen iktisatçıların tam olarak görelilik kuramından etkilendiği söylenebilir. Keynes ise "tersinemez zaman" (irreversible time) davranışının öncülerinden olarak düşünülebilir (Hsieh ve Ye, 1991).

İktisat – fizik ilişkisine bir diğer önemli katkıyı, 1930'lu yıllarda İtalyan fizikçi Ettore Majorana yapmıştır. Majorana üstü kapalı bir şekilde sosyal olgunun, doğal olguları düzenleyen yasalarla aynı yasalara uyduğunu kabul etmektedir. Majorana, "Fizik ve Sosyal Bilimlerde İstatistiksel Kuralların Değeri" (II Valore Delle Statistiche Nela Fisica Enelle Scienze Sociali) isimli

<sup>3</sup> Einstein'ın Uzay - Zaman Kuramı: Einstein'ın tanımladığı evrende uzay ve zaman tekdüze değildir, cisimler tarafından itilip, çekilebilir ya da uzatılıp bükülebilir. Yani gözlemciye göre değişir, görelidir. Bu kuramda cisimler uzay zamanın nasıl eğrileceğini, eğrilen uzay - zaman ise cisme nasıl hareket edeceğini söylemektedir (Overduin, 2007).

<sup>4</sup> Öklit geometrisinin beş aksiyomu bulunmaktadır. Bu aksiyomlar şunlardır: (i) herhangi iki noktadan bir ve yalnız bir doğru geçer, (ii) herhangi bir doğru parçası sonsuza kadar bir doğru olarak uzatılabilir, (iii) bir doğru parçası verildiğinde, merkezi verilen doğru parçasının bir ucunda olan, yarı çapı ise verilen doğru parçası olan bir çember çizilebilir, (iv) tüm dik açılar eşittir, (v) bir doğruya, bu doğrunun üzerinde olmayan bir noktadan tek bir paralel çizilebilir (Nesin, 2004, ss. 70,72). Öklid Geometrisi 19. yy başlarına kadar tartışılmaz olarak kabul edilmekteydi. 20. yy'ın başlarında ise Einstein, gerçekte geometrinin Öklit olmayan Geometri olduğunu göstermiştir. (Norton, 2011).

bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, ölümünden 5 yıl sonra 1942 yılında “Scientia” isimli İtalyan dergisinde yayınlanmıştır (Artemi, 2006).

1949 yılında Harvard Üniversitesi’nin dilbilimci Profesörü George Kingsley Zipf, “Human Behavior and the Principle of Least Effort” isimli kitabında güç yasasının, sosyal bilimlerin her konusunda var olduğunu ileri sürmüştür. Ona göre, güç yasası sadece fizik dünyası ile sınırlı değil, her türlü insan davranışı, organizasyonu ve anatomisi için geçerlidir. Zipf, İngilizce’deki kelimelerin ortaya çıkışı üzerine çalışmış ve kelimelerin metin içerisinde rastlanışlarına göre sınıflandırıldığında ve buna göre her sınıfın ne kadar sıklıkla kullanıldığı belirlendiğinde, dağılımın güç yasasına uyduğunu göstermiştir (Mandelbrot ve Hudson, 2005).

Pareto ve Zipf, güç yasasının sosyal bilimlerdeki ilk kullanıcılarıdır. Güç yasasının matematiksel kuramını ise ilk kez 1925 yılında Paul Levy yapmıştır. Ancak o dönemde çok fazla ilgi çekmemiştir. Benoit B. Mandelbrot ise güç yasası dağılımlarını ciddiye alarak inceleyen ilk kişi olmuştur. Günümüzde ekonometriciler tarafından yaygın olarak kabul edilen; fiyatların, standart dağılımların öngördüğünden çok daha fazla değişebileceğini ve fiyat dağılımlarının şişman kuyruğa (fat tail) sahip olduğunu göstermiştir. Mandelbrot’un 1960’lı yıllardan itibaren yazdığı makaleler, iktisat-fizik ilişkisinin meyvesi olarak ortaya çıkan ekonofiziğin temelini oluşturmaktadır (Mandelbrot ve Hudson, 2005). Mandelbrot’un “Fractal Geometry of Nature” isimli kitabına göre, Mandelbrot fraktal ve çoklu (multi) ölçekleme kuramlarının temelini Paul Levy’nin çalışmalarından esinlenerek oluşturmuştur (Kitt, 2005).

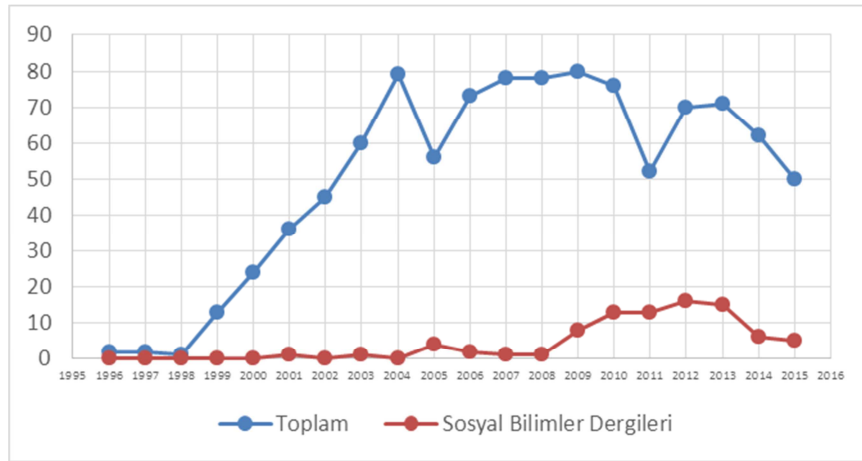
1970’li yıllarda, finans dünyasında birçok önemli değişim olmuştur. Bunlardan biri yabancı paraların finansal piyasalarda işlem görmeye başladığı ve değerlerinin döviz piyasasınca belirlendiği, tüm dünyada 24 saat aktif finansal bir piyasanın yaratıldığı 1973 yılıdır. 1973 yılında, Opsiyon – Fiyatlama Kuramının temel taşı olarak kabul edilen Black & Scholes Opsiyon Fiyatlama Modeli, Bachelier’in tezinden yaklaşık yetmiş beş yıl sonra yayınlanmıştır (Mantegna ve Stanley, 2000). Bu model geometrik Brownian Hareketini izleyen bir yaklaşımdır (Alfi, 2007).

1980’li yıllarda normal dağılımın hâkim olduğu Gaussian dünyanın değişmesinde önemli bir faktör de bilgisayar teknolojisi olmuştur. Bu teknolojinin ekonomi üzerindeki etkisi büyüktür. Öncelikle bilgisayarlar çok sayıda veriyi saklayabilmenin yanında, işlemleri daha hızlı hale getirmektedirler. Ayrıca bu sayede ekonomiler ve piyasalar birbirlerine çok daha yakınlaşmışlardır. Bu durum, iktisadi sistemler içerisinde doğrusal olmama (nonlineer) kavramının ortaya atılmasına öncülük etmiştir. Burada dinamik sistemlerin kaotik davranışları incelenmiş ve bu doğrultuda kaos çalışmaları kuramsal

fiziğin temel dalı haline gelmiştir (Burda, Jurkiewicz ve Nowak, 2003). Doğrusal olmayan etkileşimler sonucu gözlemlenen karmaşık yapılar ve onların yarattığı şaşırtıcı sonuçlara iktisat biliminin duyarsız kalması mümkün değildi (Fontana, 2010).

Bundan sonraki süreçte iktisadi sorunlar üzerinde yapılan çalışmaların fizik dergilerinde yayınlanmaya başlaması ile birlikte iktisat ve fizik ayrı iki bilim olmaktan çıkıp, ekonofizik başlığı altında karşımıza çıkmaya başlamıştır. Belirtmek gerekir ki; ekonofizik çalışmaları başlangıçta sadece fizik dergilerinde yayınlanmış, son yıllarda ise sosyal bilimlerde de, öncesine göre, daha fazla yer bulmaya başlamıştır. ISI Web of Science veri tabanında yayınlanan makaleler incelendiğinde söz konusu artış açık bir olarak Şekil 1’de görülmektedir. (Kırer, 2016).

**Şekil 1. ISI Web of Science Veri Tabanında Yayınlanan Ekonofizik Makaleleri**



**Kaynak:** Kırer (2016).

#### 4.1 Ekonofizik Kavramının Doğuşu

Geleneksel ekonofiziğin başlangıcı, iktisat yazılarının fizik dergilerinde yayınlanmaya başladığı an olarak kabul edilmektedir. Fizik dergilerinde basılan ilk iktisat makalelerinden biri Mantegna'nın Physica A dergisinde yayınlanan "Levy Walks and Enhanced Diffusion in Milan Stock Exchange" isimli çalışmasıdır. 1990'lı yıllarda iktisat yazılarının, fizik dergilerindeki sayısı hızla artmıştır (Roehner, 2002). Ekonofizik terimi ise ilk olarak 1995 yılında H. E. Stanley tarafından türetilmiştir. Sosyoekonomiye termodinamik yaklaşım, 1994 yılında D. K. Foley, 1995 yılında J. Mimkes, 2001 yılında ise A. A.

Dragulescu ve V. M. Yakovenko tarafından desteklenmiştir. Bu tarihten itibaren konuları ekonofizik, iktisatta karmaşıklık ve sosyoekonomik ajan sistemleri olan çok sayıda konferans, doğa ve sosyal bilimler arasındaki iletişimi arttırmak için düzenlenmiş ve düzenlenmeye devam etmektedir (Mimkes, 2006). Şunu belirtmek gerekir ki, ekonofizikte tüm bu gelişmelere rağmen, anaakım iktisat bu yeni alanı henüz tam olarak kabul etmemektedir ve çoğu zaman yoğun şekilde eleştirmektedir. Gallegati vd. (2006), ekonofiziğin sosyal ve iktisadi dünyanın nasıl yönetildiğini anlamayı geri plana attığını söylemekte ve bu alanda bulunan bir çok ampirik sonucun aynısının ya da çok benzerinin iktisat literatüründe çok daha önce bulunduğunu belirtmektedirler.

Başka bir eleştiri ise, ampirik olayları açıklamak için kullanılan kuramsal modeller konusundadır. Bu tür eleştirileri yöneltenlere göre, bu modellerin birçok zorlukları ve sınırları bulunmaktadır. Bunun dışında ekonofiziğin dar bir alan üzerine odaklandığı, çalışmaların birçoğunun olayların arkasında yatan nedenlerden çok, birçok sayısal veri kullanarak yayın çıkarma kaygısı ile yapıldığı yönünde de eleştiriler bulunmaktadır. Ancak bu eleştirilerin hiç birisi, bu yeni alanın gelişimini durduramamaktadır ve son yıllarda bu alana ilgi sürekli olarak artmaktadır. Bunda araştırmacıların karmaşık sistemlere yönelmesinin, bazı olayların yerleşik iktisadın var olan kanunları ile açıklanamamasının, yerleşik iktisatta genel olarak ihmal edilen ayrıntılar ve sapmalar üzerine olan ilginin artmasının ve normal dağılım dışındaki dağılımların sosyal olaylar üzerinde görülmesinin etkisi büyüktür.

## 4.2 İktisat ve Fizik Arasındaki Ortak Dil

İktisat ve fizik bilimleri arasındaki yaklaşık iki yüz yıl öncesine dayanan etkileşim ve bu etkileşimin mimarları çalışmanın bir önceki kısmında anlatılmıştır. Bu kısımda ise fizikte kullanılan terimlerin iktisatta buldukları karşılıklardan bahsedilmekte, iktisat ve fiziğin ortak bir dil olarak nasıl ifade edildiği gösterilmektedir.

Yegorov çalışmasında fizikte kullanılan elementler, basit ve karmaşık yapılar, etkileşim, elementlerin ve yapıların karakteristikleri gibi kavramların iktisat bilimindeki karşılıklarını göstermektedir (Yegorov, 2007). Bu çalışmaya göre fizikteki elementler, parçacıklar (particles) ve atomlardır. Bunların iktisatta bulunduğu karşılık ise ajanlardır. Tabii ki aralarında belirli bir fark bulunmaktadır. Parçacıklar düşünemezken, ajanlar parçacıklardan farklı olarak davranış kurallarına uymak zorundadırlar. Ancak benzerlik, kümeleme yapıldığında ve elementler arasında doğrusal olmayan ilişkiler düşünüldüğünde kullanılabilir. Fizikte moleküller, az sayıda atomun görece durağan bir birliğini (union) ifade etmektedir. İktisatta ise, aile ve küçük işletmeler gibi benzer mikro yapılar ortaya çıkmaktadır. Fizikte karmaşık yapılar makro se-

viyede belirlemektedir. İstatistiksel fizikte, mikro durum koordinat ve hızları (velocity) ile çok sayıda parçacığın kümesidir. Makro durumdaki parametreler (derece, kuvvet) ölçülebilmektedir.

Fizik, mikro parametrelerle makro parametreleri nasıl ilişkilendireceği ile ilgili olarak birçok model önermektedir. İktisat bilimi de, mikro düzeyden makro düzeye geçiş söz konusu olduğunda aynı modelleri kullanmaktadır. Bu açıdan ekonomi, devlet ve küresel toplum; karmaşık yapılara verilebilecek örnekler arasında yer almaktadır. Fizikte parçacıklar, alan (field) aracılığı ile etkileşmektedirler. Tüm alanlar genellikle belirli bir ters güç yasasına bağlı uzaklıkla azalmaktadır. Parçacıkların koordinatları, onları alana göre doğal olarak asimetric yapmaktadır. Başlangıç koşullarına bağlı olarak farklı yapılar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, çekim (gravity) gücü bir uzay sistemi yaratmaktadır. Doğrusal olmama ve heterojenlik, çeşitli yapıların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ancak iktisatta etkileşim, genellikle doğrusal olarak modellenir: ajanlar, tercihlerine bağlı olarak gelirlerini (endowment) piyasaya sürerler ve karşılığında piyasadan mal ve hizmet alırlar. Tek doğrusal olmama durumu faydadan kaynaklanır. Ajanlar arası etkileşimin doğrusal olmayan unsuru dışsallıklardır.

Kuantum mekaniğindeki Heisenberg<sup>5</sup> eşitsizliğinden ötürü, ilk iki parametre mikro düzeyde ölçülememektedir. Diğer taraftan, enerji tanımlanabilmekte ve ölçülebilmektedir. İktisat bilimi de, bir çeşit Heisenberg eşitsizliğine sahip olabilmektedir. Çünkü bazı mikro iktisadi parametreler (fayda gibi) doğrudan olarak gözlemlenemez. Yegorov'a (2007) göre, bu durum henüz çözümlenmemiştir ve önemli bir soru olma özelliği taşımaktadır. İktisat biliminde, servet (ya da gelir) enerjinin bir benzeri iken; tüketim kümesinin dinamik modeli, koordinatlar ve hızlara benzetilebilmektedir. Bu nedenle makro iktisadi durum, bireylerin gerçekte ölçülebilen servet dağılımına bağlı olmalıdır. Fizikteki yapılar; onların toplam enerjisi, kütle, entropi, kristal ya da gaz gibi mikro düzenin şekli (type of micro order) tarafından karakterize edilebilmektedir. İktisatta ise makro iktisat ülkelerin gayri safi yurtiçi hasıla, faiz haddi, büyüme oranı gibi konularla ilgilenmektedir. Düzen şeklini karakterize eden parametreler, genellikle iktisatta çalışılmamaktadır. Hâlbuki bu parametreler, önemli toplumsal karakteristik özellikleri göstermektedirler.

---

<sup>5</sup> Heisenberg'e göre, atomik seviyede bir maddesel noktanın hem yerini hem de kütle ve hızının çarpımından meydana gelen momentumunu tam olarak belirlemek mümkün değildir. Heisenberg, bir maddesel noktanın yerini istenilen hassaslıkla belirleyecek aletle, aynı maddesel noktanın momentumunu yine istenilen hassaslıkla belirleyecek aletin aynı anda çalışamayacağını gözlemlemiştir. Her ölçü yapılacak diğer ölçünün hassaslığını bozacak, böylece belirsizlik ortaya çıkacaktır ([www.turkcebilgicom/belirsizlik/ansiklopedi](http://www.turkcebilgicom/belirsizlik/ansiklopedi) [10.02.2011]).



Cimberis (1998) ise çalışmasında para – enerji benzetmesine yer vermektedir. Buna göre; enerji en basit şekilde iş üretme kapasitesi olarak tanımlanırken, para diğer kişilere iş yaptırma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda para ve eşdeğerleri, insan reaksiyonu yani bireyin çalışması için itici bir güçtür.

Ekonomideki Fisher denklemi (miktar kuramının işlem tipi), fizikteki termodinamik ile benzetilmektedir.  $P.T \equiv M.V$  denkleminde; P ödemelere temel oluşturan işlemlerin ortalama fiyatını, T para ile yapılan tüm işlemleri, M para miktarını gösterirken, V paranın işlem dolaşım hızını göstermektedir. Burada hız, fizikten alınan bir terimdir (Shubik ve Smith, 2006).

P. Mirowski, kitabında Fisher’ın yapmış olduğu fizik kavramlarının iktisadi karşılıklarını özet halinde vermektedir. Bu özet, Tablo 2’de gösterilmektedir.

**Tablo 2. Fisher’ın Çevirisi**

| <b>Mekanik</b>   | <b>İktisat</b>  |
|--|---|
| Parçacık (a particle)  | Birey   |
| Uzay (space)   | Mal (commodity)   |
| Kuvvet (Force)   | Marjinal fayda ya da faydasızlık (disutility)   |
| İş (work)  | Faydasızlık   |
| Enerji   | Fayda   |
| İş ya da enerji=kuvvet x uzay  | Fayda = marjinal fayda x mal  |
| Kuvvet, vektörel bir büyüklüktür.  | Marjinal fayda, vektörel bir büyüklüktür.   |
| Kuvvet, vektör toplamlarına (vector addition) eşittir.   | Marjinal fayda, vektör toplamlarına eşittir.  |
| İş ve enerji skalerdir.  | Faydasızlık ve fayda skalerdir.   |
| Toplam enerji, itici kuvvetin integrali olarak tanımlanır.   | Bireylerin toplam faydası, marjinal faydalarının integrali olarak tanımlanır.   |
| Denge, net enerjinin (enerji-iş) maksimum olduğu yerde ya da her eksenindeki zıt kuvvetlerin (itici ve çekici) birbirlerine eşit olduğu yani birlerini nötrlediği yerde olacaktır. | Denge, kazancın (fayda-faydasızlık) maksimum olduğu yerde ya da her eksenindeki marjinal fayda ve marjinal faydasızlığın eşit olduğu yerde olacaktır. |
| Toplam enerji toplam işten çıkarılırsa; fark potansiyel ve minimumdur.   | Toplam fayda toplam faydasızlıktan çıkarılırsa, fark kayıp ya da minimum olarak adlandırılabilir.   |
| Bir eksen boyunca bileşen kuvvet (component force) dengededir.   | Malın fiyatı dengededir.  |
| Kinetik enerji   | Toplam harcama  |
| Yer değişimi (displacement)  | Malın artan birimi  |
| Enerjinin korunması  | Fayda + harcamanın korunması  |

**Kaynak:** Mirowski (1989, ss. 224, 225).

### 4.3 Ekonofizik Kavramı ve Temel Başlıkları

Ekonofizik, iktisadi problemlere fizik yöntemlerini kullanarak çözümler bulmaya çalışan bir alandır. Ekonofizik kavramı, ilk kez 1995 yılında II. Statphys-Kolkata konferansında fizikçi H. Eugene Stanley tarafından kullanılmıştır. Mantegna ve Stanley'e göre; ekonofizik, fiziksel bilimlerden türetilen yeni kavramsal yaklaşımların karışımını test ederek, iktisadi sorunlar üzerinde çalışan fizikçilerin aktivitelerini gösteren yeni bir alandır (neologism) (Mantegna ve Stanley, 2000). Aslında fizikçilerin, iktisat terimleri ile ilgilenmesinin ardından, fiziğin alt dalları olarak birçok disiplinler arası alan ortaya atılmıştır. Bazı Fransız fizikçiler, fizik ve finansın birleşimi olan "phynance" terimini önerirken, daha başka fizikçiler başka terimleri önermişlerdir. Ancak bu terimler çok fazla ilgi çekmemiştir. Stanley (1999) ise biyofizik, jeofizik ve astrofizik terimlerine benzer olan ekonofizik terimini ileri sürmüştür. Burada özellikle fizik kurallarına uyarak yaşayan canlılar üzerinde çalışan biyofizik ile olan paralellik önem kazanmaktadır (Yakovenko, 2008).

18. yüzyılın sonlarında G. Gavasi ve A. Volta elektriksel simülasyona maruz kalan kurbağa kaslarının daraldığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışma, Volta'nın elektrik bataryasını icat etmesi ile sonuçlanmış ve yaşayan organizmalarda fizik olgusunun kullanıldığı ilk çalışmalardan biri olmuştur. Daha sonra, 19. yüzyılın ikinci yarısında Alman elektrofizyolojist Emil du Bois-Reymond kaslarda geçerli olan anlık olayları ölçmeye çalışmıştır. Kasların elektriksel özellikleri hakkındaki bu çalışmalar, 1920 yılından sonra biyofizik olarak bilinen bir alanı doğurmuştur. Biyofiziğin özelliği, fizikten çok daha fazla parametreye sahip olması ve bu parametreleri kontrol etmenin çok daha zor olmasıdır. Biyofiziğin modern fiziğin köşe taşı olarak ortaya çıkışı, biyofizik araçların DNA'nın (Deoxyribonucleic Acid) moleküler yapısını çözme ve hemoglobin gibi proteinlerin detaylı yapılarını saptamadaki olağanüstü başarısına dayandırılmaktadır. Biyofizik ve ekonofizik arasında gelişim açısından çok büyük bir benzerlik bulunmaktadır. Biyofiziğin resmen ortaya çıkışı 1920'li yıllardır. Aynı süreç ekonofizikte de gözlemlenmektedir (Roehner, 2002).

Ekonofiziğin disiplinler arası, çok disiplinli ya da disiplinler boyu bir alan olması ile ilgili farklı görüşler mevcuttur. Çok disiplinli alan, çoklu disiplinlerden normal sınırların dışında yeniden tanımlanmış sorunlara kadar uygun şekilde çizilen çözüm üretir. Ancak, bu alan ortak bakış açısı üretmede eksik olabilmektedir. Disiplinler arası alan, çoğunlukla ayrı görüş açılarını bir araya getirmeye çalışır ve köklerini ayrı disiplinler içinde tutar. Bu durum, amacı ile olan uyumu kaybetmesine neden olabilmektedir. Disiplinler boyu alan ise, araştırılabilen ve ortaya çıkabilen birbirinden ayrı sorunlar arasında bağlantı

kuran düşünsel bir alandır. Bu alanda, sorunlar yeniden düşünülmekte, alternatifler tekrardan gözden geçirilmekte ve karşılıklı etkileşimler incelenmektedir (Kim, 1998). R. Mantegna ve H. Eugene Stanley, ekonofiziği çok disiplinli bir alan olarak değerlendirmekte ve burada fizikçilerin iktisadi sorunları sınamak için fizik biliminden türetilen yeni kavramsal yaklaşımları kullandıklarını belirtmektedirler (Mantegna, Stanley, 2000). Yakovenko ise ekonofiziği, iktisat ve finansdaki problemlere istatistiksel fizik metotlarını uygulayan disiplinler arası bir araştırma alanı şeklinde tanımlamaktadır (Yakovenko, 2008). Reimann'a (2008) göre ise, ekonofizik interdisipliner bir alandan çok disiplinler boyu karma bir alandır (a transcultural hybrid); çünkü iki disiplinin amaçları birbirinden farklıdır. Fizik, dinamik sistemleri anlamayı amaç edinirken; iktisat, daha çok kalkınma ve finansal enstrümanların fiyatlamasından yönetsel ve politik konularla ilgili sorulara doğru gelişen uygulamalarla ilgilenmektedir. Bu nedenle de, iktisat daha çok mühendislik bilimlerine yakın durmaktadır (Reimann, 2008). Son olarak H. E. Stanley, 2011 yılında Çin'de düzenlenen Uluslararası Ekonofizik Sempozyumunun açılış konuşmasında, ekonofiziği türdeş alanlı (cross disciplinary) olarak nitelendirmiştir. Türdeş alanlılık; herhangi bir disiplinin özelliklerini, başka bir disipline dayanarak açıklamaya çalışmaktadır. Bu açıdan, Stanley ekonofizik için türdeş alanlı diyerek; ekonomik sorunları fiziksel temellere dayanarak açıklamaktan bahsetmiştir.

Ekonofiziğin, Newton Yasası ya da Kuantum mekaniği gibi fizik yasalarını tam olarak insanlara uygulamadığını belirtmekte yarar vardır. Daha çok istatistiksel fizikte geliştirilen matematiksel yöntemleri, çok sayıda bireyi içeren karmaşık iktisadi sistemlerin istatistiksel özelliklerini çalışmada kullanılmaktadır. Bu doğrultuda ekonofizikçiler, istatistiksel dağılımların kuyruklarında yatan uç (ekstrem) olayların analizleri ile ilgilenmektedirler (Lisa, Filatrella, 2002). Ancak istatistiksel fizik; amacı, yöntemleri ve sonuçları bakımından matematiksel istatistikten belirgin şekilde farklıdır (Yakovenko, 2008).

Ekonofizik şu konularla ilgilenmektedir (Savoie ve Siman, 2008):

- Finansal piyasalardaki getirilerin dağılımı,
- Finansal serilerin zaman korelasyonu,
- Finansal bir piyasadaki fiyat dinamikleri ve türbülans gibi fiziksel süreçler ya da ekolojik sistemler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar,
- Firma büyüklükleri ve büyüme oranlarının dağılımı,
- Şehir büyüklüklerinin dağılımı,
- Bilimsel buluşların dağılımı,

- Bazı inançlara bağlı olarak fiyat değişimlerinde daha yüksek dereceden korelasyonun varlığı,
- Gelir ve servet dağılımı,
- Firmaların gelir dağılımı çalışmaları ve büyüme oranlarının istatistiksel çalışmaları.

Ekonofizik ayrıca; üniversiteler, bölgeler ve ülkeler gibi karmaşık organizasyonların iktisadi başarılarının istatistiksel özelliklerini araştırmaktadır.

Ekonofiziğin amacı, piyasaların evrensel davranışlarını anlamaktır. Bu doğrultudaki temel araçları ise istatistiksel fizik veya Kuantum istatistiğinden alınan olasılıksal ve istatistiksel yöntemlerdir. Ekonofizikte iktisadi olguları, fizik kavram ve metotları ile analiz etmek için üç tip örnek bulunmaktadır (Savoie, Siman, 2008):

Borsada fiyat dağılımlarının türevi (borsada x fiyatındaki değişim, borsa ajanları (dealers) arasında rastgele olarak dikkate alınabilmekte ve daha sonra borsada fiyatın  $f(x,t)$  dağılımı için,  $1/k$  dağılım katsayısı (diffusivity) olmak üzere Brownian Hareketi gibi bir difüzyon denklemi türetilmektedir);

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = \frac{1}{k} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2}.$$

Dağılımlar güç yasasını izlemektedir;  $\alpha$  güç yasasının üssü, c sabit olmak üzere,  $\ln p(x) = -\alpha \ln x + c$  ya da  $p(x) = Cx^{-\alpha}$  şeklinde gösterilmektedir.

Belirli bir zaman aralığı için borsanın fiyat değişimlerinin fraktal bir yapıya sahip olduğunu söyleyen Mandelbrot'a dayanan fraktal ve kaos analizi; D fraktal boyutu<sup>6</sup> olmak üzere,  $X(t) = Ct^D$  eşitliği ile yapılmaktadır.

İstatistiksel fizik, çok sayıda etkileşim içerisinde olan ve alt birimleri kapsayan sistemlerle ilgilenmektedir. Burada bireysel alt birimlerin, imkansız olarak görülen davranışlarını öngörmek istemektedir (Stanley, 2004).

Ekonofizik kendini politik iktisadın kuramsal ve ideolojik biçiminden uzak tutmakta ve odak noktasını ekonometriye yakın bulundurmaktadır (Yakovenko, 2008). Ekonometri, birbiri ile etkileşim içerisinde olan çok sayıda iktisadi ajanın matematiksel modellerini çalışmaktadır. Ancak klasik ekonometride, tesadüfi şoklar genellikle normal dağılım ile tarif edilmektedir. Oysa gerçekte birçok finansal zaman serisi “şişman kuyuklara” sahiptir. Bunun anlamı; ekstrem getirilerin (hem pozitif, hem de negatif), normal dağılım altında bek-

<sup>6</sup> Kutu sayma (box counting) metodu ile hesaplanmaktadır. Farklı boyda, kaç tane kutu veya karenin sayılması gerektiğine göre boyut belirlenmektedir.

lenen değerinden çok daha sık ortaya çıkmasıdır. Artan sayıda kanıt, getirilerin güç yasası (power law) dağılımı gösterdiğini belirtmektedir (Schmidt, 2005).

Ekonofizik çerçevesinde yapılan analizler ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki; gerçek piyasalardan, gerçek verileri analiz etmeye ve onları yorumlamaya çalışan “deneysel ve gözlemsel” araştırmalar, diğeri ise deneysel gerçeklerle elde edilen bazı miktarlar için mikroskobik modeller kurmaya çalışan “kuramsal” araştırmalardır (Savoie ve Siman, 2008).

#### 4.4 Ekonofizik Uygulamaları ve Önemi

İktisadi problemler üzerinde en sıklıkla kullanılan fizik alanı, istatistiksel fiziktir. Bu bağlamda bu kısımda ilk olarak istatistiksel fizik uygulamaları anlatılmaktadır. Daha sonra ise iktisattaki termodinamik ve kaos uygulamaları ile ilgili bilgi verilmektedir.

##### 4.4.1 İstatistiksel Fizik Uygulamaları

İstatistiksel fizik; çok sayıda parçacıktan oluşan sistemlerin, makroskopik cisimlerin özelliklerini, mikroskopik (istatistiksel) verilere dayanarak araştıran bir fizik koludur (Mikailov, San, 2008). Finansal piyasalarda, istatistiksel yöntemlerin kullanımını Gauss’a kadar götürmek mümkündür. 1897 yılında ise V. Pareto, gelir dağılımı için, daha sonra fizikçiler için önemli olacak güç yasasını tanımlamıştır (Daniel, Sornette, 2008). Pareto, durağan bir ekonomide bireylerin servetlerinin istatistiksel özelliğini incelemiştir;  $y$ ,  $x$  ya da daha fazla gelire sahip kişilerin sayısını,  $v$ , Pareto üssünü göstermek üzere; dağılımı  $y \approx X^{-v}$  şeklinde modellemiştir. Pareto’ya göre  $v$  tahminen 1,5’tur ve bu sonuç geneldir (Mantegna ve Stanley, 2000).

İstatistiksel fizik uygulamalarının en ünlü örneği rasgele yürüyüştür. Rasgele yürüyüş iki varsayım üzerine oturmaktadır; (i) fiyat değişimleri bağımsız rasgele değişkenlerdir, (ii) değişimler bazı olasılık dağılımlarına uygundur (Fama, 1963).

Bir fizikçi için iktisat bilimindeki en ilginç olay, ekonomide dalgalanmaların egemenliğidir. İstatistiksel fizik, özellikle dalgalanan sinyallerle ilgilenmektedir. Bu dalgalanmalar yaklaşık yüz yıl önce fizikçi L. Bachelier’in sapmalı (biased) rasgele yürüyüş modelini geliştirmesine neden olmuştur (Stanley vd., 2001). Bachelier’den beş yıl sonra 1905 yılında, Albert Einstein Brownian Hareketini, rasgele yürüyüş kuramına destek olarak ortaya atmıştır. Rasgele yürüyüş, şimdilerde kuramsal fizik, iktisat ve finans modellerinde yer almaktadır. Fizikçi Ettore Majorana’ya göre; 1930’larda sosyal ve iktisadi olgu, olası mikroskopik yapılandırmaların istatistiği ile açıklanabilmektedir. Daha

sonraları Herbert Simon, ve izleyenleri, firma büyüklüklerinin dağılımı gibi konular için istatistiksel mekanik tarzında çok sayıda kuram geliştirmişlerdir (Farmer ve Lux, 2008). 1949'da George Zipf, İngilizce'deki kelimelerin ortaya çıkışını incelemiş ve, kelimeler metin içerisinde ortaya çıkışlarına göre sıralandığında, kelime dizelerinin (word ranks) birikimli dağılım fonksiyonun güç yasası şeklinde olduğunu açıklamıştır (Kitt, 2005). Bir önceki kısımda belirtildiği üzere; güç yasasını sosyal bilimlerde ilk uygulayanlar Pareto ve Zipf olmasına karşın, kuramsal olarak açıklanması 1925 yılında Paul Levy tarafından yapılmıştır. Ancak Levy, o dönemde çok fazla ilgi çekmemiştir.

Mandelbrot'a göre, geçmiş araştırmaların bir çoğu fiyat değişimlerinin ampirik dağılımı ve normal dağılım arasındaki uyumayı vurgulamakta ve normallikten sapmaları yok saymaktadır. 1960'lı yılların başında geleneksel Gaussian yasanın karşıtı olan "Kararlı Paretian Hipotez"ini (Stable Paretian Hypotesis) öne sürmüştür. Bu hipotezde iki temel varsayım vardır: (i) ampirik dağılımların varyansı sonsuz gibi davranmaktadır, (ii) ampirik dağılımlar Gaussian olmayan (non-Gaussian) dünyaya uymaktadır (Fama, 1963). Mandelbrot, finansal iktisatta uzun kuyruklu (long-tailed) dağılımların öncüsü olmuştur. Bu dağılıma aynı zamanda; şişman kuyruklu, Pareto kuyruklu (Pareto tails), ağır kuruklu (heavy tails), güç yasası kuyruklu ya da leptakörtik dağılım (leptokurtic distribution, çok basık dağılım) da denilmektedir. Merton Miller, Eugene Fama, Richard Roll (Chicago); Paul Samuelson (MIT) ve Thomas Sargent (Carnegie) onu izlemişlerdir. Paul Cootner ve Clive Granger gibi iktisatçılar ise Mandelbrot'un önerisine karşı çıkmışlardır (Daniel ve Sornette, 2008).

Fama tezinde, Kararlı Paretian hipotezini, Dow Jones Industrial Average<sup>7</sup>'da (DJIA), otuz hissenin her birinin günlük fiyatlarının logaritmasının birinci farkı üzerinde incelemiştir. Buna göre dağılımların uzun kuyruklu olduğunu saptamıştır. Elde ettiği en önemli sonuç hisse senedi fiyatları için Kararlı Paretian hipotezin, Gaussian hipotezine göre daha uyumlu olduğudur (Fama, 1963). 1983 yılında Stuttgart Üniversitesi Sinerjetik Araştırma Grubu'ndan W. Weidlich ve G. Haag, istatistiksel fizikten faz geçişleri (phase transitions), master denklemleri, Fokker - Planck denklemleri gibi çeşitli kavramları sosyoloji, siyaset bilimi ve iktisattaki çeşitli sorunlara uygulamışlardır (Farmer, Lux, 2008). 1995'te Mantegna ve Stanley, 1999'da Gopikrishan ve diğerleri, Mandelbrot'un öne sürdüğü Levy dağılım sınıfının hariç tutulduğu varyansın varlığını kabul etmişlerdir. Önerilen farklı seçenekler üstel dağılım ve gergin (stretched) Levy dağılımı vardır. (Daniel, Sornette, 2008).

<sup>7</sup> DJIA, Amerika Birleşik Devletleri'nde önemli hisse senedi endekslerinden biridir ve en büyük 30 şirketi kapsamaktadır.

Son yıllarda istatistiksel fizikte büyük ilerlemeler meydana gelmiştir ve çok sayıda parçacığın etkileşimini içeren fiziksel sistemlerin mikroskopik ayrıntılardan bağımsız şekilde evrensel yasalara uyduğu belirlenmiştir. İstatistiksel fizikte temel amaç, farklı ölçeklerdeki karmaşık dinamik sistemlerin gözlemlenebilir özelliklerinin dağılımını, örneğin, zaman içerisinde dağılım hızının gelişimini incelemektir. Bu doğrultuda istatistiksel fizik, ölçekleme (scaling) kuramını formülleştirmiştir. Ölçekleme kuramının ana fikri, belirli şartlar altındaki çok parçacıklı bir sistemin özelliklerinin değişmez ölçekli (scale invariant) olacağıdır (Stanley vd., 1996).

İktisadi ağın karmaşıklığından ötürü, iktisadi sistemin dinamiklerini eksiksiz olarak analiz etmek çok zordur. Bununla beraber, varsayılabilen fakat doğrudan kanıtlanamayan durum; iktisadi bir ağın dinamiklerinin birbirine benzer olan çeşitli yapıları gösteren, bir tür kendi kendine organize olmuş kritiklik (self-organized criticality) ile kontrol edilmesidir. Kendi kendine organize olmuş kritiklik, ilgili sistemin kendini durağan ya da kararsız bir rejime yönlendirmesi anlamına gelmektedir. Bu rejim, uzun aralıklı korelasyonlarla ve ölçeksiz güç yasası ile karakterize edilmektedir. İktisadi sistemin olası kendi kendine benzerlik özelliği politik, coğrafi ve sosyal şartlardan dolayı ortaya çıkmaktadır. Örneğin, evrensel iktisadi sistem, ulusal iktisadi sistemlere ayrılmakta ve bunların da her biri bölgesel iktisadi kümeleri kapsamaktadır. Bu yapılar bir çeşit kendi kendine benzerlik göstermekte ve makro iktisadi özelliklerin olası ölçek değişmezliğine neden olmaktadır. Genel olarak tarif edilirse, ölçek değişmezliği gözlemin farklı ölçeklerde kendini yinelemesi anlamına gelmektedir (Schulz, 2003).

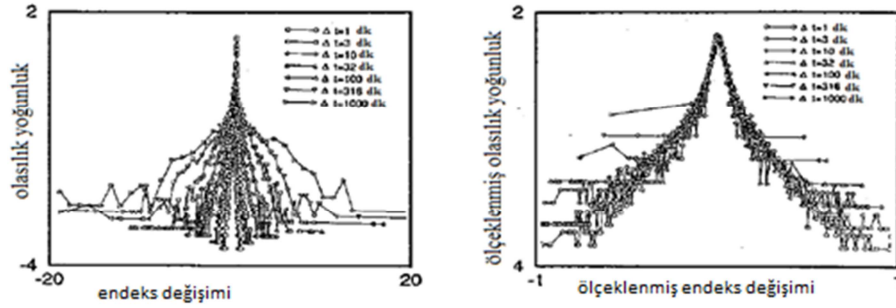
Bu konuda başka bir örnek; kısa uzaklık ve zaman içindeki bir sistemin davranışının, uzun uzaklık ve zaman içindeki bir davranışa benzer olmasıdır. Bu ölçekleme fonksiyonu, sistemin mikroskobik detaylarının çoğuna bağlı değildir. Sadece birkaç temel özellik, molekül içi etkileşimler ya da molekülün yapısına bağlıdır. İstatistiksel fizikte bu olgu evrensellik olarak tanımlanmaktadır. Böylece; örnek bir sistemin kısa ölçekli özellikleri ile ilgili bilginin, uzun ölçekli gerçek bir sistemin davranışını tahmin etmede kullanılması sağlanmaktadır. İktisadi sistemlerin çok sayıda etkileşim içerisinde bulunan birimleri içermesinden dolayı, ölçekleme analizinin kullanılması oldukça yararlıdır. Bu bağlamda S&P 500<sup>8</sup> endeksindeki dalgalanmalar ölçekleme davranışı sergilemektedir. Stanley vd. (1996) çalışmasında açıklandığı gibi, Mantegna ve Stanley, 15 milyon kayıt kullanarak bir dakika aralıklarla altı yılın üzerinde alış verişi işleminde, bir dakikalık zaman aralığındaki dağılımların 10

---

<sup>8</sup> S & P 500, Standard & Poor's tarafından yapılan ve 500 büyük Amerika şirketini kapsayan borsa endeksidir.

dakika, 100 dakika ve 1000 dakikalık aralıklarla yansıtıldığını belirlemiştir. Elde ettikleri bulguya göre, endeks getirilerinin dağılımı, Şekil 2'deki gibi, kuyruklarda azalan bir üstel Levy (Pareto'ya benzer) dağılımına uymaktadır. Bu ölçekleme özelliği, bir dakika aralığındaki borsa getirileri ile bin dakika aralığındaki getirilerin özelliklerini kavramayı sağlamaktadır.

**Şekil 2. Sol Taraftaki Panel,  $\Delta t$  Zaman Aralığında S&P 500 İndeksinin Olasılık Dağılımının Gösterimi. Sağ Taraftaki Panel ise Tüm Verinin Ölçeklenerek,  $\Delta t=1$  dk. İçin Daraltılmış Dağılımının Şekli.**



Stanley vd.(1996) çalışmalarında, ekonomiyi küçük bir spin camına (spin glass) benzetmektedirler. Buna göre, ekonomide her firma diğer tüm firmalara bağlıdır ve etkileşimler ne kısa aralıktır, ne de tek bir şekildedir. Örneğin, Ford Motors şirketi sağlam olmayan tekerleklere sahip araçlar sattığı için büyük bir sorun yaşamaktadır. Bunun sonucunda firmanın hisse fiyatları düşmekte ve olası müşteriler artık General Motors'un araçlarını almaya başlamaktadır. Bu durumda, iki şirketin hisse fiyatları arasında negatif bir korelasyon mevcuttur. Artan talep nedeniyle General Motors daha fazla sayıda araba üretmek için, daha fazla sayıda işçi çalıştırmak zorunda kalmaktadır. Bu durum General Motors'un yanındaki McDonalds şirketini de etkilemektedir; çünkü artık daha fazla müşteri için öğle yemeği hazırlaması gerekmektedir. Bu çerçevede büyüme ile pozitif korelasyon mevcuttur.

Bir zaman sonra, durum tekrardan değişebilir. Bu nedenle tüm spin'lerin diğeri ile etkileşim içinde olduğu ve bu etkileşimlerin zamanın bir fonksiyonu olarak değişebileceği söylenebilmektedir. Bununla birlikte, eğer firmalar bir çeşit zincirin içinde yayılıysaydı, aralarındaki korelasyon üstel olarak azalır (decay), ancak böyle değildir. Bu gerçek, 1997 yılında bir grup fizikçi ile iktisatçı Michael Salinger'in birlikte bir çalışma yapmalarına neden olmuştur (Buldyrev vd., 1997). Çalışmada 1974 - 1993 yılları arasında ticari işletmelerde meydana gelen yıllık dalgalanmalar gözlemlenip, hesaplanmıştır. Elde ettikleri



bulguya göre; eğer dalgalanmalar büyüklüklerine göre dağıtılsa, her iş günü için çadır şekilli dağılım (tent - shaped distribution) fonksiyonu elde edilmektedir. Çadırın genişliği büyük firmalar için, küçük firmalardan daha dar bulunmuştur. Bu sürpriz bir sonuç değildir; çünkü küçük firmaların büyüme potansiyeli daha fazladır. Sonuçta elde edilen fonksiyonun güç yasasına uyduğu görülmüştür (Stanley vd., 2001).

İşgücü verimliliği üzerine yapılan bazı çalışmalarda da istatistiksel fizikten yararlanıldığı görülmektedir. Aoyama vd. (2008) yaptıkları çalışmada Japon firmalarının verimlilik dağılımının Pareto yasasını takip ettiğini açıklamışlardır. Ikeda vd. (2009) sektörler arası verimlilik değişimlerini istatistiksel fizik çerçevesinde incelemişlerdir.

Başlangıçta belirtildiği üzere gelir ve servet dağılımı çalışmaları da istatistiksel fiziğin yoğun olarak kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Shaikh vd. (2014) geliri emek ve mülkiyet geliri olarak ayırıp; ABD verileriyle emek gelirinin üstel dağılıma, mülkiyet gelirinin ise güç yasasına uyduğunu bulmuşlardır.

#### 4.4.2 Termodinamik Uygulamaları

Termodinamik, fiziğin enerji ve enerjinin şekil değiştirmesi ile ilgilenen kolu olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, “enerji ve entropi bilimi” de denilmektedir. Termodinamiğin bilinen dört yasası bulunmaktadır. Sıfırinci yasaya göre, iki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkta eşdeğerse, bu iki cisim birbirini ile de sıcaklıkça eşdeğerdir. Birinci yasa, aynı zamanda enerjinin korunumu yasası olarak da bilinmektedir. Buna göre, enerji yok edilemez veya yoktan var edilemez; ancak değişik fiziksel ve kimyasal işlemlerle biçim değiştirebilmektedir. İkinci yasa, işlemlerin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, ters yönde olamayacağını ifade etmektedir. Bu yasa, entropi ifadesinin tanımlanmasına neden olmuştur. Entropi, sistemdeki düzensizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bir sistem tam olarak düzenli ise entropi sıfır demektir. Termodinamiğin son yasası ise mutlak sıfır sıcaklığındaki maddelerin entropisi ile ilgilidir ve “mükemmel bir kristalin mutlak sıfır sıcaklığındaki entropisi sıfırdır” şeklinde tanımlanmaktadır (Taşkan, 2011).

İktisadi kıtlık, termodinamik yasalarının bir yansımasıdır. İktisadi sürecin temel mekanik olmayan doğası, entropi yasası ile ortaya çıkmaktadır. İktisadi süreç, bir anlamda Maxwell’in şeytanı (demon)<sup>9</sup> gibi serbest enerjiyi sınıflan-

<sup>9</sup> Maxwell’in şeytanı, termodinamik avantaj için haber toplayan ve haber alış verişi yapan bir araçtır. Fizikçi James Clerk Maxwell tarafından ortaya atılmıştır. Görünüşte (ancak gerçekte değil) termodinamiğin ikinci yasası ile çelişir. Araç, süreç içerisinde bozulmalar hakkında bilgi vermesi için kullanılır (Lloyd, 1996, s. 1).

dırmaktadır. 1960'lı yılların sonu, 1970'li yılların başlarındaki büyüme tartışmaları süresince sonlu istek ve anti büyüme (non-growth) politik ekonomisi ortaya çıkmıştır. Daly'nin (1971) gözlemlerine göre; Mill tarafından ifade edilen ve tamamen büyüme tutkusuna (growth-mania) sahip olan düşüncelere rağmen, büyüme ideolojisindeki zincirleri kırdıklarını açıkça ifade eden çok sayıda iktisatçı bulunmaktadır. Her ikisi de Amerika İktisat Birliği Başkanlığı yapmış olan Kenneth E. Boulding ve Joseph J. Spengler, servet ve nüfusa karşı ekolojik sınırları vurgulayan çalışmalar yapmışlardır. Daha sonra E. J. Mishan, T. Scitovsky ve S. Linder de anti-büyüme tartışmalarına girmişlerdir. Yeni politik iktisat, yeni kavram ve sözlükleri gerektirmiştir. Bunlar, Daly tarafından tanımlanmış ve formüleleştirilmiştir. Daly, sermaye ve faizin Fisherian kuramını yeni bir görüş ile yan yana koymuş, Boulding ve Georgescu-Roegen'in anti-büyüme fikirlerini incelemiştir. Buna göre; sermaye ve faizin Fisherian kavramları sembolik olarak  $W=Y/r$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $W$  sermaye ya da servet,  $Y$  sermayeden elde edilen gelir akımı ve  $r$  faiz oranını göstermektedir. Sermaye, zamanla yıpranmakta bakım ve değiştirme işlemleri, zorunlu maliye getirmektedir. Daly, bu süreci "enerji meselesinin sürekli yayılması" (a continual throughput of matter-energy) olarak tanımlamaktadır. Burada "yayılm" (throughput) kelimesi yeni sözlüğün bir parçasıdır (Hsieh ve Ye, 1991).

Entropi sistemdeki toplam olası yararlı enerjidir. Termodinamik bir sistem her zaman olası enerjiyi maksimize etmek ister. Moleküller aralarında rasgele çarpışmakta, dolayısı ile enerji rasgele dağılmaktadır. Bu dağılım içerisinde her molekül keyfi ve sürekli değişmektedir; ancak sistemin en çok enerjiye ulaşması durumunda dağılım bir daha değişmemektedir (Ragab, 2013).

Entropi konusu ile ilgilenen ilk iktisatçı, 1974 yılında Nicholas Georgescu - Roegen olmuştur. Daha sonra 1994 yılında D. K. Foley ve J. Mimkes tarafından da kullanılmıştır. Ludwig Boltzman, ünlü denkleminde entropiyi  $S=k.logW$  olarak tanımlamaktadır. Burada  $S$ , entropiyi;  $k$ , Boltzman sabitini;  $W$  ise bir sistemin girebileceği mikroskobik durumların sayısını göstermektedir. Stokastik sistemlerde üretim fonksiyonu entropi denklemi ile tanımlanabilmektedir. Bu durumda, üretim fonksiyonu  $S(N_k)=lnP(N_k)$  şeklindedir. Entropi, üretim ve ticarete büyük öneme sahiptir, üretim ve ticaret süresince malların ve paranın dağılımındaki değişimleri karakterize etmektedir. Malların satışı (dağılımı) entropide bir artışa eşittir. Malların satışı sonucunda dengeye ulaşılmakta ve her birim aynı sayıda mala sahip olduğu durumda entropi en yüksek olmaktadır.

Üretimde ise entropi azalmaktadır. Buna göre; entropinin artışı ( $\Delta S=S_2-S_1>0$ ), mal ve para gibi dağıtım unsurlarına uymakta ve düzensizlik yaratmakta iken; entropi azalışı ( $\Delta S=S_2-S_1<0$ ), mal ve para unsurlarını toplamaya uy-

makta ve düzen yaratmaktadır (Mimkes, 2006). Burada Shannon'ın Entropisi üzerine de değinmek gerekir. Shannon (1948) bilginin negatif entropiye eşit olduğunu ileri sürmüştür:  $\Delta I = -\Delta S$ . Buna göre; bir sistem için bilgideki bir artış, entropinin azalışına neden olmaktadır. İktisadi bir işlemde para, hem alıcı hem de satıcıya belirli bir miktarda negatif entropi hakkındaki güvenilir bilgiyi temsil etmektedir (Boyle, 2016).

Roegen'e (1976) göre entropi yasası, doğadaki diğer yasalar içinde en fazla iktisadi olandır. İktisadi süreç, diğer herhangi bir yaşam süreci gibi geri döndürülemezdir. Bunun sonucu sadece mekanik terimlerle açıklanamamaktadır. İktisatçılar termodinamikteki entropi yasası gibi, değer yaratan girdiler (düşük entropi) ve değeri olmayan çıktılar (yüksek entropi) arasındaki nitel ayrımın farkındadırlar. Bu termodinamikteki serbest ve bağlı enerji arasındaki farka benzemektedir. Serbest enerji, enerjinin farklı bir seviyede görünmesidir. Bir ısıtıcının iç ve dışı arasındaki sıcaklık farkı bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Serbest enerji, düzenli (ordered) bir yapıyı göstermektedir. Bağlı enerji düzensizlik içinde dağılmaktadır. Bu nedenle entropi, düzensizliğin bir ölçümü olarak tanımlanmaktadır.

Termodinamiğin bir disiplin olarak gelişmesinde, 1824 yılında Fransız Mühendis Sadi Carnot'un ısı makinelerinin ekonomisi konusundaki çalışması önemli bir etkidir (Roegen, 1976). Carnot Teoremi'ne göre, iki ısı kaynağı arasında tersinir olarak çalışan bir makineden daha verimli bir makine bulunmamaktadır. Diğer bir ifade ideal termodinamik bir döngünün etkinliği mutlak termodinamik sıcaklık ölçeğinde ölçülen ısı kaynağı ve soğutucunun derecesine bağlıdır. Tersinir süreçlerin şartları ısı transferi ve iş süreçlerinin termodinamik olarak mükemmel olduğu anlamına gelmektedir (DiPippo, 2007). Mimkes çalışmasında, Carnot sürecini tüm ekonomik süreçlerin temeli olarak tanımlamakta ve örnek olarak otomobil üretimini ve elma çiftliğindeki üretimi göstermektedir.

Jaynes (1991)'e göre, iktisadi sistem kimi açılardan mekanik bir sisteme benzemektedir; ancak daha gerçekçi olanı, iktisadi sistemin termodinamik bir sisteme olan benzerliğidir. Bu benzerlik ışığında Keynesyen ve Monetarist mekanik yaklaşımın hatasının, entropiyi göz ardı etmeleri olduğunu belirtmektedir. Ona göre, fizikte makro bir durumun termodinamik entropisi (basınç, hacim, enerji vb. ile tanımlanmakta), aslında onunla uyumlu olan mikro durumların (kuantum durumu) logaritmasıdır. Aynı şekilde de iktisadi entropi  $S$ ,  $S(X,Y,Z,...) = \log W(X,Y,Z,...)$  fonksiyonu ile tanımlanabilmektedir.  $(X,Y,Z,...)$  makro iktisadi değişkenleri gösterirken,  $W$  makro iktisadi durumun çarpan faktörünü (gerçekleşebileceği farklı mikro iktisadi yolların sayısı) ifade etmektedir.

Yegorov (2007) ise, enerjiyi dışsallıklar açısından değerlendirmektedir. Ona göre; fizikte durağan yapıların ortaya çıkışı, etkileşim potansiyeli sayesinde meydana gelmektedir. Genellikle, bir sistemin enerjisi aynı parçaların enerjileri toplamına eşit değildir ve  $E(\text{system}) = \sum_i E + E(\text{etkileşim})$  şeklinde

formüleştirmektedir. Fark, etkileşimi ifade etmektedir. Bunun iktisat literatüründeki ismi ise dışsallıklardır. İktisadi modellerin çoğunluğu doğrusaldır; örneğin, etkileşim potansiyeli yok sayılmaktadır. Fakat dışsallıkların ekonomide önemli bir rol oynadığı açık şekilde görülmektedir (Yegorov, 2007).

### 2.4.3 Kaos Uygulamaları

Kaos kuramı, tamamen rasgele olarak ortaya çıkan karmaşık hareketleri oluşturan denklem sistemleri ile ilgilenmektedir (Kelsey, 1988). Ekonomi içerisinde birçok paradoks bulunmaktadır. Mikro iktisattaki tüm değişkenler, maksimizasyon yapan ajanların rasyonel davranışları ile üretilmektedir. Bunun sonucu, mikro iktisadi değişkenlerin tamamen deterministik oldukları söylenebilir. Ancak makro iktisadi değişkenlerin sıklıkla değişken oldukları görülmektedir. Aynı değişkenlerin, aynı anda hem rasgele hem de determinist olabilmesi bir paradoks oluşturur. Bu paradoks iktisadi sistem kaotik ise açıklanabilmektedir (Kelsey, 1988). Kaos kuramında düzen düzensizliği yaratmakta, düzensizliğin içerisinde ise bir düzen bulunmaktadır. Kaos görüşünün getirdiği en önemli değişikliklerden biri kestirilemez determinizmdir. Buna göre, yapılacak en ufak bir hata bile, kestirilmesi çok zor büyük yanlışlara sebep olabilmektedir. Bu görüş için ortaya konulan en önemli örnek ise “Kelebek Etkisi”dir<sup>10</sup> (Eren, 2009). Karar verme stratejisi ve belirsizlik analizi de Kaos kuramı düşüncesine neden olmaktadır. Kaos kuramı geleceğin belirsizliği karşısında, gelecekle ilgili farkındalık yaratmaktadır (Hayward, Preston, 1999).

İktisatçıların kaos kuramına olan ilgilerinin son yıllarda daha fazla artmasına karşın, bunu daha eskilere dayandırmak mümkündür. William J. Baumol ve Jess Benhabib gibi iktisatçılar, karmaşık sistemlere olan ilginin kökeninin 1930’lu yıllardaki iş çevrimleri analizleri olduğuna işaret etmektedirler. Buna örnek olarak, Ragner Frisch’in 1933 yılındaki “Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics” isimli yazısını, Erik Lundberg’in 1937 yılındaki “Studies in the Theory of Economic Expansion” isimli kitabını

<sup>10</sup> Kelebek etkisi: Kaos Kuramının gelişiminde önemli bir kavramdır. Karmaşık bir sistemi, global hava sistemine benzetmektedir. Buna göre; bir kelebeğin Beijing’de kanat çırpması, dünyanın diğer bir ucu olan Oklahoma’da kasırgaya neden olabilmektedir. Örneğin portföy optimizasyonunda varlık ve portföy dağılımında görülebilir. Girdideki küçük bir değişiklik, dağıtımda büyük değişikliklere yol açabilmektedir. Nawrocki (2000, s. 1).

ve Paul A. Samuelson'un 1939 yılındaki "Interactions Between the Multiplier Analysis and the Principles of Acceleration" isimli modelini göstermektedirler. 1950'li yıllarda sırası ile John Hicks ve R. M. Goodwin, çarpan hızlandırıcı çalışmalarında doğrusal olmayan bir unsur tanıtmışlardır. Ancak William J. Baumol ve Jess Benhabib, bu çalışmanın kaotik bir davranışı genelleştirmek için yeterli olmadığını savunmaktadırlar (Hsieh ve Ye, 1991).

1980'li yıllardan itibaren kaos kuramı ile ilgilenen iktisatçıların sayısında artış yaşanmış ve çeşitli iktisadi modellerde kaos kuramının ortaya çıkışı ile ilgili bir çok görüş ileri sürülmüştür. Bu modellerden bir tanesi "Ardışık Nesiller Modeli"dir. Bu model altında ortaya çıkabilecek kaos durumu 1982 yılında J. Benhabib ve R. H. Day, 1985 yılında ise J. M. Grandmont tarafından araştırılmıştır. D. Kelsey de 1988 yılındaki çalışmasında, Ardışık Nesiller Modelinin hem çevrimsel hem de kaotik davranış üretme eğiliminde olduğunu belirtmektedir. Kelsey'e göre; doğrusal olmayan dinamikler, makro iktisadi verilerde gördüğümüz düzensiz çevrimlerin olası nedenidir. 1983 yılında R. H. Day, klasik iktisadi büyümeyi kaos kuramı açısından değerlendirmiştir. Bu, çıktı seviyesinin nüfus artış oranını belirlediği Malthus modelidir. Çıktı ise emek gücünün büyüklüğüne bağlıdır. Bu iki etken arasındaki etkileşim, çevrim ve kaos yaratabilmektedir. J. Benhabib ve R. H. Day, 1981 yılında tüketici tercihlerini de, kaos kuramı çerçevesinde incelemiştir. Buna göre; gerçek tüketim, gelecek dönemlerin beğenilerini etkilemekte ve bireylerin servet artışı, karmaşık dinamik bir durumun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Yani fakir tüketicilerin tercihleri sabitken, zengin tüketicilerin tercihleri periyodik ve kaotik olabilmektedir. 1984 yılında L. Montrucchio, 1985 yılında M. Boldrin ve L. Montrucchio büyüme patikasında meydana gelen durumların da kaotik olabileceğini belirtmişlerdir (Kelsey, 1988).

Kaos kuramının bir uzantısı da, Benoit Mandelbrot tarafından ortaya atılan fraktal geometridir. Bu alan, yüzyıllardır matematik biliminin temelini oluşturan Öklit geometrisini derinden sarsmıştır. Mandelbrot'a göre, gerçekte hiçbir bulut tam bir küre şeklinde değilken, hiçbir dağın şekli de tam olarak üçgen değildir. Doğasal bu tür örnekleri arttırmak mümkündür. Bu açıdan Mandelbrot, Öklit ve taraftarlarının dünyanın şeklini açıklayamadıklarını belirtmektedir (Mandelbrot, 1987). "Fraktal" kelimesi, Latince kırık anlamına gelmektedir. Fraktallık, geometrik şekillerin farklı ölçeklerde yinelenerek, kendilerinin gitgide daha küçük versiyonlarını ortaya koyması demektir (Taleb, 2008). Fraktal geometrinin yaratıcılığı, görüntü ile formülasyonu birleştirebilmesinde yatmaktadır. Bilgisayarların gelişmesi ile birlikte, fraktal geometrinin bu özelliği daha da artmıştır. Bu çerçevede fraktal geometri, bir tür kendini tekrarlayan şablonları bulup, onları analiz etmeye, niceliğini çıkarmaya ve işlem yapmaya dayanmaktadır. Bu nedenle hem analiz hem de sentez etmeye yara-

maktadır. Refahın, toplumda eşit olmayan şekilde dağılması; endüstride, büyük şirketlerin egemenliği gibi benzeri durumlar fraktal yapıların sosyal bilimlerdeki örnekleridir. Fraktal geometride, ilk başlarda düşünüldüğünden daha fazla düzen içeren bu fraktal yapıların analizleri yapılabilmektedir. Çok sayıda fraktal çeşidi bulunmaktadır; ancak hepsinin bazı ortak özellikleri vardır. Hepsinde, artan veya azalan yönde belirli bir ölçek değişimi altında; parça, bütünü kesin ve ölçülebilir bir formül aracılığı ile taklit etmektedir. En basit fraktallar, her yönde aynı şekilde ölçeklendiğinden dolayı kendine - benzer olarak isimlendirilmektedir. Eğer fraktal farklı noktalarda farklı ölçeğe sahip ise, multifraktaldır (Mandelbrot ve Hudson, 2005).

## 5. Sonuç

*“I think the next century will be the century of complexity.*

*”(Bence gelecek yüzyıl karmaşıklık yüzyılı olacaktır) Stephen Hawking, 2000*

İktisat-fizik ilişkisinin iktisadın tarihi ile başladığını söylemek yanlış olmaz. Fizik biliminde başlangıçtaki statik dünya görüşü yirminci yüzyıl ile birlikte yerini daha çok karmaşık dünya analizi üzerine oluşturulan dinamik teorilere bırakmıştır. İktisat-fizik ilişkisinin temeli Newton fiziği ve dengedir. Bu süreçte iktisat – fizik (denge) ilişkisi kadar iktisat – biyoloji (evrim) ilişkisi vardır. Başlarda rakip olarak görülen söz konusu iki etkileşim karmaşıklık fiziği ve iktisadi anlamdaki gelişmeler ile birlikte rakip olmaktan çıkmıştır. Bu noktada 1988 yılında yayınlanan “Karmaşık Sistem Olarak Evrilen Ekonomi” isimli kitap ile evrimin biyolojiden daha çok fiziğe doğru kaydığını söylemek mümkündür.

Klasik fiziğin yerinin evrimci fiziğe doğru kaymasında bilgisayar teknolojisinin ilerlemesinin de etkisi büyüktür. Kendi kendine organize olma, kaos ve karmaşıklık sürecin en önemli kavramları olarak ele alınabilir. Aslında klasik fizik anlayışının geçerli olduğu Adam Smith’in görünmez el anlayışı, bugün denge kavramından çok “kendi kendine organize olma” anlamında evrim kavramı içerisinde düşünülebilir.

Özetle, başlarda iktisat ve fizik bilimlerinin etkileşim içinde olmalarına rağmen ayrı olarak değerlendirilmelerine karşın, zaman içerisinde ekonofizik çatısı altında tek bir disiplin haline geldiği görülmektedir. Ana akım iktisatçıları tarafından hala soru işaretleri ile bakılsa da, karmaşık yapılardan oluşan ekonomik sistemi açıklamada ekonofizik ve karmaşıklık biliminin çok daha başarılı olduğu ve bu yöndeki çalışmaların gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Hawking’in de belirttiği üzere gelecek ve hiç kuşkusuz içerisinde bulunduğumuz yüzyılın karmaşıklık yüzyılı olduğu/olacağı ve bu temel üzerine oturtulan iktisat teorilerinin daha güçleneceğini işaret etmek gerekir.

**Kaynakça**

- Alfi, Valentina, (2007), "Spectroscopy of Fat Tails, Complex Correlations in Financial Time Series," *PhD Thesis*, University of Rome.
- Alvey, James E., (1999), "Mechanical Analogies in Adam Smith," *Massey University Discussion Paper No. 99.12*, 4.  
<http://commerce.massey.ac.nz/publications/discuss/dp99-12.pdf>, [29.01.2011].
- Anderson, Philip. W., (1991), "Is Complexity Physics? Is It Science? What Is It?" *Physics Today*, Cilt 44, Sayı 7, ss. 9-11.
- Aoyama, H., Yoshikawa, H., Iyetomi, H. ve Fujiwara, Y., (2008), "Productivity Dispersion: Fact, Theory and Implications," *arXiv:0805.2792, RI- ETI discussion paper 08-E-035*.
- Artemi, Carlo, (2006), "The Last Paper by Ettore Majorana: An Analysis," *The Global and The Local: The History of Science and The Cultural Integration of Europe, Proceeding of the 2<sup>nd</sup> ICESHS*, içinde, Derleyen M. Kokowski, ss. 914-915. [http://www.2iceshs.cyfronet.pl/2ICESHS/Proceedingd/Chapter\\_29/R\\_Varia\\_IIArtemi.pdf](http://www.2iceshs.cyfronet.pl/2ICESHS/Proceedingd/Chapter_29/R_Varia_IIArtemi.pdf) [19.05.2009].
- Ball, Philip, (2002), "The Physical Modeling of Society: A Historical Perspective," *Physica A*, Cilt 314, Sayı 1-4, ss. 1-14.
- Beinhocker, E. D., (2011), "Evolution as Computation: Integrating self-organization with generalized Darwinism," *Journal of Institutional Economics*, 7(03), ss. 393-423. DOI: 10.1017/S1744137411000257.
- Birner, Jack, (2002), "A Conservative Approach to Progress in Economics," *Is There Progress in Economics? Knowledge Truth and The History of Economic Thought*, S. Boehm, C. Gehrke, H.D. Kurz, R. Sturn (Eds.), Edward Elgar Publishing, Upp., ss. 65-88.
- Boyle, William A., (2016), "The Laws of Thermodynamics and Information and Economics," *Prince George's Community College*, <http://academic.pgcc.edu/~wboyle/TMDInfoEcon.pdf> (07.05.2016)
- Buldyrev, Sergey V. vd., (1997), "Scaling Behavior in Economics: II. Modeling of Company Growth," *Journal of Physics I*, France, Cilt 7, No 4, ss. 635-650.
- Burda, Z., J. Jurkiewicz, M.A. Nowak, (2003), "Is Econophysics a Solid Science?," [http://arxiv.org/PS\\_cache/cond-mat/pdf/0301/0301096v1.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/0301/0301096v1.pdf) [10.03.2009].

- Cimbliris, Borissas, (1998), "Economy and Thermodynamics," *Economia & Energia*, No:9, Federal University of Minas Gerais, <http://www.ecen.com/eee9/ecoterme.htm> [05.04.2010].
- Colp, Ralph, (1974), "The Contacts Between Karl Marx and Charles Darwin," *Journal of the History of Ideas*, 35 (2), ss. 329-338.
- Çakır, Necip, (1998), Physics and Economics, Capital Markets Board of Turkey, Publication No: 114.
- Daly, Herman, (1971), "Towards A New Economics: Questioning Growth," <http://www.worldpolicy.org/globalrights/environment/daly3.html>, [21.07.2011].
- Daniel, Gilles ve Didier Sornette, (2008), "Econophysics: Historical Perspectives" Encyclopedia of Quantitative Finance," *Section: History of Quantitative Modeling Finance*, içinde, Derleyen R. Comt, Wiley – 2010. <https://arxiv.org/pdf/0802.1416v1.pdf> [17.06.2016].
- DiPippo, Ronald, (2007), "Ideal Thermal Efficiency for Geothermal Binary Plants," *Geothermics* 36,ss. 276–285.
- Eren, Ercan, (2009), "Yeni İktisatta Ortak Noktalar," <http://www.ikt.yildiz.edu.tr/RePEc/yil/makaleler/eren0013.pdf> [10.05.2010].
- Fama, Eugene F., (1963), "Mandelbrot and the Stable Paretian Hypothesis," *The Journal of Business*, Cilt 36, No 4, ss. 420-429.
- Farmer, Doyne ve Thomas Lux, (2008), "Introduction to Special Issue on 'Applications of Statistical Physics in Economics and Finance,'" *Journal of Economic Dynamics & Control*, 32, ss. 1-6.
- Fisher, Irving, (1933), "Statistics in the Service of Economics," *Journal of the American Statistical Association* 28.181, ss. 1-13.
- Fontana, Magda, (2010), "Can Neoclassical Economics Handle Complexity? The Fallacy of the Oil Spot Dynamic," *Journal of Economic Behavior & Organization*, 76 (3), ss. 584-596.
- Gallegati, Mauro vd., (2006), "Worrying Trends in Econophysics," *Physica A*, Cilt 370, Sayı 1, ss. 1-6.
- Hawking, Stephen, (2000), "What is Complexity," <http://www.complexsys.org/downloads/whatiscomplexity.pdf> [01.06.2016]
- Hayward, Tim ve Judith Preston, (1999), "Chaos Theory, Economics and Information: the Implications for Strategic Decision Making," *Journal of Information Science*, 25, ss. 173-182.



- Hodgson, Geoffrey M., (1993), "The Mecca of Alfred Marshall," *Economic Journal*, 103 (417), ss. 406-415.
- Hollingsworth, Rogers ve Karl. H. Müller, (2008) "Transforming Socio-Economics with a New Epistemology," *Socio-Economic Review*, 6(3), ss. 395-426.
- Hsieh, Ching-Yao ve Meng-Hua Ye, (1991), *Economics, Philosophy and Physics*, M.E.Sharpe Inc, New York.
- Ikeda, Y., Y. Fujiwara, H. Aoyama, H. Iyetomi, ve W. Souma, (2009), "Superstatistics of Labour Productivity in Manufacturing and Nonmanufacturing Sectors," *Economics The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, Vol. 3, Iss. 2009-22, 1-17,  
<http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2009-22> (10.10.2014)
- Jaynes, E. T., (1991), "How Should We Use Entropy in Economics," <http://bayes.wustl.edu/etj/articles/entropy.in.economics.pdf> [27.01.2010].
- Kelsey, David, (1988), "The Economics of Chaos or the Chaos of Economics," *Oxford Economic Papers*, (40), ss. 1-31.
- Kırer, Hale, (2016), "Ekonofizik," *Karmaşıklık İktisadi* içinde, Derleyen E. Eren ve S. Şahin, Yayım aşamasında.
- Kim, Yersu, (1998), "Transdisciplinarity: Stimulating Synergies, Integrating Knowledge," *UNESCO, III, IV*.  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001146/114694eo.pdf>, [15.01.2010].
- Kitt, Robert, (2005), "Generalised Scale – Invariance in Financial Time Series," *PhD Thesis, Institute of Cybernetics at TUT*, Estonya.
- Lisa, Nicola De ve Giovanni Filatrella, (2002), "Econophysics: The Emergence of a New Field?," *Economia Politica*, (2), ss. 297-332.
- Lloyd, Seth, (1996), "A Quantum-Mechanical Maxwell's Demon," *arXiv:quant-ph/9612034v1*
- Mandelbrot, Benoit, (1987), "Towards A Second Stage of Indeterminism in Science," *Interdisciplinary Science Reviews*, (12), ss. 117-127.
- Mandelbrot., Benoit B. ve Richard L. Hudson, (2005), *Finans Piyasalarında Saklı Düzen*, Çev:Metin Hüner, İstanbul: Güncel Yayıncılık.
- Mantegna, Rosario N. ve H. Eugene Stanley, (2000), *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. USA: Cambridge University Press.

- Marshall, Alfred, (1890), *Principles of Economics*. London: Macmillan and Co. 8th ed. 1920
- Marshall, Alfred ve Mary Paley Marshall, (1879), *The Economics of Industry*, Macmillan.
- Mikailov, Faik ve Sait Eren San, (2008), *Termodinamik ve İstatistiksel Fizik*. İstanbul: Papatya, 1. Basım.
- Mimkes, Juergen, (2006), "A Thermodynamic Formulation of Economics," *Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives*, içinde Derleyen B. K. Chakrabarti, A. Chakrabarti ve A. Chatterjee, Almanya: Wiley-VCH: 1-33.
- Mirowski, Philip, (1984,) "Physics and the Marginalist Revolution," *Cambridge Journal of Economics*, 8, ss. 361-379.
- Mirowski, Philip, (1989) *More Heat Than Light, Economics As Social Physics: Physics as Nature's Economics*. Cambridge University Press, USA.
- Nawrocki, David N., (2000), "Portfolio Optimization, Heuristics, and the Butterfly Effect," *Journal of Financial Planning*, Denver, 1, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.22.6051&rep=rep1&type=pdf> [17.06.2016]
- Nelson, Richard R. ve Sidney G. Winter, (1982), *Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press of Harvard University Press.
- Nesin, Ali, (2004), "Öklid Geometrisinin Belitleri," *Matematik Dünyası*, ss. 70-78.
- Norton, John, (2011), [http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS\\_0410/chapters/non\\_Euclid\\_construction/index.html](http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/non_Euclid_construction/index.html) [05.01.2011]
- Overduin, James, (2007), [http://einstein.stanford.edu/SPACETIME/spacetime2.html#curved\\_spacetime](http://einstein.stanford.edu/SPACETIME/spacetime2.html#curved_spacetime) [05.01.2011]
- Özmutlu, Emin, (2007), "En Az Eylem İlkesi," *Kaygı Felsefe Dergisi*, 8, ss. 173-179. <http://www20.uludag.edu.tr/~kaygi/dergi/articles/8-173-179.pdf>, [14.01.2010]
- Ragab, Amr, (2013), "Three Essays on the Incomes of the Vast Majority," *The New School for Social Research, Ph. D. Thesis*.
- Reimann, Stefan, (2008), "Eco - No(?) - Physics: Comments and Reflexions," arXiv: Physics, 1,ss. 1-9. [http://arxiv.org/PS\\_cache/physics/pdf/0607/0607033vq.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/physics/pdf/0607/0607033vq.pdf) [13.01.2010].

- Roegen, Nicholas Georgescu., (1976), *Energy and Economic Myths*. Pergamon Press.
- Roegen, Nicholas Georgescu, (2009), "Methods in Economic Science," *Ecological Economics* içinde, Derleyen Clive L. Spash, Routledge, ABD.
- Roehner, Bertrand M., (2002), *Patterns of Speculation: A Study in Observational Econophysics*. USA: Cambridge University Press.
- Savoiu, Gheorghe ve Ion Iorga-Siman, (2008), "Some Relevant Econophysics' Moments of History, Definitions, Methods, Models and New Trends," *Romanian Economic and Business Review*, Cilt 03, No: 03, ss. 29-41, <http://www.rebe.rau.ro/RePec/rau/Journal/FA08/REBE-FA08-A3.pdf> [10.05.2009]
- Schmidt, Anatoly B., (2005), "What Physicists Should Know About Finance," *Noise and Fluctuations in Econophysics and Finance* içinde Derleyen D. Abbott, P. Bouchard, X. Gabaixi ve J. L. McCauley, USA, SPIE.
- Schulz, Michael, (2003) *Statistical Physics and Economics: Concepts, Tools and Applications*. USA, Springer.
- Sebba, Gregor, (1953), "The Development of the Concept of Mechanism and Model in Physical Science and Economic Thought," *The American Economic Review*, Cilt 43, No 2, ss. 259-268.
- Shaikh,A., Papanikolaou, N. ve N. Wiener, (2014), "Race, Gender and The Econophysics of Income Distribution," *Physica A*, 415, ss. 54-60.
- Shannon, Claude E., (1948), "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, vol. 27, ss. 379-423 ve 623-656, July and October.
- Shubik, Martin ve Eric Smith, (2006), "Building Theories of Economic Process," *Santa Fe Institute Working Papers*, 2006,10-038, <http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/06-10-038.pdf>, [13.01.2010].
- Skousen, Mark,(2005), *Modern İktisadın İnşası*. Adres Yayınları.
- Spencer, Thomas, (2007), "A Random Walk Through Statistical Mechanics," <http://pcmi.ias.edu/2007/RWT> [15.03.2009].
- Stanley, H. Eugene, (1999) "Econophysics: Can Physicists Contribute to The Science of Economics," *Feature Essay, Computing in Science & Engineering* 1, 74 <http://polymer.bu.edu/hes/articles/s99c.pdf> [13.01.2010].

- Stanley, Michael H. R., Luís A. N. Amaral, Sergey V. Buldyrev, Shlomo Havlin, Heiko Leschhorn, Phillipp Maass. Michael A. Salinger. H. Eugene Stanley, (1996), "Can Statistical Physics Contribute to The Science of Economics?," *Fractals*, 4 (3), ss. 415-425.  
<http://polymer.bu.edu/hes/articles/sabhlms96a.pdf>
- Stanley, H. Eugene, Parameswaran Gopikrishnan, Vasiliki Plerou, (2004), "Statistical Physics and Economic Fluctuations," *The Complex Dynamics of Economic Interaction*, içinde Derleyen Mauro Gallegati, Alan P. Kirman, Matte Marsili, Germany, Springer, 109-141.
- Stanley, H. Eugene, Amaral, X. Gabaix, P. Gopikrishnan, and V. Plerou, (2001), "Introduction to Econophysics: The What and Why of "Financial Flows," *Proceedings of 1st International Symposium on Advanced Fluid Information, 4-5 Sep. 2001*, Japan, Institute of Fluid Science, Sendai, ss. 788-797.  
<http://polymer.bu.edu/hes/articles/saggpOlc.pdf> [13.01.2010].
- Taleb, Nassim Nicholas, (2008), *Siyah Kuğu*. Çev: Nazan Arıbaşı, Varlık Yayınları, İstanbul.
- Taşkan, Mehmet., "Termodinamik," <http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/ycenger/webekaynak/termodinamik.pdf>, [03.02.2011]  
[www.turkcebilgicom/belirsizlik/ansiklopedi](http://www.turkcebilgicom/belirsizlik/ansiklopedi), [10.02.2011].
- Valentinov, Vladislav, (2015), "From Equilibrium to Autopoiesis: A Luhmannian Reading of Veblenian Evolutionary Economics," *Economic Systems* 39, ss. 143-155.
- Yakovenko, Victor M., (2008), "Econophysics, Statistical Mechanics Approach to," [http://arxiv.org/PS\\_cache/arxiv/pdf/0709/0709.3662v4.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0709/0709.3662v4.pdf) [04.11.2008].
- Yalçınkaya, Timuçin, (2006), "Bir İkilemin Belirsizliğindeki Bilim: Bilim İnsan İçin Özne midir, Nesne midir?" *Sosyoekonomi*, 2006-1, 060107, 1, <http://www.sosyoekonomi-hacettepe.edu.tr/060107.pdf> [12.01.2010].
- Yegorov, Yuri, (2007), "Econophysics: A Perspective of Matching Two Sciences," *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 4 (1), ss. 143-170.