

İktisadi Modellemede Gelişmeler: Evrim Modellenebilir mi?*

Ercan Eren**

Özet

İktisatta modelleme, iktisadın bilimselliğinin göstergesi olarak algılanmaktadır. İktisatta genel olarak modelleme yöntemleri matematiksel ve ekonometrik modellerdir. Bu modellere yöneltilen temel eleştiri, iktisadın öznesinin insan olduğu gerçeği, öznellik ve belirsizlik sorununun göz ardı edilmesidir. Bir diğer sorun tarihsel, kurumsal faktörlerden bağımsız olması ve evrimi dikkate almamasıdır. Makalede, belirtilen sorunlara kısmen yanıt verdiği düşünülen evrimsel kompüsyonel yöntemler ve özellikle ajan bazlı modelleme incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İktisat Metodolojisi, Kompütasyon, İktisadi Modelleme, Evrimsel İktisat
JEL Sınıflandırması: B25, B41, B52, C63

Developments in Economic Modeling: Can Evolution Be Modeled?

Abstract

The modeling in economics is considered to be an indication of its scientificity. The main modeling methodologies in economics are mathematical and econometric modeling. The main criticism towards these kinds of models are that these models ignore the fact that the subject of economics is humans and that it ignores subjectivity and uncertainty problems. Another problem is that these models do not take into consideration the institutional factors and evolution. In this article evolutionary computational methods and, in particular, agent-based modelling methods, which are regarded as partly solving these problems, are examined.

Keywords: Economic Methodology, Computation, Economic Modeling, Evolutionary Economics

JEL Classification: B25, B41, B52, C63

* Serçin Şahin ve Seçkin Sunal'a katkı ve eleştirileri için teşekkür ederim.

** Prof. Dr., İktisat Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, e-posta: eren@yildiz.edu.tr.

1. Giriş

Evrimi, değişimi, adaptasyonu, süreksizliği, kendiliğinden organize olmayı, öznelciliği, belirsizliği içeren gerçek zamanlı modelleme mümkün müdür? Bu soruya verilecek olumu yanıt, A. Smith'ten bu yana başta Menger, Marshall, Veblen ve Keynes olmak üzere birçok iktisatçının düşlediklerinin ötesindeki bir gelişme olacaktır.

Yakın zamana kadar iktisatta deney yapmanın mümkün olmadığı, gerçek zamanlı modelleme olamayacağı konusunda neredeyse fikir birliği söz konusuydu. Bugün ise deneysel iktisat, davranışsal iktisat, nöro-iktisat, ajan bazlı kompüsyonel iktisat (ACE) vb. alanlardaki gelişmeler gerçek zamanlı iktisat yapmaya imkân tanımaktadır.

Bu çalışmada özellikle ACE çerçevesindeki modelleme yöntemlerindeki gelişmeler incelenecektir.

2. Klasik Modelleme Yaklaşımı

İktisatta gelişmeleri değerlendirmek için genellikle neoklasik iktisat ile kıyaslama yapılmaktadır. Bunun nedeni neoklasik iktisat, Ortodoks iktisat ve ana akım iktisat kavramlarının neredeyse eş anlamlı kullanılmasıdır ancak, aslında bunun doğru bir yaklaşım olmadığı söylenebilir. Hem tarihsel hem de güncel anlamda ana akım iktisadın kendi içinde farklı görüşler vardır. Günümüzde ise ana akım iktisadı tarif etmek daha da güçleşmiştir. 1980 sonrasında iktisat dışı alanlardaki gelişmeler iktisadı yoğun olarak etkilemiştir. Gerçekte bu etki heterodoks iktisat okulları için de geçerlidir.

Yine de kıyaslama yapmak gerektiğinde 1980 öncesi ders kitaplarındaki neoklasik iktisadı baz olarak almak mümkündür. Bu iktisatta süper rasyonel iktisadi ajanlar, veri zevk ve tercihler altında, fayda ve kârlarını maksimize edecek şekilde hareket etmektedirler. Birey ve firmalar arasında

fark yoktur; homojendirler (temsili ajan). İktisadi ajanlar atomizedirler, bağımsız olarak hareket ederler. Tam bilgi geçerlidir.

Geleneksel iktisatta rasyonel seçim yapan temsili ajan, mükemmel (*perfect*) bilgi ve tam (*complete*) enformasyon üzerine modellenir. İktisadi ajanın her seçimi yapmak için zamanı vardır ve tüm olası seçeneklerin farkındadır. Veri, alternatifler arasından kendisi açısından en iyi seçimi yapar. Bireysel tercihler *a priori* veridir. Bu varsayımlar altında, tam enformasyon olduğuna göre, her ajan aynı sonuca ulaşmaktadır (Bruno vd. 2016).

Tarih, kurumlar ve zaman yoktur -veya başka bir deyişle mantıksal zaman geçerlidir. Teknoloji, toplumsal kurumlardan bağımsızdır. Değişim yerine denge temeldir. Dengenin değişmesi ancak dışsal nedenlerle gerçekleşmekte ve kısa sürede kendini düzelten süreç içinde yeni dengeye ulaşılmaktadır. Geleneksel iktisatta denge kavramında adaptasyon, inovasyon, yapısal değişme, tarih yoktur (Bruno vd. 2016).

Neoklasik iktisatta, az değişkenle bütün ekonomiyi açıklama ve lineerlik (basitleştirme) geçerlidir. Kesiklilik, ani değişme, karmaşıklık, adaptasyon, etkileşim, geri bildirim, ani donma gibi durumlar söz konusu değildir. İçsel değişme yoktur; değişme, dışsal değişkenlerle gerçekleşmektedir. Basitleştirme, homojenlik ve lineerliğin sonucu olarak “toplam” ve “bütün” aynıdır. Örneğin; bireysel talep eğrilerinin yatay toplamı derneşik talebi (*aggregate demand*) vermektedir. Derneştirme problemi yoktur.

Klasik ve neoklasik iktisatta fiziğe öykünme asıldır. Özellikle Walras ve onu izleyen matematik, fizik, mühendislik kökenli iktisatçılar yoluyla fizik gibi bilim yapma (sosyal fizik) temel yaklaşımdır.

İktisada yön veren fizik, 19. yüzyıl mekanik fiziktir. Burada deterministik analitik çözüm ve denge yaklaşımı asıldır (Elsner, 2015). Bu fiziğin en belirgin yansıması L. Walras’tır. Walras’ın temel aldığı fizik de mekanik fiziktir. Daha sonra Edgeworth, Fisher ve Pareto ile birlikte enerji teorisi de iktisadın parçası olmaya başlayacaktır (Simpson, 2013).

Her ne kadar klasik ve neoklasik iktisat fizik temelli ise de, bazı temel farklar vardır. Her şeyden önce klasik gelenekte büyüme, neoklasik iktisatta ise kaynak dağılımı ve nispi fiyatlar temel kalkış noktasıdır. Büyüme temelli olduğu için klasik iktisatta sürekli değişim söz konudur.

Önemli bir nokta, klasik iktisadın kurucuları olan D. Hume ve Smith’in denge kavramını hiç kullanmamış olmasıdır. Denge kavramı, bugünkü anlamına yakın olarak ilk kez, son dönem merkantilist düşünürlerden Sir James Steuart (1712-1780) tarafından kullanılmış, onu Cournot (1838) ve Mill (1848) takip etmiştir (Simpson, 2013).

Walras temelinde geliştirilen soyut-matematiksel iktisat; yine matematik, fizik, mühendislik kökenli P. Samuelson’un katkılarıyla iktisadın bizatihi “kendisi” olmuştur. 1950’li yıllardaki genel dengenin varlığını ispata yönelik çalışmalar matematiksel iktisadı tepe noktasına çıkarmıştır.

İktisadın matematikleşmesi ve formel hale gelmesiyle ilgili birkaç noktaya dikkat

çekmek gerekmektedir. Bu konuda özellikle 1930 ve 1945 sonrasındaki ABD'deki gelişmelerin özel bir önemi vardır.

1930 öncesinde iktisat, özellikle neoklasik iktisat-matematik ilişkisinden söz etmek mümkün olmakla birlikte, bu dönemde hem paradigmatik hem de yönlemsel çoğulculuktan söz etmek daha doğrudur. Matematiğin yaygın kullanımını savunanlar değer yansız, evrensel bilim yapma iddiasında idiler.

1930 öncesinde Almanya'da tarihçi okul, ABD'de kurumsalcı iktisat ana akım iktisadın parçasıdır. Bir diğer ifadeyle neoklasik iktisadın monizminden söz etmek mümkün değildir. Aynı şekilde neoklasik iktisatta başta Marshall olmak üzere birçok iktisatçı, iktisatta yoğun matematiğin kullanılmasına kuşkuyla bakmaktadır. Onun ötesinde Böhm-Bawerk, J. B. Clark, J. Viner ve F. Knight gibi birçok neoklasik iktisatçı daha özel bir iktisat taraftarıdır.

1930-1945 arasında üç gelişmeden söz etmek mümkündür: a) 1929 krizi, b) ABD'ye zorunlu göç ve c) İkinci Dünya Savaşı. 1929 krizi Keynes ve Hayek gibi farklı görünen iktisatçıların nicel tekniklerin kullanımını konusundaki kuşkularını artırmakla birlikte birçok iktisatçıya da tersini düşündürmüştür.

Asıl etki ABD'ye yapılan zorunlu göç sürecinde ortaya çıkmıştır. Avrupa'daki Nazi etkisi sonucu doğrudan ve dolaylı nedenlerle Von Neumann, Wald, K. Menger, O. Lange, Marschak, Haavelmo, Koopmans, Klein, Arrow, Simon, Debreu ve Patinkin başta olmak üzere birçok matematiksel iktisatçı ABD'ye göç etmiştir.

“Yeni” Amerikalı iktisatçılarda kesinlik değil ama ağır basan ortak yönler bulabiliriz. İlk dikkat çeken nokta, çoğunluğun Walrasçı genel denge analizini çalışmalarıdır. Genel denge analizi neoklasik iktisadi temsil eden Marshallcı kısmi denge analize karşı “yeni” iktisat arayışını ifade etmekteydi. Aynı zamanda Walrasçı gelenek, matematiksel iktisadın yükselişini de temsil etmektedir.

Bu iktisatçıların önemli bir kısmı sol-sosyalist düşünceye yakın iktisatçılardır. Hayek 1933 yılında 1930'lardaki durumu şu şekilde ifade etmektedir: “Bugünlerde çok az kişi sosyalist değildir.” (Milonakis, 2017). 1930'lu yıllarda matematiksel iktisat yanında, ekonometrinin de öncüleri olan J. Tinbergen, O. Lange (Marksist), J. Marschak (Menşevik) ve R. Frisch sol düşünceye sahip olduğu bilinen isimlerdendir (Pilkington, 2016)¹. Adı geçen iktisatçıların matematik kullanımınlarında, sosyal mühendislik arayışı da etkili olmuştur.

Son nokta İkinci Dünya Savaşı konjonktürüdür. Savaş yıllarında optimizasyon teknikleri gibi savaşa uygun tekniklerin geliştirilmesi söz konusudur.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra ABD'de sosyal-politik iklim çok değişmiştir; Nazi düşmanlığının yerini Sovyetler Birliği düşmanlığı almıştır. Bu çerçevede McCartyçılık ve soğuk savaş ortamı,

1 Aynı dönemde listeye çok sayıda neoklasik iktisatçıyı da eklemek mümkündür. Bunlardan biri H. Hotelling'dir (1895-1973). K. Arrow'un da hocası olan Hotelling, matematiksel iktisadın çok önemli temsilcilerinden birisi olması yanında güçlü piyasa sosyalizmi savunucularındandır. Bkz. A. C. Darnell, 1990, s.22. Ayrıca bkz. Eren, 2017.

iktisadi düşünceyi ve iktisat yapma ortamını doğrudan ve dolaylı olarak etkilemiştir. İktisatta çoğulculuğun yerini tekçilik (monizm, bircilik) almıştır. Öne çıkan -belki de çıkartılan- iktisat, neoklasik iktisattır. Aynı zamanda iktisatta matematik kullanımı ve dolaysıyla formalizm, iktisat yapma biçimi olmuştur (Blaug, 2003; Milonakis, 2017; Pilkington, 2016; Weintraub, 2002; 2016).

Soyut, matematiksel iktisadın geldiği noktayı Çinli bir düşünürün sözleriyle şöyle ifade edebiliriz: “Su öyle saftı (arı, katıksız) ki, içinde balık yoktu.”² (Kirman, 2012). Matematikte aşırıya kaçma, formalizm, bilimsel hakikat (gerçeklilik) arayışı yerine bilimde güzelliği (*beautiful, art*) öne çıkarmıştır.

Walras-Samuelson çizgisinin iktisat yaklaşımına neoklasik iktisat içinde baştan beri itirazlar vardı. Bunların başında Menger ve Marshall gelmektedir. Menger, sosyal kurumların ortaya çıkmasından, kendiliğinden organize olan evrimsel süreçten söz etmektedir (Simpson, 2013). Marshall ise iktisadın Mekke’sinin biyoloji olduğunu ifade edecektir.

Getirilen eleştirileri genel olarak iki başlık altında toplamak mümkündür: a) yönetsel düalizm, b) yanlış bilim; fizik yerine biyoloji. Yönetsel düalizm daha çok Avusturya Okulu, Mises kaynaklıdır. Bu yaklaşımda öznelcilik, bireysencilik, belirsizlik, etkileşim, ölçülemezlik, vb. konular öne çıkartılmakta ve doğal ile sosyal bilimlerinin yönteminin ayrı olduğu, iktisadın kendine özgü bilim

olduğu görüşü ileri sürülmektedir. Bu değerlendirmelerin bir kısmına özellikle G. L. S. Shackle temelli post-Keynesyen iktisatçılar da katılmaktadırlar. İkinci yaklaşımda ise iktisadın fizik (denge) yerine biyolojiyi (evrim) örnek alması gerektiği, iktisatta denge yerine evrim, adaptasyon, değişimin temel olduğu savunulmaktadır.

Geleneksel iktisadın varsayımlarına ve kurulan modellere, kendi içinde ve dışında birçok eleştiri getirilmiştir. 1980 sonrası eleştiri ve katkılar daha öncekilerden bazı farklar içermektedir; fizik, bilgisayar bilimi, biyoloji ve diğer fen bilimleri, davranış bilimlerindeki gelişmeler ve başka türlü de matematik yapılabileceğinin gösterilmesi, geleneksel ve “eski” heterodoks iktisatları etkilemiştir. Davranışsal iktisat, deneysel iktisat, oyun teorisi, nöro-iktisat ve kompleksite iktisadındaki gelişmeler bütün iktisat okullarını derinden sarsmaktadır.

Özet olarak çok güçlü varsayımlar gerektiren genel denge teorisi, 1980’lere gelindiğinde tıkanmıştır. F. Hahn (1991)³ ve K. Arrow (1995)⁴ gibi genel denge kuramının iktisatçıları dahi, yeni gelişmelerin gerekliliğine ve önemine dikkat çekmişlerdir (Hodgson, 2007). Ana akım iktisat ve çoğulculuk kavramları birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Biyoloji, tarih, kurumlar, sosyoloji ve davranış bilimlerinin önemini vurgulayan, iktisadı disiplinler arası bir alana çeken gelişmeler, tersine emperyalizm sürecinde dışarıdan gelmiştir. İlginç

2 “Water which is too pure has no fish.” (Ts’ai Ken T’an)

3 F. H. Hahn (1991) “The Next Hundred Years,” *Economic Journal*, 10(1), s.47-50.

4 K. J. Arrow (1995) “Viewpoint: The Future”, *Science*, 267, s.1617.

bir biçimde iktisatta “sosyal bilimleşme”⁵ (*social-scienciation*) yaşanmaktadır (Ced-rini ve Fontana, 2017). Deneysel iktisat, davranışsal iktisat, oyun teorisi, evrimsel oyun teorisi, ajan bazlı kompütasyonel iktisat “sosyal bilimleşme” sürecinin yansımasıdır.

3. Evrimsel İktisat Değerlendirmeleri

Evrimsel kavramının içeriği ve evrimden anlaşılanlar birbirinden çok farklıdır. Herkesin ayrı bir evrim yaklaşımı olduğunu söyleyebiliriz. Başlıca evrimci iktisatçılar olarak Menger, Marshall, Veblen, Schumpeter ve Hayek kabul edilmektedir. Marx, Keynes ve özellikle 2008 krizinden sonra öne çıkan isim olan Minsky de bugünkü yorumlarda evrimsel iktisat içinde ele alınmaktadır.

İktisatta evrimsel yaklaşımın A. Smith ile başladığını belirtmek çok hatalı olmaz. Adam Smith’te klasik fizik anlayışı temel olmakla birlikte “görülmez el” anlayışının bugünkü anlamda denge kavramından ziyade “kendiliğinden organizasyon”, “kendiliğinden düzen” anlamında, yani evrim kavramının içinde düşünülebileceğine işaret etmek gerekir.

5 Yakın zamanda örneğin tüketici seçimini yalnızca kısıt altında optimizasyon sorunundan çıkartıp, davranışsal iktisat, nöro-iktisat, sosyolojide birey, psikolojide birey, antropoloji, kültür, kurumsalcı iktisatta tüketici (Veblen, Galbraith), mikro-mezo düzey (din, cemaat, sendika vb.), güven, itimat, sosyal ağ, reklamcılık ve pazarlama (davranışsal pazarlama, nöro-pazarlama gibi) gibi değişik boyutlarıyla ele alan mikro iktisat kitaplarının yaygınlaşmasını bekleyebiliriz.

Klasik fizikteki denge, durağanlık ve determinizm üzerine gelişen iktisatta, özellikle Darwin’le birlikte kafa karışıklığı artmıştır. Darwin’in 1859 yılında yayımlanan “Doğal Seleksiyon Yoluyla Türlerin Kökeni” isimli kitabı, başta Marx ve Veblen olmak üzere birçok kişiyi etkilemiş, Darwinci ve Darwinci olmayan evrim tartışmalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Karl Marx bu kitaba ilk dikkat çeken kişilerden biridir. Arkadaşı Friedrich 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 çatışmalarının analizi için bir temel oluşturduğunu belirtmiştir (Colp, 1974). Ayrıca Marx’ta her ne kadar determinizm kavramının altı çizilse de diyalektik maddecilik, doğası gereği evrimcidir.

Darwin’in doğrudan etkisi ise Thorstein Veblen üzerine olmuştur. Veblen iktisadın evrimsel bir bilim olması gerektiği düşüncesindedir. Ayrıca Veblen (1898) “evrimsel iktisat” kavramını ilk kullanan kişidir. İlke olarak kurumcu ve evrimsel yaklaşımı birlikte ele almıştır. Bugün birçok heterodoks iktisatçı Veblen’i ekonomiyi kompleks, adaptif, dinamik, açık, denge dışı, ergodik olmayan ve patika bağımlı bir sistem anlamında evrimsel modellerle ele alan başlangıç noktası olarak görmektedir (Valentinov, 2015).

C. Menger de ilk evrimci iktisatçılardan biri olarak kabul edilmektedir. Menger’in (1892) “Paranın Orijini Üzerine” isimli çalışmasında evrimsel çizgi hâkimdir. Menger sonrasında, özellikle Böhm-Bawerk ile birlikte, Avusturya Okulunda

evrimsel yaklaşım kaybolmuştur. Schumpeter ve Hayek, Menger çizgisini tekrar gündeme getirmişlerdir. Schumpeter'in "yaratıcı yıkıcılık" görüşü evrimsel iktisadın ve kompleksite iktisadının önemli kavramlarından olan "kendiliğinden organizasyon" bağlamında değerlendirilmektedir. Hayek özellikle 1950'li yıllardan sonra evrimsel yaklaşımın önemli temsilcilerinden birisi olmuştur. Aynı şekilde Hayek'in "kendiliğinden düzen" kavramı kendiliğinden organizasyonun bir diğer adıdır. Genel olarak Avusturya Okulunun statik durumu ifade eden "denge" kavramına karşı kullandığı "piyasa süreci" kavramı da kendiliğinden organizasyon kavramına yakın içeriktedir. Evrimsel bakış açısının bir yansıması olarak, Avusturya Okuluna göre piyasa ekonomisinde dalgalanmalar (kriz) doğal bir durumdur.

Evrimsel iktisat içinde önemli bir diğer isim, A. Marshall'dır. Marshall'ın ders kitaplarına yansıyan tarafı ile kendi somut görüşleri oldukça farklıdır. Marshall Alman Tarihçi Okuluna ve H. Spencer'e yakındır; evrim fikri temeldir. Fakat takipçilerinin yaptığı iktisat, denge iktisadıdır. "Economics" kavramının yaygınlaşmasında özel bir önemi olan Marshall, iktisadın fizik gibi bir bilim olduğu konusundaki kuşkularını en fazla bilinen yapıtı "İktisadın Prensipleri"nde açık olarak belirtmektedir.

Marshall, İktisadın Prensipleri kitabının önsözünde şunları söylemektedir (Marshall, 1920 [1890, xxv-xxvi]; Hodgson, 1993):

"İktisatçıların Mekke'si iktisadi dinamikten çok, iktisadi biyolojidir ancak, biyolojik kavramlar mekanik kavramlarından

daha komplekstir. 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 vakia, 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: Ve dayanak noktası statikten ziyade dinamiktir."

Yine bir başka sayfada (Marshall, 1920, s.772; Hodgson, 1993, s.407) 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." Ayrıca, "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). Kısaca Marshall, yaşamının ileriki yıllarında, ekonomiyi doğal bilimleştirme (scientize) girişiminden pişman olacaktır ancak, okuyandan çıkmıştır bir kere (Schumpeter, 1950, s.109'dan, Skousen, 2005, s.198).

Keynes'te evrim kavramı kullanılmamış, denge ve dengesizlik kavramları tercih edilmiştir. Bugünkü Keynes yorumlarında Keynes'in kapitalizmi bir tarihsel aşama olarak gördüğünün ve evrimsel yanının altı çizilmektedir. Özellikle kapitalizmin sürekli istikrarsızlığına dikkat çektiğinden hareketle evrimsel yönüne vurgu yapılmaktadır (Backhouse ve Bateman, 2011).

Evrım yaklaşımını benimseyen bir diğeri iktisatçı ise H. Minsky'dir. Minsky'de öne çıkan kavram istikrarsızlıktır. Bugün öne çıkan yorum Minsky'deki istikrarsızlık kavramının evrimsel içerikte olduğudur.

1950'de A. Alchian, 1971'de Nicholas Georgescu-Roegen (entropi kavramını ilk kullanan iktisatçı) ve 1981'de Kenneth Boulding'in iktisada evrimsel bakış açısıyla yaklaşımları, R. Nelson ve S. Winter'in (1982) "*Evolutionary Theory of Economic Change*" adlı çalışmaları ve izleyen süreçle birlikte evrim kavramı tekrar öne çıkmaya başlamıştır. 1984 yılında Santa Fe Enstitüsünün kurulması ve kompleksite iktisadının ortaya çıkışı ve Ajan Bazlı Hesaplamalı İktisat (*Agent-Based Computational Economics - ACE*) çalışmaları bilgisayar teknolojileriyle birleşerek bu tür çalışmaların değişik bir yöne doğru ilerlemesini sağlamıştır.

Avusturya Okulu ve Veblenci anlamda evrimsel iktisatta önemli bir konu, formel olarak ifade etme sorunudur. Özellikle Avusturya Okulunun radikal öznelcilik çerçevesinde matematik ve ekonometriye kuşkuyla bakması bu soruna neden olmaktadır. Marshall'ın, iktisadın Mekke'sinin biyoloji olduğunu belirtmesine karşın mekaniğe yönelmesi de bu nedenledir. Yöntem gelişmelerinde bu konulara değinilmeye çalışılacaktır.

Marshall'dan farklı ilginç bir yönelme F. H. Knight kaynaklıdır. Geliştirdiği risk ve belirsizlik ayrımıyla iktisadi düşünce tarihinde çok özel bir yeri olan F. Knight, Veblen'in insan ve toplum hakkındaki görüşlerine saygı duymakla birlikte evrimsel sürecin modellenmesinin kesinlikle gerçeklerden uzak ve yararsız bir iş olacağını hissederek, iktisadi analiz kapsamının

dışında bıraktı. Ona göre "tarih algılanandır; tasarlanan (planlanan) değildir."⁶

İzleyen bölümde formel olarak ifade etme sorunun çözümündeki gelişmeler ele alınacaktır.

4. Evrimsel Modelleme

İktisatta derinden tartışılan, kısmen yanıtız kaldığı kabul edilen konuların arasında radikal öznelcilik, radikal (gerçek) belirsizlik ve evrimin formel olarak ifade edilememesi, modellenememesi gelmektedir.

Keynes ve Knight (gerçek belirsizlik), Mises (radikal öznelcilik) ve Veblen'in (evrim) farklı iktisat yaklaşımlarının ortak noktası ajanların heterojenliğini göz ardı edip onları temsili ajanla ifade eden, ölçülemezlik sorunlarını yok sayan iktisat anlayışına eleştirel tutumdur. Fakat bir başka ortak nokta da öznelciliği, belirsizliği ve evrimi içeren "gerçekçi" bir modellemeye duyulan özlemdir.

Deneyisel iktisat, davranışsal iktisat, nöro-iktisat gibi başka alanlar yanında bilgisayar bilimindeki gelişmeler iktisatta "gerçeğe benzeyen" (öznelcilik, belirsizlik ve evrimi içeren) modelleme konusunda bir hayli yol almamıza olanak sağlamıştır. "Doğrusal olmayan (*nonlinear*) algoritmik kompütasyon" başlığı altında toplayabileceğimiz, bilgisayar yazılımıyla aşağıdan yukarıya (*bottom-up*) modelleme tekniğinde geline nokta, Keynes, Mises ve Veblen gibi iktisatçıların hayal edebileceklerinin ötesinde yeni olanaklar sunmaktadır.

6 Evolutionary Economics, The History Of Economic Thought Website <http://www.hetwebsite.net/het/schools/evol.htm>

Doğrusal olmayan algoritmik kompütasyon yaklaşımının genel karşılığı, kompleksite iktisadi ve ajan bazlı kompütasyonel (hesapsal) iktisattır (*agent-based computational economics-ACE*). Ana akım iktisat yanında, özellikle post-Keynesyen iktisat⁷, kurumcu iktisat,⁸ evrimsel iktisat ve Yeni Avusturya Okulu ACE'deki gelişmelerden oldukça etkilenmiş görünmektedir. Marksist iktisatta⁹ da uygulama örnekleri yaygınlaşmaktadır. Son dönemde özellikle Minsky'nin konjonktür analizinin modellenmesi konusu oldukça gündemdedir. Ayrıca başta merkez bankalarının dinamik stokastik genel denge (DSGD)¹⁰

7 Radikal belirsizliğin (Keynes, post-Keynesyen iktisat ve H. Minsky) ve evrimin modellenmesinde, ACE çalışmalarının önemi konusunda bkz. Michael W. M. Roos (2015). Mark Setterfield ve Andrew Budd (2010), Keynes ve Kalecki büyüme modelini incelemektedir. Bill Gibson ve Mark Setterfield (2015) çok ajanlı modelde Keynesyen makro dinamik ve para yaratılmasını ele almaktadır. Philip Mirowski (2010) de kompütasyonel kompleksite yardımıyla Minsky türü ekonomik analiz için alternatif varlığını sorgulamaktadır. Makalede kompleksite, içsel piyasa yeniliği dinamiği, kırılabilirlik ve istikrarsızlığın Minsky tarzı modellenebileceği belirtilmektedir. Makalede markomata, otomata anlamında kullanılmıştır. E. Bucciarelli ve M. Silvestri (2013, 2014) çalışmalarında Minsky'nin ACE literatüründeki yerini incelemektedir.

8 Claudius Gräbner, 2015, 2016a, 2016b.

9 Cogliano (2012) ve Cogliano, F. ve Jiang (2016).

10 Alessandro Caiani, Antoine Godin, Eugenio Caverzasi, Mauro Gallegati, Stephen Kinsella ve Joseph E. Stiglitz (2016) çalışmasında ekonomik sistemlerin kompleks adaptif doğasının ve paranın içelliğinin DSGD modellerini başarısız kıldığı, ACE ile çalışılması gerektiği belirtilmektedir.

modellerine alternatif olarak geliştirilen modeller, ACE'yi ana akım iktisadın bir parçası haline getirmektedir.

4.1. Modellemede Gelişmeler

Geleneksel olarak üç tür modellemeden söz edilebilir:

1. Görsel modeller. Ekonominin resim ve şekillerle gösterilmesidir, basit matematik de kullanılır.
2. Matematiksel modeller.
3. Ampirik modeller; istatistik, ekonometri.

Elbette matematik ve ampirik modellerin içeriği ve düzeyi zaman içinde çok artmıştır. Matematikte oyun teorisindeki gelişmeleri de bu içerikte değerlendirmek mümkündür.

1980 sonrası bilgisayar bilimindeki gelişmeler yeni bir tür modellemeye olanak sağlamıştır. Artık dördüncü bir modelden söz etmek olanaklıdır;

4. Kompütasyonel (hesaplamalı) model.

Özellikle 2. ve 4. başlık altında gözlemlenen gelişmeler Menger, Marshall vb. iktisatçıların arayışlarına yanıt verir niteliktedir. Örneğin; ekonominin gerçeği, iktisadi ajanların heterojenliği, sınırlı rasyonellik, etkileşim, adaptasyon, ani kesiklik vb. olduğu belirtildiğinde buna uygun matematiksel ve kompütasyonel modelleri geliştirmek mümkündür.

Matematikten başlarsak, “çok matematiksel” eleştirisi yerine “yanlış matematik” eleştirisi daha doğru olacaktır; yanlış matematik yerine doğru matematik kullanmak gereklidir. Örneğin; doğrusal olmayan

matematik, patika bağımlı modeller, evrimsel oyun teorisi gibi evrimsel çerçeveyi içeren matematik kullanmak, doğru matematiktir (Colander ve Kupers, 2014). “Doğru” matematikte örneğin heterojen etkileşim içinde ajanlar, ağlar (*networks*) ve “işbirliğinin evrimini” içeren evrimsel oyunlar gibi çeşitli birliktelikler olabilir (Elsner, 2015).

Diğer gelişme kompüsyonel modellerle ilgilidir. Bu modellerin iktisatta karşılığı daha çok ajan bazlı kompüsyonel iktisattır. ACE ile heterojen ajanların etkileşiminden ortaya çıkan (*emerging*) piyasa dinamiğini çoğaltan (replike eden) ve anlayan modeller kurulabilmektedir (Bruno vd. 2016). Burada temel kavram simülasyondur (benzetim). ACE ile denge yerine doğrusal olmayan evrimi içeren çoğaltıcı dinamik (*replication dynamics*) incelenebilmektedir (Colander, 2015). Bir diğer ifadeyle evrim modellenebilmektedir. Ayrıca alternatif politikaların çoğaltıcı dinamiklikle etkileri görülebilmektedir (Kirman, 2012). Bu arada yalnız ekonomi değil devlet, kurumlar, sosyal normlar da evrilmektedir (Kupers, 2014; Colander, 2015; Kirman, 2016). ACE modelleriyle reel zamanlı çalışmak olanaklıdır. Ayrıca ACE ve ağların (*network*) kombinasyonu içeren modeller kurmak mümkündür (Fontana ve Terna, 2015).

Evrimsel iktisadın formel olarak ifade edilmesinde geleneksel evrimsel iktisat literatüründen ve kendi aralarındaki ilişkiden kısmen bağımsız olarak üç gelişmeden söz edilebilir. Bunun nedeni, bu gelişmelerin iktisadın dışında, özellikle bilgisayar bilimciler (ve evrimsel biyoloji, fizik, matematik) tarafından gerçekleştirilmesidir. Bugün ilgili literatür

arasındaki alışveriş çok daha fazla artmıştır. Evrimsel modelleme konusunda üç yöntemden söz edilebilir: a) evrimsel oyun teorisi ve seleksiyon dinamiği, b) evrimsel kompüsyon teknikleri, c) ajan bazlı modelleme (çok ajanlı modeller, ajan bazlı kompüsyonel iktisat) (Safarzyńska ve Van Den Bergh, 2010; Safarzyńska, Brouwer, Hofkes, 2013).

Evrimsel oyun teorisi ve seleksiyon dinamiği ile evrimsel kompüsyonda bireyler değişmez; kendini çoğaltma (*self-replication*) ve değişme sürecine bağlı olarak nüfus evrilir. Ayrıca ilk iki modelde bireyler basit stratejilere sahiptirler. Ana kavram “evrimsel istikrarlı strateji”dir.

Ajan bazlı modelleme evrimsel model tekniğinin en esnek olan türüdür. Modelde parametreler ve değişkenlerin sayısı önemlidir. Modeller zaman, ajanların sayısı, (ajanlar tarafından içsel olarak değiştirilebilen) mikro aksiyonlar, (ajanların davranışsal ve teknik karakteristikleri hakkında bilgi içeren) mikro parametreler, zamandan bağımsız değişkenler, etkileşimin yapısı, ajanlar hakkında bilgi akımları ve bütüncül makro değişkenleri içermektedir. Modellerde etkileşimler geri bildirim ve artan getiri ile karakterize edilmektedir. Modellerde değişim, yenilik veya bireylerin deneyim kazanmalarıyla gerçekleşmektedir.

Son yıllarda ACE'deki gelişmeler daha fazla öne çıkmıştır. Kompleksite ve ajan bazlı modelleme, kompleksite iktisadi ve ajan bazlı kompüsyonel iktisadın doğmasına yol açmıştır. Avusturya Okulu ve özellikle Minsky temelli post-Keynesyen iktisat yaklaşımlarında ACE'den faydalanılan çalışmalarda büyük artış vardır. Bunda, sürekli değişimin (evrim, süreksizlik, ani durum değişiklikleri,

doğrusal olmama, kendiliğinden düzen, kendiliğinden organizasyon, birbirini etkileme ve adaptasyon) geleneksel yaklaşımlarla modellenememesinin etkisi fazladır.

Özellikle ACE'nin bir yansıması olarak iktisatta denge, dengesizlik, çoklu denge ve evrim kavramları yanında denge dışı (Flanders, 2015) ve aynı anlama gelmek üzere dengenin olmaması (*non-equilibrium*) (Henry, 2010; Davanzati ve Pacella, 2014) kavramları özellikle Minsky üzerine yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Denge dışı kavramının yaygınlaşmasında kompleksite iktisadının önemli ismi B. Arthur'un (2010) özel bir yeri vardır.

4.2. Evrimsel Oyun Teorisi ve Seleksiyon Dinamiği

Evrimsel oyun teorisi ve seleksiyon dinamiğinin geçmişi 1970'lere gitmektedir. Öncü çalışmalar J. Maynard Smith ve G. R. Price'a aittir (Safarzyńska ve Van Den Bergh, 2010). Evrimsel oyun teorisinin ilk formel ifadesi R. C. Lewontin (1961) ile başlamaktadır. Sonra J. Maynard Smith ve G. R. Price dışında R. Axelrod (1984) ve R. Sugden (1986) takip etmektedir (Hodgson ve Huang, 2012).

Evrimsel oyun teorisinde oyuncular sınırlı rasyonelliğe sahiptir. Stratejiler seçilmekten çok miras olarak alınmaktadır. Oyuncular nispeten miyopik (kısa görüşlü) ve naiftir. Evrimsel oyun teorisinde nüfusun kompozisyonunda evrimsel biyolojiden faydalanılmaktadır.¹¹ Seleksiyon dinamiği

11 Evrimsel oyun teorisinin insan davranışlarını, iktisattaki evrimi formüle etmekte sorunlu olduğuna ilişkin bkz. N. Martins, 2015, s.649-668.

ve evrimsel oyun teorisi karma strateji nosyonu ile aynıdır (Safarzyńska ve Van Den Bergh, 2010).

4.3. Evrimsel Kompütasyon

Evrimsel kompütasyon biyoloji, bilgisayar bilimi, enformasyon teorisi ve fizik temellidir. Evrimsel kompütasyon teknoloji, kurumlar ve ekonomik sistemin evrimi olarak iktisada uygulanmaktadır (Beinhocker, 2010). P. Mirowski, kompütasyonel evrimsel iktisat anlamında "markomata" kavramını kullanmaktadır (Lash ve Dragos, 2016).

Evrimsel kompütasyon, doğal seleksiyon ve genetik temellidir. Evrimsel kompütasyon genetik algoritma, genetik programlar, evrimsel programlar, öğrenen sınıflandırıcı sistemler ve evrimsel stratejiler içeren programlar üzerine kuruludur. Kurumsal, teknolojik ve ekonomik sistem olarak evrim, algoritmik olarak evrime dönüşmektedir. Bu çerçevede özellikle genetik algoritma kullanılmaktadır (Beinhocker, 2011; Nell, 2010).

Evrimsel algoritmalar, çok ajanlı sistemlerde (*multi-agent systems*) bireysel öğrenme modeli olarak ve oyun teorisinde de kullanılmaktadır.

Genetik algoritmada a) ajanların öğrenme süreci b) hücresel otomata c) yerel (*local*) etkileşimler yer almaktadır (Barbieri, 2013). Evrimsel kompütasyonel düzen (*order*), düzensizlikten düzen, basitlikten karmaşıklık yaratmaktadır.

Evrimsel kompütasyon yaklaşımları özellikle genetik algoritmaların kullanımıyla iktisatta yaygınlık kazanmıştır. Öne çıkanlar uygulamalar 1980'lerde J. Holland

ve B. Arthur ve diğerlerinin de dâhil olduğu Santa Fe yapay (*artificial*) borsa piyasası ve ACE modellerinde kullanılmıştır.

4.4. Ajan Bazlı Kompütasyonel İktisat (ACE)

ACE, hızla gelişen alanlardan bir tanesidir ve kompleksite biliminin iktisada uyarlanmasında özel bir öneme sahiptir. Çok ajanlı modeller, ajan bazlı modeller, çok ajanlı sistemler, çok ajanlı simülasyonlar, çok ajan temelli simülasyonlar gibi adlandırmaları da bulunmaktadır (Safarz-ynska ve Van Den Bergh, 2010).

Genel olarak ajan bazlı modeller (ABM) başlığında toplanan modeller fizikte Monte Carlo simülasyonları; biyoloji ve ekolojide bağımsız yaşayan varlık (birey: *individual*) temelli modeller; bilgisayar bilimi ve lojistikte çok ajanlı sistemler; iktisatta ise ajan bazlı kompütasyonel iktisat olarak adlandırılmaktadır (Turrell, 2016).

ABM'nin temelleri 1930'lara dayanmaktadır. 1930'larda fizikçi Enrico Fermi ile başlayan süreç 1947'de Monte Carlo yönteminin geliştirilmesiyle yeni bir aşama kaydetmiştir. Model W. Metropolis ve S. Ulam'ın 1949 yılında yayımlanan çalışmasıyla kamuoyuna sunulmuştur (Turrell, 2016). İktisadın ACE ile tanışması ise Thomas Schelling'in 1969 ve 1971'de yayımlanan iki makalesiyle olmuştur (Turrell, 2016).¹²

12 Schelling, T. C. (1969). Models of segregation. *The American Economic Review*, 59(2), 488-93. Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143-86.

ACE'nin gelişimini kompleksite iktisadından bağımsız olarak düşünmek zordur. Aşağıda bu gelişim kısaca özetlenmektedir.

4.4.1. Kompleksite İktisadı ve ACE

Kompleksite ve bağlı olarak kompleksite iktisadı interdisipliner bir alandır. İktisatçı, psikolog, antropolog, sosyolog, fizikçi, biyolog, matematikçi, bilgisayar bilimci vb. kompleksite çalışmaktadırlar.

Metodolojik olarak kompleksite holizm, bütünsellik ve ayrılmazlık (*non-separability*) kavramlarını çağrıştırmaktadır. Holizm (holism, birlikcilik, bütüncülük) birlik felsefesi, bütünsellik (*wholism*, bütüncülük), ilişkili nesnel arasındaki etkileşimlerin dinamiğine ilişkindir. Holizmde bütün, onun parçalarının toplamından büyüktür. Ayrılmazlıkta bütün, parçalarının toplamından büyük ve farklıdır.

Metodolojik olarak bir başka ayırım metodolojik indirgemecilik (*reductionism*) ve holizmdir. Metodolojik indirgemecilik, tamamlayıcı parçaların (*component*, komponent) yapısı ve davranış düzeyinden hareketle kompleks sistemin anlamasını araştırmaktır. Metodolojik holizm, bütün sistemden hareketle kompleks sistemi anlamaktır (Sturmberg, 2016).

“Artan basitlik (*reductionist*) → artan öngörü → azalan belirsizlik”ten ve “artan kompleksite (Holistik) → azalan öngörü → artan belirsizlik”ten söz etmek mümkündür (Sturmberg, 2016).

Kompleks sistem sabit bir noktaya veya limit çevrime (*limit cycle*), yakınsamaz veya içsel faktörlere bağlı olarak sürekli değişir (Colander vd. 2004).

Kompleks sistemde mikroskopik etkileşimler makroskopik sonuçlara yol açmaktadır (Durlauf, 2012). Kompleks sistemde içsel veya dışsal kontrol edici olmaksızın sistem gelişir; adaptasyon, mutasyon ve dönüşüm nedeniyle öngörü zordur (Durlauf, 2012; Bruno vd. 2016). Kompleks sistemler genellikle patika bağımlı, doğrusal olmayan ve kilitlenen (*lock-in*) yapıdadır (Colander, 2015).

Kompleksite analizlerinde çokça kullanılan kavramlar arasında bütünün toplamdan farklı olması, düzen, kendiliğinden organizasyon, türbülans, endüksiyon, evrim, (kendiliğinden organize olmuş) aşağıdan yukarıya yöntem (“criticality”, endüksiyoncu analitik metot), adaptasyon, şebekeler (ağlar), tersinemezlik (geriye dönmezlik) ve denge dışılık yer almaktadır (Velupillai, 2012).

Kompleks sistemin genel özellikleri (Bruno vd. 2016):

1. Çok sayıda bileşen (*large number of components*). Parçaların etkilemesi ve diğerlerinden etkilenmesi sonucu parçaların toplamından daha büyük yapıların ortaya çıkmasıdır. Etkilenme ve beliren (*emergent*) davranış söz konusudur. Etkileşim üç özelliğiyle karakterize edilir: a) Doğrusal olmama. Küçük vesileler (*causes*) büyük etkilere sahiptir veya tersi. Doğrusallıkta bütün parçalarının toplamına eşittir, doğrusal olmamada bütün toplamdan daha büyüktür. b) Geri bildirim döngüleri (*Feedback loops*). Herhangi bir faaliyetin etkisinin kendi kendisini pozitif veya negatif

olarak beslemesidir. c) Kendiliğinden organizasyon. Sürekli adaptasyondur.

2. Belirim (*emergence*). Derneştirme (*agregation*) kavramını içermektedir.
3. Açık sistem. Diğer sistemlerle ve dış çevreyle etkileşimdir.
4. Patika bağımlı. Kompleks sistemler tarihe sahiptirler.
5. Güç yasaları. Şehir büyüklükleri, gelir dağılımı, kelime sıklıkları, deprem büyüklükleri, bölüşüm sorunları güç yasalarına örnek olarak verilebilir.

Kompleks sistemler “kompleks adaptif sistemler” (Complex Adaptive Systems-CAS) olarak da tanımlanmaktadır. CAS’ın özellikleri ise şu şekilde sıralanabilir (Sturmberg, 2016):

1. Doğrusal olmama: a) Sonuçların harekete geçiriciyle (*stimulu*) orantılı olmaması, b) ani büyük değişimler, c) başlangıç koşullarına duyarlılık.
2. Çevreye açık: a) Çevreyle sürekli etkileşim, b) madde, enerji, sermaye, toplum (ahali, *people*), enformasyonun sürekli değişimi, c) dışsal çevreye doğrusal olmayan tepkiler (ki ani kütleli ve stokastik değişimlere neden olabilir).
3. Kendiliğinden organizasyon. Üç temel ilkeye dayanır: a) (Pozitif veya negatif) tekrarlanan geri bildirim, b) istifade etme (*exploitation*) ve keşfetmenin (*exploration*, arama, inceleme) dengesi (bilinenden istifade etme ve yeniliği arama), c) çoklu etkileşimler.

4. Belirim (*emergence*): a) Belirim, basit nesnelere (ajanlar) dizisi, kendiliğinden organizasyonu artıran sonuçlar yaratan çevrede ortaya çıktığında bütün olarak daha kompleks davranışlar oluşur. b) Belirim farklı ölçeklerdeki ve geri bildirimdeki karışık ilişkilerden ortaya çıkar -birbirine bağlılık. c) Beliren davranışı veya özellikleri herhangi bir tek nesnenin özelliği değildir; alt düzey nesnelere davranıştan öngörülemez veya çıkarılamaz. Alt düzey nesnelere indirgenemezler.
5. Etkileşim örüntüsü. Ajanların farklı kombinasyonları aynı sonuca veya ajanların aynı kombinasyonu farklı sonuçlara yol açar.
6. Adaptasyon ve evrim: a) Değişmeler bütün sistemi kapsar ve az sayıda ölçülebilir faktörlerle sınırlanamaz. b) Adaptasyon yeni dinamik etkileşimlerle yeni homeostasis yol açar.¹³
7. Birlikte evrim: a) Her ajan değişir. b) Yeni özellikler ve dinamiklerle alt sistemin paralel gelişimi.

Kompleksite bilimindeki gelişmeler kompleksite iktisadı adında yeni bir iktisadi yaklaşımın ortaya çıkmasına neden olmuştur¹⁴ (Fontana, 2008; Colander, 2003;

¹³ Homeostez, hücre dışı gerçekleşen olaylar karşısında hücrenin kendi motabilizmasını koruma eğilimidir. Bir canlı sistemde bulunan kendini ayarlama ve bazı hallerde onarım gücü olan mekanizma ve yetenekler.

¹⁴ Kompleksite ve kompleksite iktisadı hakkında daha ayrıntılı bilgi için bkz. Eren ve Ögüt, 2009; Eren, Eser ve Kırcı, 2011.

Colander, 2008; Day, 2006; Rosser, 2003; Rosser 2006; Rosser, 2008). 1984 yılında Santa Fe Enstitüsünün kurulması kompleksite iktisadının gelişimini hızlandırmıştır. Santa Fe Enstitüsünün kurulmasını teşvik edenler arasında K. Arrow'un da olması önemlidir. Bir süre bilim kurulu üyeliği yapan Arrow, 1987 yılında on iktisatçı ve on fen bilimcinin bir çalıştayda bir araya gelmelerine yardımcı olmuş ve iktisatçı grubunun kaptanlığını üstlenmiştir.

Kompleksite iktisadını öne çıkararak evrimsel açıdan ontolojik olarak kompleksitenin ölçülerini ve bağlantılarını Tablo 1 ve Tablo 2'den izlemek olanaklıdır.

Kompleksite iktisadı, konveks olmayan (*nonconvex*) dünyada kendiliğinden organizasyon ve bütünü toplamdan büyük olmasıyla karakterize edilir (Al-Suwailem, 2012). Kompleksite ekonominin deterministik, öngörülebilir ve mekanistik olmadığını söyler. Ekonomi; süreç bağımlıdır, organik ve her zaman evrilmektedir (Arthur, 2009).

Kompleksite iktisadında sıkça sözü edilen kavramlar belirim (*emergence*), adaptasyon, kendiliğinden organizasyon (*self-organization*), patern, ajanlar (*agents*), ağ (*network*), bütünsellik (*wholeness*), (farklı bağlantılı parçalar arasında) bir birine bağlı etkileşimler, öğrenme, hafıza, değişme, evrim, holizm (bütüncülük) ve sinerji (*snergy*)'dir.

Kompleksite iktisadını neoklasik iktisattan ayıran özellikler Tablo 3'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 1: Kompleksitenin Evrimsel Ontolojisinin Dört Ölçüsü
(Robert, Yoguel ve Lerena, 2017, s. 766)

Kompleksitenin Ontolojik Varsayımları

Ölçüler (Dimensions)	Vasıflar (Attributes)
1. Mikro Heterojenlik	1. Yaratıcı kapasiteye sahip heterojen ajanlar. 2. Öğrenme ve adaptasyon. Rutinler. Kapasite (yetenek) ve davranış heterojenliği. 3. Parçalar arasındaki bağlantılar.
2. Ağ Mimarisi	4. Ağ topolojisi (dikeylik ve ayrıştırabilirlik). 5. Kısmi ve lokal enformasyon. Global kontrol edicinin yokluğu.
3. Etkileşimler, Dengesizlik ve Iraksama	6. Ağ dışsallığı. 7. Çoklu denge. 8. Pozitif geri bildirimler. 9. Birlikte evrim. 10. Denge dinamiğinden uzak. 11. Belirtimsizlik (Indeterminacy) ve belirsizlik. 12. Tersinemezlik. Patika bağımlılığı. 13. Sistemlerin heterojenliği. Iraksama (divergence).
4. Beliren Özellikler	14. Beliren özellikler.

Tablo 2: Ontolojik Varsayımlar, Beliren Özellikler ve Ana Sorun Arasındaki Kollar (Strands) (Robert, Yoguel ve Lerena, 2017, s.785)

İlişkiler (Strands)	Baskın Ontolojik Varsayımlar	Beliren Özellikler	Baskın Sorun (İlgi, concern)
Alışkanlıklar ve rutinler	Yaratıcı kapasiteye sahip heterojen ajanlar, parçalar arasında bağlantılar.	Alışkanlıklar, kurallar ve rutinler, yetenekler, kurumlar	Koordinasyon.
Kendiliğinden organizasyon	Parçalar arasında bağlantılar, ağ topolojisi, denge dinamiğinden uzak olma, belirtimsizlik, belirsizlik	Kurallar, düzen, yeni bilgi, ilişkiler yapısı	Koordinasyon
Sistemler	Parçalar arasında bağlantılar, pozitif geri dönüşler, birlikte evrim, iraksama	İnovasyon sistemlerinin davranışı ve evrimi	Dönüşüm (transformation)
Kümülatif nedensellik	Pozitif geri bildirimler, birlikte evrim, denge dinamiğinden uzak olma, tersinemezlik ve patika bağımlılığı, iraksama	Yapısal değişme, yeni sektörler, teknolojik rotalar	Dönüşüm
Artan getiriler	Ağ dışsallıkları, pozitif geri dönüşler, çoklu denge, belirtimsizlik, tersinemezlik ve patika bağımlılığı	Baskın tasarım, kilitlenmeler (lock-ins), düzen (order), ağ yapısı	Koordinasyon

Tablo 3: Kompleksite İktisadı ve Neoklasik İktisadın Farkları (Montgomery, 2000, s. 227–228; Al-Suwailem, 2012, s. 90).

Neoklasik İktisat	Kompleksite İktisadı
Doğrusal	Doğrusal olmayan
Temsili ajan (birey)	Heterojen (somut) ajan
Denge	Dengesizlik-çoklu denge
Rasyonel beklentiler	Adaptif, evrimsel, tümevarımcı, grup görüşü
Kurumlar yok, akıcı	Patika bağımlılığı, adaptif evrim, kurumlar
Serbest (rekabetçi) piyasa	Piyasa başarısızlığı
Konveks	Konveks olmak zorunda değil
Çok sınırlı	Sürekli yenilik
Yalnız azalan getiri	Azalan ve artan getiri
İlişkısiz-patika bağımsız	Bağımlı-patika bağımlı
Maksimizasyon	Yetinmeci

Kompleksite hareketi 1970’lerin sonunda, 1980’lerin başında ortaya çıkmıştır. “Neden bu tarihler?” diye sorulduğunda yanıt basittir: Genellikle kompleks sistemler analitik çözüme sahip değildir. Bilgisayar bilimiyle ajan bazlı modelleme olanaklı hale gelmiştir (Arthur, 2009). Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler simülasyon yoluyla kompleksite iktisadının modellenmesine olanak sağlamıştır.

Bilgisayar teknolojisindeki ve simülasyon yöntemlerindeki gelişmelerin katkısıyla çok kompleks modeller kurulabilmektedir. Bu modellerde temsili ajan yerine heterojen ajanla çalışmak olanaklı olmaktadır. Ajan bazlı kompüsyonel iktisat örneğinde olduğu gibi

birbirinden etkilenen heterojen ajanlarla hareket edilmekte, daha kompleks, daha gerçekçi modeller kurulmaktadır.

Kompleks adaptif sistemlerin iktisatta uygulanması olan ACE (Vriend, 2002), mevcut teorileri ikame edici değil tamamlayıcı (Tsfatsion, 2005) olma iddiasıyla hızla yaygınlaşmaktadır.

ACE birbirini etkileyen ajanların dinamik sistemi olarak ekonomik sürecin kompüsyonel araştırma alanıdır (Kirman, 2012).

ACE çalışmalarının arkasında da Santa Fe kompleksitesi vardır. ACE’de bilgisayar bilimi, evrim ve bilişsellik (*cognitive*) öne çıkmaktadır.

İktisadi Modellemede Gelişmeler: Evrim Modellenebilir mi?

Bir anlamda kompleks, doğrusal olmayan ilişkiler içeren modellerle simülasyonlar yapılmak istenmektedir. Bunu süper bilgisayarların iktisada girmesi biçiminde tarif etmek mümkündür (Buchanan, 2009).

ACE'nin metodolojisine ilişkin önemli bir değerlendirme J. Davis'e (2017) aittir. Davis ACE'nin yönteminin tümevarım (indüksiyon) değil, abdüksiyon (*abduction*)¹⁵ olduğu görüşündedir.

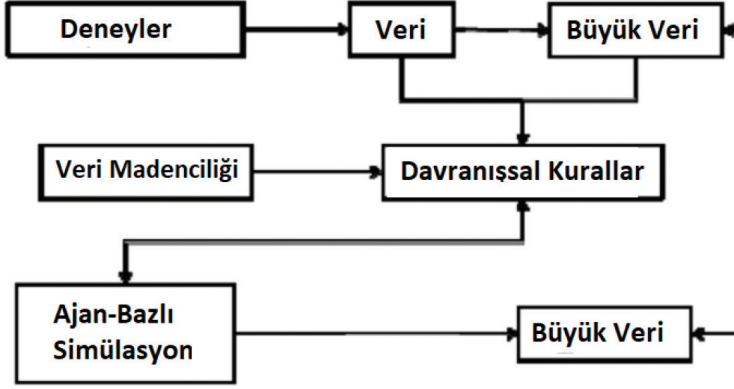
Abdüksiyon kavramı Charles Peirce (1839-1914) ve pragmatizmi hatırlatmaktadır. Genellikle abdüksiyon yönteminin sosyal bilimlerde, yapay zekâda ve son yıllarda evrimsel modellemede karşılık bulduğu kabul edilmektedir.

Abdüksiyonun öne çıkmasında büyük veri (*big data*) ve veri madenciliği (*data mining*) gibi bilgi – iletişim teknolojileri kavramlarının özel bir önemi vardır (Şekil 1).

15 Tablo. Tümdengelim, Tümevarım ve Abdüksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=5ioyWeUEyvo>

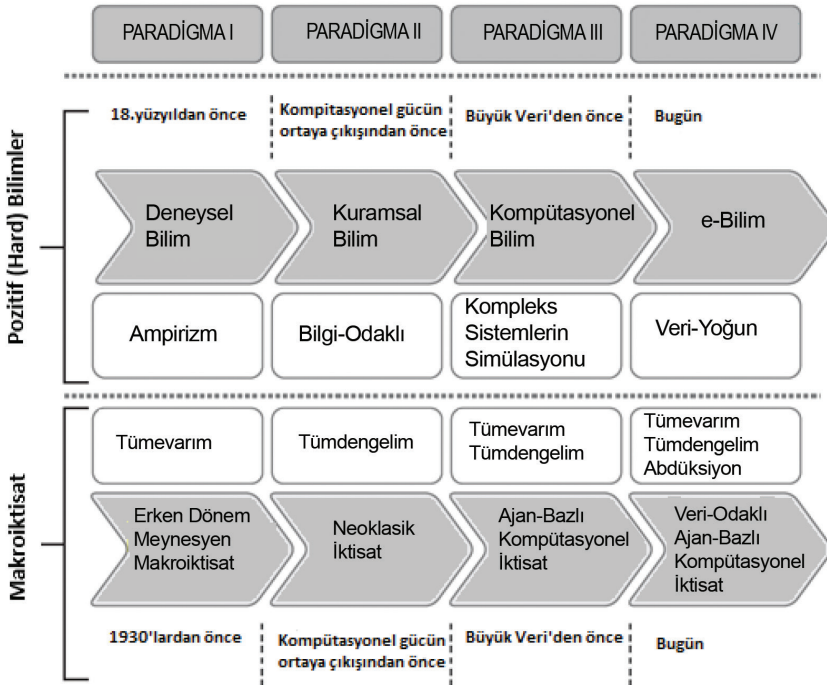
Tümdengelim	Kural: Fiyatlar yükselirse satışlar azalır. Vaka: Yüksek fiyatta A ürünü (piyasaya çıkardık) satışa çıkardık. Sonuç: Ürün A'nın satışları düştü	Eğer A, sonra B ise, A Mutlaka B	1.Kural → 2.Vaka → 3.Sonuç →
Tümevarım	Vaka: Ürün A'da yüksek fiyat. Sonuç: Satışlar azaldı. Kural: Fiyatlar yükseldiğinde satışlar azaldı	A B Eğer A ise, muhtemelen B.	1.Vaka → 2.Sonuç → 3.Kural →
Abdüksiyon	Sonuç: Satışlar düştü. Kural: Fiyatlar yüksekse satışlar düşer. Vaka: Ürün A için fiyatların yüksek olup olmadığını kontrol et.	B Eğer A ise B Muhtemelen A	1.Sonuç → 2.Kural → 3.Vaka →

Şekil 1: Büyük Verinin Ajan Bazlı Simülasyonu (S-H. Chen, 2017)



P. D'Orazio'ya göre (2017) büyük verinin sunduğu büyük olanaklar çerçevesinde abdüksiyon yöntemi öne çıkmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2: Bilimsel Paradigmaların Tarihsel Evrimi ve Belirgin Özellikleri (P. D'Orazio, 2017)



Rasyonalizm→ Tümdengelim, Ampirizm→ Tümevarım ilişkisi yerine abdüksiyon yönteminin geçerli olduğu savının altında üretsel (*generative*) bilim kavramı yatmaktadır. Buna göre ekonomi üretseldir. Abdüksiyon, çoğu zaman retrodüksiyon (*retroduction*) ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Abdüktif uslamlama (reasoning, muhakeme, akıl yürütme) yapılmaktadır.

Abdüksiyonla birlikte kullanılan iki kavram karşı olgusal uslamlama (*counterfactual reasoning*) ve dönüşlülüktür¹⁶ (*reflexivity*).

Karşı olgusal uslamlama, genellikle “diğer olanaklı dünyalar” uslamlaması (“*other possible worlds*” reasoning) ile aynı anlamlıdır. Karşı olgusal uslamlama açık uçludur. Bunun karşıtı tümdengelim yönteminde olduğu gibi koşulsuz uslamadır. Koşulsuz uslama kapalıdır.

Dönüşlülük, bir bağıntının dönüşümlü olma durumunu ifade etmektedir. Dönüşlülük kavramı geri bildirim (*feedback*), geriye doğru bildirim (*feeds backward*), ileriye doğru bildirim (*feeds forward*) içeriğine sahiptir.

Davis’e (2017) göre ABM, ACE’de kullanılan *bottom-up* yaklaşım ve ajanların birbirini etkilemesi olgusuyla makroekonomik düzenliliklerin ortaya çıkmasıdır. Yukarıdan aşağı (*top-down*) koordinasyon mekanizmasının yokluğunda ACE simülasyonları üretseldir.

Üretsel (*Generative*) → belirim ilişkisi geçerlidir.

ACE’de mikrospezifikasyon (ajanlar, ajanların davranışı) açıklayıcı, makro yapılar açıklanan (açıklamaya muhtaç, *explanandum*) konumdadır. ACE’de mikro belirlenmiş (*specified*) yapay dünya ile, makro yapıları, düzenlilikleri içeren reel

dünya modellenmektedir. ACE’de model kurma metodolojisini Şekil 3’te izlemek mümkündür. Nihai amaç kodlama sonucunda ortaya çıkan modelin amprik geçerliliğini sorgulamaktır.

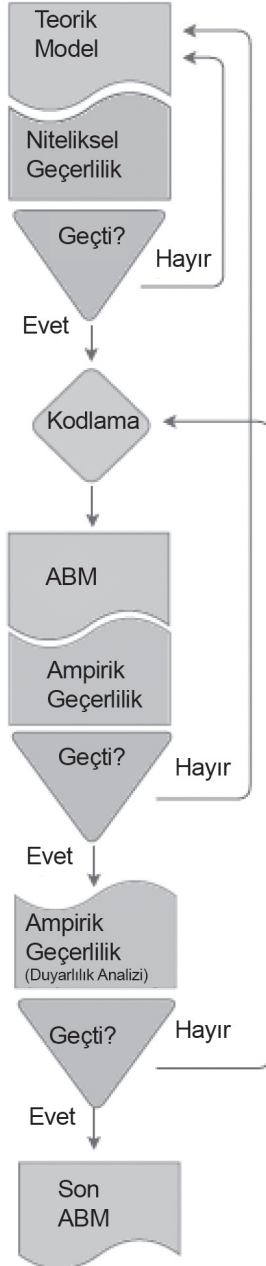
ACE evrimsel iktisat, bilgisayar bilimi ve bilişsel bilim (*cognitive science*) üzerine temellenmektedir.¹⁷ ACE modellerinde, iktisatta her zaman gündemde olan şu noktalar çözülmeye çalışılmaktadır (Chen, 2012):

- Derneşiklik (*aggregation*) problemi, Avusturya Okulunun dikkat çektiği “Makroiktisat yoktur.” ve “GSYH, fiyat endeksi gibi büyüklüklere ve kavramlara derin şüpheyle bakılmalıdır.” ifadelerinin karşılığıdır. Ayrıca niteliksel büyüklüklerin derneşikleştirilmesinde de önemli sorunlar vardır.
- Heterojen ajanlar neoklasik iktisattaki temsili ajan eleştirisinin karşılığıdır; iktisadi ajanların rasyonelliği, beklentileri farklıdır. Ajanlar aynı zamanda birbirini etkilemektedir; kompleks adaptif sistemler geçerlidir. Derneşikliği, heterojenliği, kompleks adaptif sistemleri içeren uygun bir matematik kullanılmalıdır (Borrill ve Tesfatsion, 2010).
- Ajan bazlı modeller sosyal bilimler için doğru matematiktir (Chen, 2012). Sosyal sistem ilişkiler ağının evriminde heterojen iletişimden oluşur. Graf (*graph*, çizge) teorisi ve küme teorisinin takipçisi olarak kategori teorisi bunları yansıtır (Borrill ve Tesfatsion, 2010). Ajan bazlı modellerde öne çıkan matematik, graf ve kategori teorisine dayanmaktadır.

16 Dönüşlülük (*reflexivity*) yerine bazı iktisatçılar tepkisel (reactivity) kavramını kullanmaktadırlar. Bkz. Frey, 2017.

17 ACE ile ilgili olarak, <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm> internet adresinden geniş bilgi alınabilir.

Şekil 3: ABM Model Kurma Metodolojisi (D’Orazio, 2017, s.13)



ACE'nin arkasındaki dayanaklar ise şunlardır:

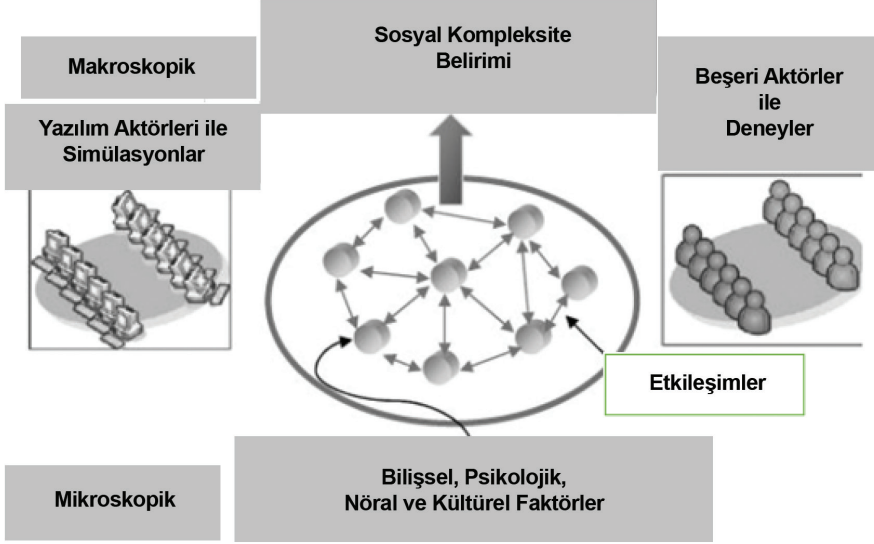
1. Beliren davranış. Smith'in görünmez eli, beliren davranışın klasik örneklerinden bir tanesidir.
2. Ajanların heterojenliği. Temsili ajan yaklaşımı eleştirilmekte ve farklı ajan tipleriyle çalışılmaktadır.
3. Stiliz edilmiş gerçekler. Şişman kuyruklar (*fat tails*) ve zamanda kümelenme (*clustering in time*). Kümelenebilir volatilenin varlığı örnek olarak verilebilir.
4. Realistik davranışlar. Sınırlı rasyonellik temel davranış biçimidir.
5. İmkânları keşfetme.

Kompleksite, doğrusal olmama, çoklu denge, kendiliğinden organizasyon, ani ve dramatik geçişler. Örneğin; düşük işsizlikten yüksek işsizlik fazına geçilebilmektedir (Turrell, 2016).

ACE'nin arkasında evrimsel algoritmalar, evrimsel oyun teorisi, davranışsal oyun teorisi, genetik algoritmalar, öğrenme algoritmaları, birbirini etkileyen ağlar (ağların içsel oluşumu) vardır (Tsfatsion, 2003). Otonom heterojen ajanlar ve ajanların birbirini etkilemesi söz konusudur. Ajanlar sınırlı rasyonelliğe sahiptirler. Sınırlı rasyonellik şu anlamdadır: Ajanlar ne tam bilgiye, ne de sınırsız hesaplama gücüne sahiptir (Oeffner, 2008). ACE'de sınırlı rasyonellik daha çok H. Simon'daki anlamındadır; yani algoritmiktir.¹⁸

¹⁸ H. Simon'da bilgisayar ve insan rasyonelliği birbirine benzer; ikisi de sınırlı hesaplama olanaklarına sahiptirler (Fiori, 2011).

Şekil 4: ACE, Mikro Temeller ve Makro İktisat (Chen, 2015)



ACE modellerinin ortak özellikleri şöyle sıralanabilir (Şekil 4):

1. **Aşağıdan yukarıya perspektif (*bottom-up perspective*):** Mikro temellerden hareketle makro sonuçlar elde edilmektedir. Temsili ajan, denge ve rasyonellikle ilgili varsayımlarda yer alan yukarıdan (fazla bilgi) aşağıya bakış açısının tersi olarak, aşağıdan (kısmi bilgi) yukarıya bir bakış açısı söz konusudur; bütün toplamdan farklıdır. Ajan temelinde mümkün olduğu kadar sınırlanmayan ajanların mikro dünyasından hareketle makro (aggregate) sonuçlar; makro özellikler.
2. **Heterojenlik:** Ajanlar bütün yönleriyle heterojendirler.
3. Evrilen kompleks sistem (*evolutionary complex system-ECS*) geçerlidir;

belirim, tekrarlanmayan etkileşimler gerçekleşmektedir.

4. **Doğrusal olmama:** Mikro ve makro düzeyde doğrusal olmama, geri bildirim vardır.
5. **Doğrudan (içsel) etkileşimler:** Ajanlar doğrudan birbirini etkilemektedir. Adaptif beklentiler çerçevesinde etkileşim gerçekleşmektedir.
6. **Sınırlı rasyonellik:** Modeller sınırlı rasyonellik, adaptif beklenti ve miyopik adaptasyon üzerine kurulur.
7. **Öğrenmenin doğası:** Öğrenmeyle ajanların yaklaşımları değişebilir; değişen çevreye açık olma durumu vardır.
8. **“Gerçek” dinamiklik:** Gerçek, tersi-nemez dinamiklik ve patika bağımlılığı üzerine analiz yapılır.

9. **İçsel ve kalıcı yenilik (“novelty”, değişme):** Sosyo-ekonomik sistemler durağan olmamayı miras olarak alırlar. Sürekli değişme ve yeni davranış kalıpları vardır. Öğrenme ve adaptasyon kalıpları değiştirir. Gerçek (Knightçı) belirsizlik vardır.
10. Piyasa temelli mekanizmada (üretim, tüketim) seçim yapılır. Seçim komplekstir. Seleksiyon temelli piyasa mekanizmaları söz konusudur (Fagiola ve Roventini, 2008; Fagiolo ve Roventini, 2012; 2016; 2017).

ACE modelleri ve neoklasik iktisat Tablo 4’te belirtilen unsurlar üzerinden karşılaştırılabilir:

Tablo 4: Neoklasik İktisat ve Evrimsel İktisadın Varsayımlarının Karşılaştırılması (Oeffner, 2008 s.29)

Varsayımlar	Neoklasik	Evrimsel
Sistem Davranışı	Mikro düzeyden türetilir. Zaman ve mekândan bağımsızdır. Dinamik değildir.	Mikro düzeyden çıkarılabılır. Zaman ve mekâna bağımlıdır. Dinamiktir.
Bireysel davranış	Optimize eden, mekanik.	Yetinmecî. Tahmini (göz kararı, “rules of thumb”) karar alma ve rutinler (<i>routines</i>).
Birbirini etkileme	Tam kabiliyetler ve tam bilgi. Aktörler birbirini ikame edebilir.	Eksik yetenekler ve eksik bilgi. Aktörler birbirini ikame edemeyebilir. Öğrenme, patika bağımlılığı, birlikte evrim (<i>co-evolution</i>).
Aktörler	Hiper-rasyonel ajanlar. Tarihten soyutluk. Genellikle homojen.	Sınırlı rasyonel robotlar. Tarih nosyonu. Tipik olarak heterojen.

İktisadi Modellemede Gelişmeler: Evrim Modellenebilir mi?

Kompleksite İktisadı ve dolaylı olarak ACE'nin iktisattaki yeri konusundaki tartışmaları Tablo 5'teki gibi özetlemek mümkündür:

Tablo 5: Paradigma Sınıflandırması (Heise, 2016).

Paradigma	Epistemolojik Boyut (Aksiyomlar)	Metodolojik Boyut	Ontolojik Boyut (Heuristics-Sezgisellik / Postülalar)	Statüler
Neoklasik (DSGD)	-Rasyonellik -Ergodiklik -İkame edebilme	-İndirgemecilik -Doğrusal Optimizasyon -Statik Denge -Amprilik	-Simetrik Değişim -Kapalı Sistem -Dağıtımsal (<i>allocational</i>) Perspektif -Walras Yasasının Kabulü	Ortodoks
Kompleksite İktisadı (Ana akım)	-Sınırlı rasyonellik -İkame edebilme -Ergodiklik -Heterojenlik -Doğrusal olmama	-Belirimcilik -Doğrusal Olmayan Algoritmik Kompütasyon -Dengenin Yokluğu -Simülasyon	-Simetrik Değişim -Kapalı Sistem -Formasyonel Perspektif -Walras Yasasının Kabulü	Ana Akım İçinde Muhalif
Kompleksite İktisadı (Heterodoks)	-Sınırlı rasyonellik -İkame edebilme -Ergodik olmama -Heterojenlik -Doğrusal olmama	-Koşullara Bağlılık, Tesadüfi olma (<i>contingentism</i>) - Doğrusal Olmayan Algoritmik Kompütasyon -Dengenin Yokluğu -Simülasyon	-Simetrik Değişim -Açık Sistem -Formasyonel Perspektif	Heterodoks
Post-Keynesyen İktisat	-Sınırlı Rasyonellik -İkame edememe -Ergodik olmama	-İndirgemecilik -Doğrusal Modelleme -Açıklamalı (<i>narrative</i>) Nedensellik -Amprilik	-Asimetrik Yükümlülükler -Açık sistem -Sosyal Haklar (<i>provision</i>) Perspektifi -Walras Yasasının Reddi	Heterodoks

5. Sonuçlar

İktisatta modelleme denildiğinde öne çıkan yöntemler matematiksel ve ekonometrik yöntemlerdir. Matematik ve ekonometride gelişmeler yeni olanaklar sunmuştur. Modellerin ortak özellikleri, çok sayıda varsayımla ve az değişkenle çalışmalarıdır. Varsayım sayısındaki artışla gerçekçilik arasında ters yönlü bir ilişki olduğu açıktır. Sorunun kaynağı iktisatta deney yapma ve gerçek zamanlı modeller kurma konularındaki zorluklardır.

Öznellik, belirsizlik, değişme, adaptasyon, geri etkileşim, birbirini etkilemek, süreksizlik, kendiliğinden organizasyon, evrim

ve patika bağımlılığını bütün karmaşıklığı içinde nasıl modelleyeceğiz? Bütün gelişmelere karşın yakın zamana kadar duraganlığı çağrıştıran başta, 19. yüzyıl klasik fizik temelli, denge analizinin kullanılmaya devam edegelmesi, sürekli değişmeyi modellemedeki zorluklardan kaynaklanmıştır

Son yıllarda özellikle bilgisayar bilimindeki gelişmelerin yardımıyla, başta çoğaltma dinamiği (*replicaton dynamics*) ve çizge (graf) teorisinin katkısıyla ağ (*network*) programları olmak üzere benzetim teknikleri ve *bottom-up* yöntemleriyle reel zamanlı, daha gerçekçi modeller kurulmasında önemli gelişmeler yaşanmaktadır. ACE bu gelişmelerin bir yansımasıdır.

Kaynakça

- Al-Suwailem, S. (2012). Behavioural complexity. Zambelli S. ve. George D.A.R. (Ed.), *Nonlinearity, Complexity and Randomness in Economics* içinde (ss. 85-111). Wiley-Blackwell.
- Arthur, W. B. (2009). Complexity and the Economy. J. B. Rosser (Ed.), *Handbook of research on complexity* (ss.12-2). Massachusetts: Edward Elgar.
- Arthur, W. B. (2010). Complexity, the Santa Fe approach, and non-equilibrium economics. *History of Economic Ideas*,18(2), s.149-166.
- Backhouse, R. E. ve Bateman, B.W. (2011). *Capitalist revolutionary John Maynard Keynes*. London: Harvard University Press.
- Barbieri, F. (2013). Complexity and the Austrians. *Filosofía de la Economía*, 1(1), 47-69.
- Beinhocker, E. D. (2010). *Evolution as computation: Implications for economic theory and ontology*. 12.037 <http://www.Santafe.Edu/Media/Workingpapers/10-12-037.pdf> adresinden erişildi.

İktisadi Modelleme Gelişmeler: Evrim Modelenebilir mi?

- Beinhocker, E. D. (2011). Evolution as computation: Integrating self-organization with generalized Darwinism. *Journal of Institutional Economics*, 7(3), 393–423.
- Blaug, M. (2003) The formalist revolution of the 1950s. *Journal Of The History of Economic Thought*, 25(2).
- Borrill, P. L. ve Tesfatsion, L. (2010). Agent-sased modeling: The right mathematics for the social sciences? *Iowa State University Working Paper*, 10023.
- Bruno, B., Faggini, M. ve Parziale, A. (2016). Complexity modelling in economics: The state of the art. *Economic Thought*, 5(2), 29-43.
- Buchanan, M. (2009). Meltdown modelling. Could agent-based computer models prevent another financial crisis? *Nature* 460(7256), 680-682.
- Bucciarelli, E. ve Silvestri, M. (2013-2014). Hayman P. Minsky's Unortodox approach: Recent advances in simulation techniques to develop his theoretical assumptions. *Journal of Post Keynesian Economics*, 36(2), 299-324.
- Caiani, A., Godin, A., Caverzasi, E., Gallegati, M., Kinsella, S. ve Stiglitz, J. E. (2016). Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 69, 375–408.
- Cedrini, M. ve Fontana, M.(2017). Just another Niche in the wall? How specialization is changing the face of mainstream economics. *Cambridge Journal of Economics*, 1-25.
- Chen, S-H. (2012). Varieties of agents in agent-based computational economics: A historical and An interdisciplinary perspective. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 36, 1–25.
- Chen, S-H. (2015). *Agent-based computational economics: How the idea originated and where it is going*. London: Routledge.
- Chen, S-H. (2017). Agent-based modelling as a foundation for big data. *Journal of Economic Methodology*, October.
- Cogliano, F. (2012). *An agent-based approach to classical-Marxian value theory and labor mobility*. <http://www.jonathancogliano.com/Cogliano%20-%20Agent-Based%20Approach%20to%20Value%20Theory.pdf> adresinden erişim sağlandı.
- Cogliano, F. ve Jiang, X. (2013). Agent-based computational economics: Simulation tools for heterodox research. F. S. Lee ve B. Cronin (Ed.), *Handbook of Research Methods and Applications in Heterodox Economics* (ss. 253-272). Massachusetts: Edward Elgar.
- Colander, D. (2003). The complexity revolution and the future of economics. *Middlebury College DP*, 03-04.
- Colander, D. (2008). Complexity and the history of economic thought. *Middlebury College, DP*, 08-04.

- Colander, D. (2015). Complexity and workday economic policy, David S. Wilson ve Alan Kirman (Ed.), *Complexity and Evolution Toward a New Synthesis for Economics*. Strüngmann Forum Reports (ss.285-298). London: MIT Press.
- Colander, D., Holt, R. ve Rosser, B. (2004). The changing face of mainstream economics. *Review of Political Economy* 16(4), 485-499.
- Colander, D. ve Kupers, R. (2014). *Complexity and the art of public policy*. New Jersey: Princeton University Press.
- Colp, R. (1974). The contacts between Karl Marx and Charles Darwin. *Journal of the History of Ideas*, 35(2), 329-338.
- Darnell, A.C. (1990). The life and economic thought of Harold Hotelling. A.C.Darnell (Ed.), *The Collected Economics Articles of Harold Hotelling* içinde. Springer.
- Davanzati, G. F. ve Pacella, A. (2014). Thorstein veblen on credit and economic crises. *Cambridge Journal of Economics*, 38, 1043-1061.
- Davis, J. (2017). *Agent-based modeling's open methodology approach: Simulation, reflexivity, and abduction*. Eylül. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3031223 adresinden erişildi.
- D'Orazio, P. (2017). Big data and complexity: Is macroeconomics heading toward a new paradigm? *Journal of Economic Methodology*, 24(4), 410-429.
- Durlauf, S.N. (2012). Complexity, economics and public policy. *Politics, Philosophy and Economics*, 11(1), 45-75.
- Elsner, W. (2015). Policy implications of economic complexity and complexity economics. *MPRA Paper*, 63252.
- Eren, E. (2017). Neoklasik iktisat liberal düşüncenin iktisadı mıdır? *İktisat ve Toplum Dergisi*, 83.
- Eren, E., Eser, R. ve Kırer, H. (2011). Kompleksite iktisadı ve ekonofizik. M. Kaymak ve A. Şahinöz (Ed.), *Darwin ve Evrimsel İktisat Sempozyumu* içinde, 19-20 Kasım 2009. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Eren, E. ve Öğüt, K. (2009). Matematik ve fizik etkileşimi çerçevesinde yerleşik iktisadın değişimi ve "yeni iktisat". *Yönetim ve Ekonomi Bilimleri Konferansı*, 24-25 Eylül.
- Fagiola, G. ve Roventini, A. (2008). On the scientific status of economic policy: A tale of alternatives. *Sant'Anna School of Advances Studies Working Paper*.
- Fagiolo, G. ve Roventini, A. (2012). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models. J. L. Gaffard ve M. Napoletano (Ed.), *Agent-Based Models and Economic Policy*. OFCE.

- Fagiolo, G. ve Roventini, A. (2016). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *OFCE, Sciences 2016-11*.
- Fagiolo, G. ve Roventini, A. (2017). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *JASSS, 20(1)*.
- Fiori, S. (2011). Forms of bounded rationality: The reception and redefinition of Herbert A. Simon's perspective. *Review of Political Economy, 23(4)*, 587-612.
- Flanders, M. J. (2015). It's not a Minsky moment, it's a Minsky era, or: Inevitable instability. *Econ Journal Watch, 12(1)*,84-105.
- Fontana, M. (2008). The complexity approach to economics: A paradigm shift. *CESMEP, Working Paper*.
- Fontana, M. Ve Terna, P. (2015). From agent-based models to network analysis (and return): The policy makers perspective. *Research Center in Behavioral, Complexity and Experimental Economics, Working Paper, 1*.
- Frey, B. S. (2017). Reactivity in economic science. *CESifo Working Paper, 6593*.
- Grabner, C. (2015). Agent-based computational models – A formal heuristic for institutionalist pattern modelling? *Annual Meeting of the AFEE, January 3, 2015*.
- Gräbner, C. (2016a). Agent-based computational models – A formal heuristic for institutionalist pattern modelling? *Journal of Institutional Economics 1(12)*, 241-261.
- Gräbner, C. (2016b). The complementary relationship between institutional and complexity economics: The example of deep mechanistic explanations. *MPRA Paper No. 75636* <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/75636/>
- Heise, A. (2016). Whither economic complexity? A new heterodox economic paradigm or just another variation within the mainstream? *University of Hamburg, Centre for Economic and Sociological Studies, Discussion Papers, Zentrum für Ökonomische und Soziologische Studien, 58*, <http://hdl.handle.net/10419/148602>.
- Henry, J. F. (2010). Minsky, Marx, Veblen and Chicago. *Levy Economics. Minsky Summer School*.
- Hodgson, G. M. (1993). The Mecca of Alfred Marshall. *The Economic Journal, 103(417)*, 406-415.
- Hodgson, G. M. (1993). The Mecca of Alfred Marshall. *The Economic Journal, 103(417)*, 406-415.
- Hodgson, G. M. (2007). Evolutionary and institutional economics as the new mainstream? *Evol. Inst. Econ. Rev. 4(1)*, 7-25

- Hodgson, G. M. ve Huang, K. (2012). Evolutionary game theory and evolutionary economics: are they different species? *J Evol Econ*, 012 (22), 345–366.
- Kirman, A. (2012). Can artificial economies help us understand real economies. J. L.Gaffard ve M. Napoletano (Ed.), *Agent-Based Models and Economic Policy*, OFCE.
- Kirman, A. (2016). Complexity and economic policy: A paradigm shift or a change in perspective? A review essay on david colander and roland Kupers' complexity and art of public policy. *Journal of Economic Literature*, 54(2), 534-572.
- Kupers, R. (2014). *The complexity frame for policy and management: Introductory tome*. Doktora tezi, Nyenrode Business Universiteit.
- Lash. S. ve Dragos, B. (2016). An interview with philip mirowski, theory. *Culture & Society*, 0(0), 1–18.
- Martins, N. (2015). Veblen, sen and the formalization of evolutionary theory. *Journal of Economic Issues*, 49(39), 649-668.
- Marshall, A. (2013). [1890,1920] *Principles of Economics*, (8. bs. 1920'den yeniden baskı). Palgrave Macmillian.
- Menger, M. (1892). On the origins of money. *Economic Journal*, 239–55. <https://mises.org/library/origins-money-0>.
- Milonakis, D. (2017). Formalising economics: Social change, values, mechanics and mathematics in economic discourse. *Cambridge Journal of Economics*, 41, 1367–1390.
- Mirowski, P. (2010). Inherent vice: Minsky, Markomata, and the tendency of markets to undermine themselves. *Journal of Institutional Economics*, 6(4), 415 – 443.
- Montgomery, M. R. (2000). Complexity theory: An Austrian perspective. D. Colander, (Ed.), *Complexity and History of Economic Thought* (ss. 227–240), Routledge.
- Oeffner, M. (2008). *Agent-based Keynesian macroeconomics; an evolutionary model embedded in an agent-based computer simulation*. Doktora tezi, Universitat Wurzburg.
- Pilkington, P. (2016). *The reformation in economics: A deconstruction and reconstruction of economic theory*. Palgrave.
- Robert, V., Yoguel, G. ve Lerena, O. (2017). The ontology of complexity and the neo-schumpeterian evolutionary theory of economic change. *Journal of Evolutionary Economics*, 27, 761–793.
- Roos, Michael W. M. (2015). The macroeconomics of radical uncertainty. *Ruhr Economic Papers*, 592.
- Rosser, J. B. (2003). Complexity in economics. <http://cob.jmu.edu/rosserjb>.

- Rosser, J. B. (2006) Complex dynamics and post keynesian economics. M. Setterfield (Ed.), *Complexity, Endogenous Money and Macroeconomic Theory* (ss. 74-98). Edward Elgar.
- Rosser, J. B. (2008). *Computational and dynamic complexity in economics*. <http://cob.jmu.edu/rosserjb>.
- Safarzyńska, K. ve Van Den Bergh, J. C. J. M. (2010). Evolutionary models in economics: A survey of methods and building blocks. *Journal of Evolutionary Economics*, 20, 329–373.
- Safarzyńska, K., Brouwer, R., Hofkes, M. (2013). Evolutionary modelling of the macro-economic impacts of catastrophic flood events, ecological economics. *Ecological Economics*, 88, 108–118.
- Setterfield, M. ve Budd, A. (2010). Keynes-Kalecki model of cyclical growth with agent-Based features. *Trinity College Department of Economics Working Paper*, 10-08.
- Simpson, D. (2013). *The Rediscovery of Classical Economics*. Edward Elgar.
- Skousen, M. (2005). *Modern İktisadın İnşası*. Adres Yayınları.
- Stumberg, J. P. (2016). Returning to holism: An imperative for the twenty-first century. J. P. Stumberg (Ed.), *The Value of Systems and Complexity Sciences for Healthcare* (3-19). Springer.
- Tesfatsion, L. S. (2005). *Agent-based computational modelling and macroeconomics*. ISU, Working Paper, 05023.
- Turrell, A. (2016). *Agent-based models: understanding the economy from the bottom up*. <https://issuu.com/bankofengland/docs/qb16q4article2?e=22693371/42014246>.
- Valentinov, V. (2015). From equilibrium to autopoiesis: A luhmannian reading of veblenian evolutionary economics. *Economic Systems*, 39, 143-155.
- Veblen, T. (1898). Why is economics not an evolutionary science? *Quarterly Journal of Economics*, 12(4), 373-397.
- Velupillai, K. V. (2012). Non-linear dynamics, complexity and randomness: Algorithmic foundations. S. Zambelli ve D. A. R. George (Ed.), *Nonlinearity, Complexity and Randomness in Economics: Towards Algorithmic Foundations for Economics*. Wiley-Blackwell.
- Vriend, N. J. (2002). Was hayek an ACE? *Southern Economic Journal*, 68(4), 811-840, <http://ciclamino.dibe.unige.it/wehia/papers/vriend.pdf>.
- Weintraub, E. R. (2002). *How Economics Became a Mathematical Science*. Duke University Press.
- Weintraub, E. R. (2016). McCarthyism and the mathematization of economics. *CHOPE Working Paper*, 18. Duke University.