

PAPER DETAILS

TITLE: AJAN TABANLI MODELLEME VE HESAPLAMALI İKTİSAT - AGENT-BASED MODELLING
AND COMPUTATIONAL ECONOMICS

AUTHORS: Emrah KELES,Ercan EREN

PAGES: 197-219

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/165869>

AJAN TABANLI MODELLEME VE HESAPLAMALI İKTİSAT

Emrah KELEŞ*
Ercan EREN**

Özet

Rasyonellik ve homojenlik varsayımları ile iktisadi ajanlar arasındaki etkileşimi göz ardı eden temsili ajan yaklaşımı, dinamik stokastik genel denge modellerine dayanan yerleşik iktisada duyulan güvenin azalmasına yol açmıştır. 1990'ların sonlarından itibaren ajan tabanlı hesaplamalı yaklaşım finansal iktisat, endüstriyel organizasyon, makro iktisat, politik iktisat ve iktidadi ağ oluşumu başta olmak üzere sosyal bilimlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Son olarak 2008 küresel finansal kriz yerleşik, iktisadın daha yüksek sesle tartışılmasına ve ajan tabanlı yaklaşımın daha çok benimsenmesine neden olmuştur. Bu yeni yaklaşım araştırmacılara pasif haldeki fiziksel varlıklardan durumları, inanışları ve davranış kuralları olan aktif karar alıcılara kadar çeşitli ajanların bulunduğu yapay bir dünya kurmalarına imkân vermektedir. Bu yapay dünyalarda ajanların birbirleriyle ya da çevreleriyle etkileşimi onların adaptif (uyarlanabilir) olmasına ve kompleks adaptif bir sistem meydana getirmelerine izin vermektedir. Bu çalışmada, ajan tabanlı yaklaşımın temel unsurlarının incelenmesi ve DSGE modellerine göre üstünlüklerinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ajan Tabanlı Modelleme, Ajan Tabanlı Hesaplamalı İktisat, Heterojen Etkileşen Ajanlar

AGENT-BASED MODELLING AND COMPUTATIONAL ECONOMICS

Abstract

Assumptions of rationality and homogeneity, and framework of representative agent that rule out interactions between agents have led to a decline in confidence to mainstream economics based on dynamic stochastic equilibrium models. Starting from late 1990s, agent-based computational approach has become increasingly popular in social sciences, especially in financial economics, industrial organization, macro-economics, political economy, and economic network formation. Finally, 2008 global financial crisis has caused mainstream to be argued loudly and agent-based approach to be adopted more. This new approach enables researchers to construct artificial worlds where various agents ranging from passive entities to ac-

* Marmara Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Arş. Gör.

** Yıldız Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Öğretim Üyesi, Prof. Dr.

tive decision makers who have beliefs, states and rules of behavior. In these artificial worlds, interactions of agents with each other and their environments let agents be adaptive (learning) and create a complex adaptive system. This study aims to examine the main dynamics of agent-based approach and its advantages compared to DSGE models.

Keywords: Agent-Based Modelling, Agent-Based Computational Economics, Heterogeneous Interacting Agents

1. Giriş

İktisatçılar yüzyıllardır iktisadi sistemleri uygun bir şekilde analiz etmenin yollarını aramaktadır. İktisadi problemler için doğru reçeteleri hazırlamak amacıyla fizik biliminin çeşitli modellerinden uyarlamalar yapılmıştır. İktisatçıların fizik bilimine olan ilgileri, iktisadi Newton makineleri gibi görmelerine sebep olmuştur. Karmaşık matematik analizlerinden analitik sonuçlar çıkarmak zor olduğu için iktisatçılar varsayım yapmanın güzelliğini keşfetmiştir. “Ceteris Paribus” (diğer tüm durumlar sabitken) araştırmacılara dünyayı sabit varsayma ve tahminler yapma imkanı veren en eski esaslardan biridir. Genel denge yaklaşımı ise neoklasik iktisatçılar arasında yaygınlaşmıştır. Keynesçi ve Monetarist iktisatçıların makro iktisadi değişkenlere daha fazla önem vermesinden sonra, yeni neoklasik sentezci iktisatçılar tarafından kullanılan Dinamik Stokastik Genel Denge (DSGE) modelleri makro iktisadın mikro temellerine önem vermiştir. Bireyleri dikkate alan temsili ajan yaklaşımı da DSGE modellerinin aracı haline gelmiştir.

Bununla birlikte, bir bireyin bütün ekonomiyi temsil ettiği ve ekonominin bu bireylerin “n” sayıdaki temsili olduğu varsayımı bu modellerin gerçek dünya sonuçları ile farklılık göstermesine yol açmaktadır.

Ajanlar arasındaki etkileşimleri ihmal eden modeller gerçek dünyanın unsurlarını anlamaktan yoksundur. Aslında iktisadi sistemler, ajanların bulunduğu kompleks ve adaptif sistemlerdir. Bu ajanlar fiziksel varlıklardan, bireylere, firmalara, bankalara, hükümetlere ve ülkelere uzanmakta olup, birbirleri ve çevreleriyle etkileşmekte ve dinamik bir dünya oluşturmaktadır.

Fizik bilim adamları da, çeşitli istatistiki verilere sahip kompleks iktisadi modellerden etkilenmiştir. Özellikle finansal modeller (örneğin döviz kuru piyasalarında kullanılan modeller), belirli düzenleyicilerin ortaya çıkmasına yol açan çok sayıda etkileşen parça içermektedir. İktisadi sistemler ile fiziksel sistemler birbirine benzese dahi farklılıklar içermektedir. Fiziksel sistemlerdeki “birimin” aksine, iktisadi ve finansal sistemlerdeki “ajan” öğrenebilmekte ve daha kompleks yollarla birbirleri ve çevreleriyle etkileşebilmektedir.

Ajan tabanlı hesaplamalı iktisat (kısaca ACE) ise kompleks sistemlerden yararlanmakta ve yerleşik iktisadın katı varsayımlarını göz ardı etmektedir. Genellikle DSGE modellerinin kullanıldığı yerleşik iktisadın aksine, ACE araştırmacıların gerçek dünya sonuçlarına daha yakın tahminler yapmasına imkan vermektedir. Bu öncül yaklaşımda kullanılan ajan tabanlı modeller,

ajanların inanışlarının olduğu, zamanla değişebilen bu inanışlarına göre etkileştiği, öğrendiği ve çevrelerine uyum sağladığı suni dünyalar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, ilk olarak kompleksite ve kompleks sistemler hakkında genel bilgiler verilmiş, bir sonraki kısımda ajan tabanlı iktisadın makro yönü anlatılmaya ve yerleşik iktisat ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Sonraki bölümde de ACE'nin temel unsurları, üstünlükleri ve eksikliklerinden bahsedilmiştir.

2. Kompleksite ve Yeni İktisat

Eren' e göre [1], neoklasik iktisatta fizikçi, mühendis ve matematikçi iktisatçıların etkisi yüksektir. Mühendis W. Pareto “gelirin %80'i nüfusun %20 sine aittir kuralı” olarak bilinen güç yasalarını, klasik fizik eğitimi alan P. Samuelson optimizasyon tekniklerinin iktisada uygulanmasını, Arrow-Debreu ve Nash gibi bilim adamları da matematik kullanımı ile denge kavramını iktisada yerleştirmiştir.

İktisatta yerleşik modeller 1870'lerdeki¹ neoklasik devrime dayanmakta olup Jevon, Walras ve Fisher gibi neoklasik iktisatçılar iktisadi sistemleri analiz etmek için matematiksel fiziğe dayalı yöntemler kullanmıştır. Geçici şokların sürekli etkiye sahip olmadığı bu yöntemlerde dengeden uzaklaşan iktisadi sistemler tekrar eski dengesini bulmaktadır [2].

Heterojen ajanlar, doğrusal olmama, rassallık, stokastik (olasılıklı) kavramları son yıllarda iktisatta kullanılan bazı kavramlardır. Bu gelişmeler finansal iktisattan başlayarak iktisat üzerinde etkili olmaktadır [3].

Yeni (modern) iktisatta kompleksite kuramı ve bilgisayar simülasyonları önemli hale gelmektedir. Kompleksite iktisadi ile açıklanan bu yaklaşımda patika bağımlılığı, doğrusal olmama, sınırlı rasyonellik, birbirini etkileme, heterojen bireyler, öğrenme ve adaptasyon, dengesizlik ve çoklu denge, dengenin kararsızlığı, rastlantı, tesadüflük, dinamik, kompleksite, artan getiri, oyun kuramı gibi çok sayıda kavram gelişmiştir. Ayrıca tümevarım yönteminin kullanımında artış vardır. Bu gelişmelerin önemli bir kısmı matematik, fizik ve biyolojideki gelişmelerin iktisatta yeni yansımasıdır. Bir başka ifade ile “yeni” matematik, “yeni” fizik, “yeni” biyoloji, “yeni” iktisadın temelidir. Bu gelişmeler, yeni iktisatta çoğulculuk anlamına da gelmektedir. [4]

İktisadi zaman serileri (örneğin, hisse senedi fiyatları, hisse senedi piyasası göstergeleri yada döviz kurları) çok sayıda etkileşen sistemlerin varlığına bağlı olup, kompleks sistemler sınıfında yer almaktadır [5]. Bu yüzden finansal piyasaların istatistiki özellikleri birçok fizik bilim adamının ilgisini çekmiştir [6]. Yakın geçmişteki çalışmalar bu özellikleri ortaya çıkarmaya ve açıklamaya çalışmaktadır [7].

Kompleksite bilimi, 1980'lerde ve 1990'larda bilim adamlarının ortak katkısı ile ortaya çıkmış olup, aslında hücre, beyin, dil bilimi, piyasa ekonomisi gibi birçok farklı alandaki çalışmaların

¹ Schumpeter, klasik iktisat dönemini Ricardo ile başlatır ve bu dönemi 1790-1879 periyodu olarak ele alır. Ancak birçok yazar klasik dönemin başlangıcı olarak 1870 yılını almaktadır.

konusu olan kompleks sistemlerin ortak özellikleri olduğunu göstermektedir. Bu nedenle de çalışmaların odağı makro düzeyden mikro düzeye kaymıştır. “Aşağıdan yukarıya” (bottom up) yaklaşımında bireysel büyüklüklerin toplanması ile makro iktisadi değişkenler oluşturulabilmektedir. Heterojen etkileşen ajanlardan oluşan kompleks yapılar da aynı zamanda bu makro değişkenlerin kompleks dinamiklerini üretmektedir [8]. Suyun kendisini oluşturan hidrojen ve oksijen atomlarından farklı özelliklere sahip olması gibi mikro iktisadi sistemlere dayanan makro iktisadi sistemler yeni ve farklı özelliklere sahip olabilmektedir [9].

Günümüzde kompleks sistemlerin çeşitli tanımları yapılmaktadır. Rickles'e göre [10];

- Bir (birim) kompleks sistemin birçok alt birim (kesin sayısı belirsiz olmakla beraber) içermesi gerekmektedir.
- Bu alt birimler birbirinden bağımsız olmalıdır (en azından bazı dönemlerde).
- Alt birimler arasındaki etkileşimler doğrusal olmamalıdır (en azından bazı dönemlerde).

Tesfatsion [11] ise bir sistemin kompleks olabilmesini aşağıdaki iki özelliği göstermesi ile ilişkilendirmektedir:

- Sistem etkileşen birimlerden oluşması
- Sistem birimlerin kendinde bulunmayan ancak birbirleriyle etkileşimleri sonucu ortaya çıkan yeni özellikler göstermesi

Kompleks sistem yapıları genellikle literatürde Kompleks Adaptif Sistem olarak sıkça ifade edilen adaptif ajanlarla bağdaştırılmaktadır [3].

Kompleks sistemlerin analitik çözümleri bulunmamaktadır. Bilgisayarların gelişimi ile kompleksite iktisadının gelişimi arasında yakın ilişki bulunmaktadır. Colander (2003) artan bilgisayar gücüyle birlikte analitik çözüm ihtiyacının azaldığını, verilerden bilgi etme imkânının ise arttığını savunmaktadır. Yazara göre, bu gelişmeler ile analitik tümünden gelim teorisinin önemi azalmıştır [12]. Bilgisayar bilimi ile ajan tabanlı modeller uygulanabilmekte, simülasyonlarla çıkarsama yapma ihtiyacı azalmaktadır.

1984 yılında Santa Fe Enstitüsünün kurulması kompleksite iktisadının gelişimini hızlandırmıştır [4]. Kompleksite ve iktisat araştırmalarının yapıldığı Santa Fe Enstitüsünde 1987 yılında 10 iktisat ve 10 fizik bilim insanının katıldığı ve 10 gün süren çalıştayda iktisada yeni bir yaklaşım getirildiğine inanılmaktadır. Santa Fe Yaklaşımı olarak adlandırılan bu yaklaşımda neoklasik görüşte yer alan azalan getiriler, statik denge ve kusursuz rasyonellik yerine enstitünün artan getiriler, sınırlı rasyonellik ile evrim ve öğrenmeye önem vereceği vurgulanmıştır. Ekonomiyi bir Newton makinesi yerine organik, adaptif, şaşırtıcı ve canlı olarak göreceği vurgulanmıştır [13].

Kompleksite teorisi genel dengeye dayalı neo-klasik yerleşik iktisat teorisine bir alternatif olarak ortaya çıkan son akımdır [14].

Tablo 1: Kompleksite İktisadı ile Geleneksel İktisat Arasındaki Farklılıklar

	Kompleksite İktisadı	Geleneksel İktisat
Dinamik	Dengeden uzak, açık, dinamik, doğrusal olmayan sistemler	Dengede kapalı, statik, doğrusal sistemler
Ajanlar	Ajanlar bireysel olarak modellenir; karar almak için tümevarımcı göz kararını (tahminen) uygular; hatalar ve önyargılara uyarlıdır; öğrenir ve adapte olur.	Ortaklaşa modellenir; karar almak için tümünden gelimci hesaplamalar yapar; tam bilgiye sahiptir; hatalar yapmaz ve önyargıları yoktur; öğrenmeye ve adaptasyona ihtiyacı yoktur (mükemmeldir).
Ağlar	Bireyler arasında birbirini etkileyen ağlar açık olarak modellenir; ilişkiler ağı zamanla değişir.	Ajanlar piyasa mekanizmaları (örneğin müzayedeler) ile dolaylı olarak etkileşim içindedirler.
Oluşum	Mikro ve makro iktisat arasında fark ortaya çıkmaz; makro kalıplar, mikro düzey davranışlar ve birbirini etkilemelerin sonucunda oluşur.	Mikro ve makro iktisat ayrı disiplinler olarak kalır.
Evrin	Farklılaştırma, seçim ve güç kazanmanın evrimci süreci yeniliğe sahip sistemi sağlar; aynı süreç büyüme ve kompleksiteden sorumludur.	İçsel olarak yeniliğin yaratılması, büyüme ve kompleksite için mekanizma yoktur.

Kompleksite, ekonominin deterministik, öngörülebilir ve mekanistik olmadığını söyler. Ekonomi süreç bağımlı, organik ve her zaman evrilmektedir. Kompleksite iktisadı ve geleneksel iktisat ayrımı Tablo 1’de gösterilmektedir [1]. Tabloda görüldüğü üzere temsili ajan, genel denge, rasyonel beklentiler gibi çeşitli varsayımları yerine kompleksite iktisadı gerçek dünyadaki sonuçlara daha yakın tahminler yapılmasını sağlayan daha gerçekçi temeller üzerine inşa edilmektedir.

2.1. Yerleşik İktisada Yönelik Eleştiriler

1950’lerde neoklasik sentez geleneksel akıl haline gelmiştir. Neoklasik denge, kısa dönem dalgalanmalarını açıklayan Keynesçi IS-LM modelleri ile birlikte makro iktisadi sistemlerin uzun dönem durumlarını açıklamak için kullanılmıştır. Monetarist görüşlerin etkisiyle ortaya çıkan ihtilaflar sonucunda temeli mikro iktisadi analizlere dayanan bir DSGE dengesi çevresinde yeni bir konsensüs sağlanmıştır. Kısa dönem Keynesyen özellikleri sabit fiyat anlaşmalarından kaynaklanırken, şoklardan sonra neoklasik çıktı ve istihdam düzeyi hemen eski konumuna dönmektedir. Küresel kriz öncesi birçok bakanlık ve merkez bankası politikalarını bu tür modellere göre yönetmiştir [2]. Birbiriyle çatışan Reel Konjonktür Dalgalanmaları (Real Business

Cycle yada kısaca RBC) yaklaşımı ve Yeni Keynesyen paradigmasının ortaya çıkardığı “Yeni Neoklasik Sentez” paradigmasında kullanılan standart model tekeli rekabet, nominal eksiklikler ve parasal bir politika kuralına sahip bir RBC DSGE modelidir. [15]

DSGE modelleri yerleşik iktisatta yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen bu modellere yönelik eleştiriler de oldukça fazladır. Özellikle temsili ajan çatısı, rasyonel beklentiler ve tam rekabet varsayımları bu eleştirilerin odağında yer almaktadır. Stiglitz ve Gallegati’ye göre [9], temsili ajan yaklaşımına dayanan DSGE modelleri varsayımlar yaparak temel makro iktisat etkileşimlerini dışlamaktadır. Yine bu modeller, işsizlik yada likidite krizinin olamayacağı sonucuna varmakta ve krizde açıkça görünen borçlanma ağlarının yapısı ve bankalar arası ilişkiler hakkında fikir verememektedir.

DSGE modelleri standart rekabetçi denge teorisinin piyasa dengesi bağlamında dönemler arası fayda maksimizasyonu sürecine dayanmaktadır. Lucas’tan Prescott’a ve Woodford’a son çeyrek yüzyıldaki makro iktisatçılar, stokastik dönemler arası genel denge teorisine güçlü bir şekilde bağlı kalmışlardır [16].

Merkez bankaların neredeyse tamamı tahmin ve politika analizi için logaritmik doğrusal tahmini aşağıdaki üç ileriye dönük eşitliğe indirgenebilen Yeni Keynesyen DSGE modeli kullanmaktadır. Bu eşitlikler;

$$\text{IS eğrisi: } y_t = E_t y_{t+1} - \left(\frac{1}{\sigma}\right) (i_t - E_t \pi_{t+1}) + \varepsilon_t^y$$

$$\text{Philips eğrisi: } \varphi_\pi \pi_t = \kappa y_t + \beta E_t \pi_{t+1} + \varepsilon_t^\pi$$

$$\beta < 1$$

$$\text{ve Taylor kuralı: } i_t = \varphi_y y_t + \varphi_\pi \pi_t + \varepsilon_t^i$$

$$\varphi_y > 0, \varphi_\pi > 1$$

Burada bilinmeyenler (y_t, π_t, i_t) çıktı açığı (reel çıktı ile doğal çıktı düzeyi arasındaki yüzdesel fark), enflasyon ve nominal faiz oranı; beklenti operatörü, E_t , t zaman bilgisine koşullu rasyonel beklentiyi ifade etmektedir. ε ’ler rassal şoklar olup, katsayıların hepsi $(\sigma, \beta, \varphi_y, \varphi_\pi, \kappa)$ pozitifdir [17]. β , *özel* bir indirim faktörüdür, κ ise marjinal maliyetin çıktı esnekliğine ve marjinal maliyet değişimleri karşısında fiyatları düzenleme hassaslığına bağlı olarak değişir. Rassal şok ε_t^π (yada u_t) genellikle maliyet-itme şoku olarak bilinmekte ve bu değişkenin varlığı enflasyonun sadece pozitif çıktı açığına değil aynı zamanda firmaların reel marjinal maliyetlerini etkileyen diğer faktörlere bağlı olduğu anlamına gelmektedir [15].

LM eğrisine ihtiyaç duymayan bu modellerde ileriye dönük rasyonel beklentiler yer almakta, politika değişiklikleri karşısında parametre ve şoklar değişmemektedir [17]. Beklentilerle genişletilmiş IS Eğrisi, bu modellerin derneşik talep bileşenlerini oluşturur. Sermaye piyasalarının kusursuz olduğu varsayımı ile IS eşitliği, mal piyasası denge koşulu ve temsili hane halkının Euler eşitliğinden oluşturulabilir. Geleneksel IS-LM eşitliğinde olduğu gibi IS eşitliği çıktı açığı ile faiz oranı açığı arasında negatif bir ilişkiyi ortaya koymaktadır [15].

Yeni Neoklasik Sentez modellerinde (DSGE modelleri) derneşik arzı Yeni Keynesyen Philips eğrisi göstermektedir. Bu eğri optimum fiyat belirleme tercihi, fiyat endeksi ve işgücü piyasası dengesinin logaritmik doğrusal kombinasyonundan elde edilebilmektedir.

İlk iki eşitlikteki bilinmeyenlerden (çıktı açığı, enflasyon ve nominal faiz oranı) nominal faiz oranı para politikası ile belirlenir. Taylor kuralı da merkez bankasının hedeflediği faiz oranının hesaplanmasına yardımcı olur. Dışsal şoklar ve para politikası tarafından üretilen dalgalanmalar küçük boyuttaysa ve Taylor kuralı geçerli ise DSGE modelinin rasyonel beklenti dengesinin varlığı ve yerel olarak belirliliği kanıtlanır. Ancak bu yerel denge makro düzeyde çoklu denge olasılığını ortadan kaldırmamaktadır [15].

Ajan tabanlı modeller de Taylor kuralını kullanmaktadır ancak kompleksiteyi içeren bu modeller yeni görüşler içermektedir. Çeşitli ajan tabanlı makro çalışmalarda Taylor kuralını kullanan ajan tabanlı modellerin bu kuralı uygulayan standart modellere göre para politikalarının daha başarılı olduğuna yönelik sonuçlar elde edilmiştir [15]. Gatti ve diğerleri (2005) firma, banka ve merkez bankasından oluşan modelinde merkez bankasının enflasyon ve çıktı açığını kontrol etmek için en etkin politikayı araştırmıştır. Merkez bankasının davranışı ise Taylor denklemi ile modellenmiştir. Parametreler önce sabit tutulmuş daha sonra genetik algoritmaya dayalı stokastik bir öğrenme süreci izlenerek parametreler değişmiştir. Sabit parametre durumuna göre adaptif olan ikinci strateji hedeflere daha çok yaklaşmıştır. Enflasyonun çıktı değişimleri ile ilişkisi yani Phillips Eğrisinin şekli karşısındaki alternatiflere Taylor kuralının bu şekilde dirençli olmadığını ortaya koymuştur [18].

Makro iktisadi analizin mikro iktisat teorisinde kurulması gerekirken, uygulamada DSGE modelleri bütçe kısıtına bağlı fayda fonksiyonunu ve bir derneşik (toplam, toplu) üretim fonksiyonuna bağlı eşanlı kar maksimizasyonu yapan bir temsili ajan bulma yoluna gitmiştir. Böyle bir varsayım ise iktisadi ajanların önemli konularda farklılık gösterdiği ve modelin güçlü mikro temellere sahip olmadığı gerçeğine aykırı olmaktadır. Makro iktisadi çalışmaların neredeyse tamamında DSGE metodolojisi kullanılmaktadır. Bu teoriye göre ekonomi yetenekler, üretim ve işlem teknolojileri, tercihler ve demografi gibi açık mikro temellere ve aynı zamanda bu bileşenlere yönelik şokları oluşturan açık rassal süreçlere sahip bir modelle temsil edilmeli; yine ekonomi daima bir rasyonel beklentiler dengesinde bulunmalıdır [17].

Yerleşik iktisat genellikle işlevsel ilişkileri doğrusallaştırma hilesine başvurmakta, hatta iktisadi ajanların aynı olup birbirleriyle etkileşmediğini varsaymaktadır. Bu şekilde de herhangi bir iktisadi sistem, her biri temsili ajanın bir kopyası olan birkaç türdeş ve birbirinden ayrılmış bileşenden oluşmuş şekilde kavramsallaştırılabilmektedir. Derneşik çözüm de bu yüzden her bir ajanın seçiminin basitçe n sayıdaki kopyası yoluyla elde edilebilmektedir. Buradan hareketle derneşikleştirme probleminin kilit noktası, iktisadi birimlerin en uygun seçimini temsil eden mikro eşitliklerin oluşturduğu makro eşitliklerin kendisini oluşturanlarla aynı işlevsel forma sahip olmasına şüpheyle bakılması ve makro teori türetmede yaşanan sorundur [8].

Kirman (1992) temsili ajanların bazı merkezi makro iktisadi problemleri çözmek için tasarlandığı savını dört nedenden dolayı reddetmektedir. Birincisi, bireysel ve toplu davranışlar arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır. İkincisi, orijinal modelin bir parametresindeki

değişikliklere temsili ajanın verdiği tepki ile temsil edilen bireylerin derneşik tepkisi farklı olabilmektedir. Üçüncüsü, seçimleri derneşik seçim ile örtüşen durumlarda temsili birey faydayı ençoklamış olur. Son olarak, basit ve iktisadi açıdan makul bireylerin davranışlarının toplamı karmaşık dinamikler yaratabilmekteyken, bu dinamiklere sahip bir birey kurgulamak o bireyin anormal özelliklere sahip olmasına yol açabilmektedir [19].

Finansal piyasalar açısından da temsili ajana yönelik eleştiriler yapılmaktadır. Bunlardan ilki ve en önemlisi, makro iktisadi dalgalanmaları arttıran şokların ajanlar karşısında tekdüze olmasıdır. Ancak finansal ağlarda farklı bireyleri farklı şekilde etkileyen şoklar (özellikle ağır kritik noktalarını etkiliyorsa) bireyler birlikteyken (toplu) genelde sıfırlanmaz. Bununla birlikte, bir finansal rahatsızlık mikro iktisadın farklı bölümlerinde farklı hızlarda ilerler ve temsili ajan yaklaşımı bu gerçeği yansıtmamaktadır. Bir diğer eleştiri ise bir kredi ağındaki bir firmada (banka) yaşanan iflas gibi bir şokun çıkış gibi iflas dalgasına yol açabilecek olmasıdır [9].

Gatti ve diğerleri [8] derneşik kavramının temsili ajanın aksine bireylerin kendiliğinden etkileşimleri sonucu ortaya çıktığını, makro düzeydeki düzenleyicilerin ve yasaların mikro boyuttaki davranışlardan ortaya çıktığını savunmaktadır. Yazarlara göre etkileşim ve derneşiklik ortadan kaldırılırsa mikro iktisat ile makro iktisat arasında bir fark olmayacaktır. İşte makro iktisatçıların farkına varamadığı nokta da yazarlara göre heterojen (birbirinden farklı) bireylerin etkileşimi söz konusu olduğunda doğru derneşikleştirme yönteminin bir toplama işlemi olmadığıdır.

ACE yöntemi bazı noktalarda DSGE'nin tam tersidir. DSGE, insanların oldukça basit bir çevrede, dönemler arası planlama problemlerini oldukça gelişmiş bir yetenek ile çözdüğü varsaymaktadır. Buna karşın, ACE yaklaşımı insanların anlayamayacağı kadar karmaşık bir çevreyle başa çıkmada çok basit davranış kurallarına sahip olduğunu varsaymaktadır. Bu yaklaşımda sosyal davranışlar, farklı ajanlar arasındaki etkileşimlerin bir özelliği olarak ortaya çıkmakta ve sistemin nasıl çalıştığını bu ajanlardan hiçbirini anlamamaktadır. Bu bakımdan ACE, bir iktisadi sistemi insanlardan oluşan bir karınca yuvası gibi tarif etmektedir [17].

2.2 2008 Krizi Sonrası Ajan Tabanlı Yaklaşımın Yükselişi

Krizler ve durgunluklar mevcut teorik altyapının yetersizliğini ortaya koyarak iktisadi analiz için doğal bir deney olarak ortaya çıkmaktadır. Küresel kriz ve sonrasındaki durgunlukta da yerleşik DSGE tabanlı makro iktisadın yeterli donanıma sahip olmadığı fikri ortaya çıkmıştır. Hatta bazıları Ortodoks makro iktisadın sadece kriz tahmininde değil, bu tür olayların olasılığını kabul etmeyip, ekonomiyi istikrarlı büyüme yoluna sokmak için yararlı bir önerisinin bulunmadığını ortaya koymuştur. Mantıksal tutarsızlığı, veriyi elde ediş biçimi, gerçeği ne kadar elde ettiği ve varsayımlarının ne kadar gerçek olduğu gibi konulardan kaynaklanan önemli problemlere sahip DSGE modelleri kriz sonrasında daha da sorgulanır olmuştur [15]

Farmer ve Foley, ABD ve uluslararası ekonomi birimlerinin kullandığı enstrümanların zayıflığına dikkat çekmektedir. Yazarlara göre bu birimlerin kullandığı iki model türü de ciddi eksikliklere sahiptir. Ekonometrik modellerde ancak büyük değişiklik olmadığı sürece birkaç çeyrek başarılı tahmin yapılabilmektedir. Diğer bir tür olan DSGE modelleri ise yaşanmakta olan

krizleri yapıları gereği dışlayarak kusursuz bir dünya varsayımında bulunmaktadır [20]. Eren ve diğerleri (2009) bu durumu yerleşik iktisatta şokların dışsal olmasına bağlamaktadır. Yazara göre krizlerin nedeni dışsal şoklardır ve kompleksite iktisadı ve ajan tabanlı iktisat modellerinde krizler içselleştirilebilmektedir [3].

Temsili ajan modeline dayanan iktisat teorisi kısaca finansal krizler, iflaslar, domino etkileri, sistematik risk ve herhangi genel bir sorun hakkında hiçbir şey söylememektedir. Kontrol altındaki enflasyonda en gelişmiş para teorilerinin en iyi uygulamalarını takip ve ekonomik istikrarı temin ettikleri kanısı ile avunan politika yapıcılarını finansal yapının daha önemli konularını önemsememiştir [9].

Ampirik olarak DSGE modelleri ekonomik krizlerin ortaya çıkmasını açıklayamamaktadır. Makro iktisadi zaman serilerinin dağılımı kalın kuyruklu olmasına rağmen DSGE modelleri daha ince kuyruklu zaman serisi dağılımları üretmektedir. Aynı zamanda DSGE modelleri, şokların normal dağıldığını varsaymaktadır. Ajanların bütün bilgilere sahip olduğu varsayımı bütün ekonominin dengesi için varsayımken, küresel kriz sonrası durgunluktaki gibi yapısal kırılmaların varlığında ajanların öğrenme süreçleri sisteme daha fazla durağan olmayan durum eklemekte bu da ekonominin bir denge noktasına ulaşmasını engellemektedir [15].

Fagiolo ve Roventin, A. (2008) DSGE modellerine göre ajan tabanlı modellerin para politikaları ve mali politikalar için daha uygun olduğunu savunmaktadır. Yazarlara göre, DSGE modelleri en iyi para politikasını aramakta olup, mevcut küresel durgunluk para politikasının tek başına ekonomileri rayına sokmak için yeterli olmayacağını göstermiştir. Ajan tabanlı modeller para politikalarının sınırlarını, etkilerini belirlemek ve DSGE modellerinin sonuçları ile karşılaştırmak için kullanılabilir. Küresel durgunluk iktisadi açıdan sıkıntılı dönemi atlatmak için mali politikaları kullanmak üzere faizleri yükseltmiştir. Ajan tabanlı modellerin DSGE modellerine göre avantajlarından biri de kısa ve uzun dönem mali politikaların ortak etkisini inceleyebilme şansı vermesidir [21].

Küresel krizde belirgin hale gelen finansal ağ yapısı ile bankacılık düzenlemelerinin etkileri hakkında yapısı itibarıyla de DSGE modellerine yönelik eleştiriler bulunmaktadır. Stiglitz ve Gallegati (2011) yüksek kaldıraç kullanan firmaların yüksek iflas riskine sahip olduğunu, iflasların olması halinde kredileri tahsis edemeyen bankaların finansal durumunun kötüleşmesiyle kredi arzını azaltacağını vurgulamaktadır. Kredi arzındaki daralma ise borç verme faiz oranlarını arttırarak diğer bütün firmaları etkilemesine neden olmaktadır. Yazarlara göre DSGE yaklaşımı bu borç ağ yapısı ve bankalar arası ilişkiler hakkında fikir vermemekte, heterojen ajan yaklaşımı ise bu ilişkileri anlamamıza imkân vermektedir [9]. Fagiolo ve Roventin (2008)'e göre ABM modellerinin esnek oluşu farklı düzenleme çerçevelerinin etkilerini test etmek için oldukça uygundur. Bankalar arası ödeme sistemlerinde likidite yada farklı mikro kuralların makro iktisadi stabilizeye etkisi gibi konularda farklı regülasyonların etkileri değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte, yaşanan küresel krizin özellikle kredi piyasası ağ yapısı kaynaklı krizin ortaya çıkışını, derinliğini ve yayılmasını bu modeller açıklamakta yetersiz kalmıştır. Buna karşın alternatif ağ kurulumları ile makro iktisadi performans arasındaki bağlantıyı araştıran ajan tabanlı modelleri kurulabilmektedir [21].

Yukarıda bahsedilen üstünlüklere ek olarak politikaların belirlenmesinde daha esnek modelleme imkanı veren ajan tabanlı yaklaşımda veriler ampirik olarak kolayca doğrulanabilmekte, neredeyse sonsuz deney olasılığı ve daha gerçekçi ve algoritmali modeller kullanılmaktadır [15].

Tesfatsion [22], Avrupa Merkez Bankası Başkanı Jean-Claude Trichet'in 18 Kasım 2010 tarihli konuşmasının önemli kısımlarını aşağıdaki şekilde aktarmıştır:

“Kriz geldiğinde, mevcut iktisadi ve finansal modellerin ciddi sınırlamaları belirgin hale gelmiştir. Arbitraj çökmüş... piyasalar donmuş... piyasa katılımcıları panik olmuş. Makro modeller krizi öngörmeye başarısız olmuştur.”

“Kriz karşısında, geleneksel araçların bizi terk ettiğini hissettik... En önemli ders ... tek bir araç, yöntem yada paradigmaya güvenmenin yarattığı tehlikedir. Mevcut modellerin altında yatan ve farklı elementlere ayrılarak optimize edilmiş ajanlar bir kriz sürecindeki davranışı yansıtamamıştır. Ajan tabanlı modeller... ajanlar arasında daha kompleks etkileşimlere izin vermektedir. ... Finansal sistemin kritik rolünü makroskopik modellerimize daha iyi entegre etmemiz gerekmektedir.”

“Fizik, mühendislik, psikoloji, biyoloji gibi diğer disiplinlerden alınan ilhamları oldukça sıcak karşıladım. Bu alanlardan uzmanlar ile iktisatçıları ve merkez bankacıları bir araya getirmek imkan dahilinde çok değerli olacaktır.”

“Finansal piyasaların gözlemlenen davranışının büyük bir kısmını etkin piyasalar hipotezi ile bağdaştırmak zordur... Ancak, öz terim ve varsayımlara dayanan tümdengelimli sorgulama yerine veriye dayalı tümevarımcı sorgulamaya önem veren kararlı bir ampirik yaklaşım bu modellerin merkezinde yer almaktadır ... simülasyonlar yardımcı bir rol oynayacaktır.”

Helbing'e göre “yeni teknik araçlar yada tıbbi ilaçlar yoğun bir şekilde etkinlik, güvenilirlik ve emniyet testlerine tabi tutulurken, piyasayı daha önce vurmuş olmasına rağmen hala herhangi bir teste tabi tutmadan yeni iktisadi ölçütleri uyguluyor olmamız dikkat çekicidir.” [23].

3. Ajan Tabanlı Hesaplamalı İktisat

Modelleme araçlarındaki gelişmeler sayesinde araştırmacılar artık çeşitli kompleks olguları nicel olarak modelleyebilmektedir. Bu olgular, merkezi olmayan piyasa ekonomileri ile alakalı tümevarımsal öğrenme, eksik rekabet, ticari ağ oluşumu ve bireysel davranışlarla iktisadi kuruluşların ortak evrimi, vb. olarak sıralanabilmektedir. Yapılan modellemelerin bir dalı da ACE hesaplamalı iktisat olarak bilinmektedir. Bu iktisat dalı, kendi kendini yöneten (otonom), etkileşen ajanların geliştirdiği sistemler olarak modellenen ekonomilerin hesaplamalı olarak incelenmesini içerir. ACE, kontrollü deneysel koşullar altındaki merkezi olmayan ekonomilerin gelişimini incelemede genellikle hesaplamalı laboratuvarlara güvenmektedir [24].

Gatti ve diğerleri [18] göre ajan tabanlı yaklaşım, sınırlı rasyonelliğe ve karmaşık bir dünyaya uyum sağlayan, heterojen ve etkileşen ajanlara dayanan gerçekçi makro iktisat için tatmin edici bir yöntemdir.

Colander ve diğerleri analitik makro modellerin zorluğunu tartışırken son on yılda hesaplama gücündeki artış nedeniyle makro iktisadi analiz etmek için ajan tabanlı hesaplamalı iktisat modelleri kullanan bir diğer yaklaşımı önermektedir [25].

Araştırmacıların denge koşulları, homojenlik varsayımları yada gerçek dünyada karşılığı olmayan diğer dışsal koordinasyon araçlarının dayatması ile ajan etkileşimlerini kısıtlamaya ihtiyaç duymaması bu yaklaşımda önemli bir noktadır. ACE modellerinde uygun olan, ajanların hesaplama dayalı kendi dünyalarında gerçek dünyadakiler gibi serbestçe hareket edebilmelidir [26].

Ajan tabanlı iktisadın temel amaçlarının biri piyasadaki her bir ajanın detaylarını modelleyerek tüm piyasayı simüle etmektir. Hesaplama gücünün geniş çaplı imkânları düşünüldüğünde bu fikir makul gözükse de, birçok piyasa oldukça karmaşık olup her detayı simülasyona katmak zordur. Bununla birlikte daha küçük ve kesin modeller geliştirilebilmektedir. Hesaplamalı iktisat da bu tür modeller geliştirmeyi ve bunları gerçek dünyanın iktisadi verileri ile doğrulamayı amaçlamaktadır [27].

Ajan tabanlı iktisat yazınında önemli bir yere sahip olan Tesfatsion (2006), ACE modellemesini laboratuvarında bir bakteri üretme deneyine benzetmektedir. Yazara göre, ACE modellemesi yapanlar ilk önce başlangıçtaki ajan popülasyonundan oluşan bir ekonomi inşa ederek işe başlar. Buradaki ajan kavramı hem tüketiciler, üreticiler, araçlar,.. vb. gibi iktisadi ajanları; hem de devlet kurumları, araziler, hava,.. vb. gibi diğer çeşitli sosyal ve çevresel olguları içermektedir. Yazar, modelleme yapılırken ekonominin başlangıç koşullarının ajanların başlangıçtaki nitelikleri (özellikleri) ile belirlendiğinden bahsetmektedir. Herhangi bir ajanın başlangıç nitelikleri ise karakter özellikleri, içselleştirilmiş davranış kuralları, öğrenme ve iletişim dahil içsel davranış biçimleri ve de ajanın kendisi yada diğerleri hakkında içsel olarak sakladığı bilgileri içermektedir. Daha sonra modellemeyi yapanların başka müdahalesi olmadan zamanla ekonomi gelişmektedir. Bu ekonomide gerçekleşen olaylar, ajanların etkileşiminin kronolojik sırası ile ortaya çıkmak zorunda olup, dışarıdan koordinasyon amaçlı bir aracın müdahalesine izin verilmemektedir [11].

3.1. Ajan Tabanlı Hesaplamalı İktisadın Temel Unsurları

Çok sayıda etkileşen ajarlardan oluşan sistemlerin mikroskobik detaylara bağlı olmayan evrensel yasalar ürettiği fikri günümüz istatistiksel fizikinde popüler olup, iktisatta da ivme kazanmaktadır. Geçen yüzyılın kuantum devrimi, modern fizikteki bakış açısını radikal bir şekilde değiştirmiş, indirgemeciliğin (karmaşık sistemlerin daha basit bileşenler içinde analizi) yaygın bir şekilde reddedilmesine neden olmuştur. Buna göre artık bir sistemin dengesi için her ögesinin dengesi yerine ögelerin birlikte yarı-durağan (durağan benzeri) olması gerekmektedir. Bununla birlikte *ajanların etkileşimi* kendiliğinden örgütlü çözümleri ürettiğinden dolayı, ajanların seçiminin bir denge içermesi gerekmemektedir. Bu yüzden birbirlerinden ayrı bir şekilde bireyleri incelemek yerine etkileşen *heterojen ajanlar* arasındaki ilişkileri analiz etmek daha doğru olacaktır [8].

Genel denge teorisinde heterojenlik seviyesi istenilen her seviyede olabilir ama ajanlar arasındaki doğrudan etkileşim gerçekleşmez. Bu durumda tam bilgiye kimse sahip olmaz ve tam bilgi yoksa piyasalar etkin olamaz. Piyasa başarısızlığı ise ajanların etkileşimlerine, koordinasyon başarısızlığına, toplu davranışlarla ortaya çıkan özelliklere ve de konjonktür dalgalarının ayrışması doğasına yol açar [8].

Sistemleri sıfırdan (ajanları ve etkileşimlerini teker teker) modelleyerek *kendi kendine örgütlenme* gözlemlenebilmektedir. Açık bir şekilde bu modellere eklenmeyen şablonlar, yapılar ve davranışlar ajanların etkileşimleriyle ortaya çıkmaktadır [28].

Ajan tabanlı modellerin çok yaygın bir güdüsü de rasyonel ajanlar ile tatmin olmamalarıdır. Bu yüzden, bugüne kadar ortaya çıkmış bütün ajan tabanlı modeller farklı şekillerde *sınırlı rasyonel* ajanları içermektedir [29].

Evrin, ajan tabanlı iktisatta önemli bir yer kaplamaktadır. Bu yaklaşımda evrim, çeşitli şekillerde meydana gelebilmektedir. İlk olarak, yeni stratejilerine uyum sağlayan ajanların davranışları zamanla gelişmektedir. Örneğin bir finansal piyasa oyuncusu kendisine daha yüksek kar sağlayan yeni bir ticari algoritma bulabilir. İkinci olarak, simülasyon zamanla yeni ajanları ortaya çıkarabilir. Bu ajanlar da simülasyondaki eski ajanlarla rekabet etmelerini ve onları yenmelerini sağlayan daha iyi stratejilere sahip olabilmektedir. Son olarak, simülasyonun kendi mikro yapısı bile değişebilir. Finansal bir piyasa sipariş yönetimini hızlandıran yeni ticari kuralları geliştirebilmektedir.

Derneşik düzeydeki istatistiksel düzenleyiciler, sonradan *meydana çıkan (gelişen)* özellikler ile nitelendirilir. Bu özellikler mikroskobik düzeyde ise ortaya çıkmaz [8].

Bir ajan tabanlı modelin ortaya çıkan özellikleri “yukarıdan aşağıya” yönlendirme yerine “aşağıdan yukarıya” gerçekleşen süreçlerin sonucudur [30].

Mikro temeller, bireysel davranış ile piyasa içi ve dışı etkileşimlerden oluşan makul bir modele dayandığı sürece güçlü olarak tanımlanabilmektedir.

3.2. Ajanlar

Bir “ajan” esas olarak başkası adına hareket eden biri olup, genellikle insan olarak ele alınır. Sözlükte “hareket eden”, “güce sahip” yada “hareket etme yetkisine sahip” yada “başkasını temsil eden” olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar dünyasında ise bir ajan, bir kullanıcı adına hareket eden bir yazılım programına karşılık gelir. Örneğin, bir ajan bilgileri toplar, analiz eder, bunlardan sonuçlar çıkarır, önerilerde bulunur ve işlemler gerçekleştirir [5].

Ajan tabanlı iktisat, etkileşen ajanların sanal bir dünyası gibi modellenmiş dinamik iktisadi sistemlerin hesaplamaya dayalı bir incelemesidir. Buradaki “ajanlar” bir veri ve davranışsal yöntemler yığını ifade etmektedir. Ajan örnekleri şu şekildedir:

- Bireyler (tüketiciler ve üreticiler)
- Sosyal gruplar (aileler, firmalar, topluluklar ve devlet kurumları)
- Kuruluşlar (piyasalar ve düzenleyici sistemler)
- Biyolojik varlıklar (mahsuller, canlı hayvanlar ve ormanlar)
- Fiziksel varlıklar (altyapı, hava ve coğrafi bölgeler)

O halde ajanlar, pasif dünya özelliklerinden aktif haldeki gelişmiş, sosyal davranışlar sergileyebilen ve veri toplayan karar alıcılara kadar uzanmaktadır. Ayrıca bir firmanın içi

ve yöneticilerden oluşabilmesi gibi ajanlar da diğer ajanlardan oluşup, hiyerarşik yapılar oluşturabilmektedir [31].

Birçok gerçek dünya sistemindeki ajan tabanlı modeller, ajan olarak modellenen fiziksel bileşenlerin ve sosyal ajanların karışımından oluşmakta olup, bu sistemlere “sosyo-teknik” sistemler denilmektedir [28].

Ajan tabanlı modeller, yazılımda genellikle nesne olarak yer alan bireysel ajanlardan oluşmaktadır. Ajan olan nesnelerin ise durumları ve davranış kuralları vardır. Böyle bir modeli çalıştırmakla ajan popülasyonu örneklenir, ajanların etkileşmesine izin verilir ve model sonucu izlenir [29].

Her bir ABM ajanına ait veri ve yöntemler kapsülle çevrilmiştir. Bu veri ve yöntemlerin şekil ve içeriklerinin diğer ajanlardan gizlenebilmesi manasına gelen kapsüllemeler, modellerin gerçek dünya sistemlerine benzemesine yardımcı olmaktadır. Bilgi saklama (bir duruma sahip olma) ajan etkileşimlerinde belirsizliğe yol açmaktadır. Burada bilgi saklamadan kasıt ise ajanların diğer ajanların nasıl davranacağı hakkında hiçbir zaman tam olarak emin olamamasıdır. Bir ajan, kendine özgü sabit bir davranış yöntemine uygun bir şekilde hareket ediyor olsa bile, farklı zamanlardaki farklı etkileşimler nedeniyle “farklı birim” olarak yer alabilmektedir. Bunun da nedeni, bu ifade edilen davranışlardaki farklılıklardır [32].

Bir satranç oyunundaki basit ve sabit kuralların oyuncuların etkileşimi ile farklı oyunların büyük bir uzayını meydana getirmesi gibi, ajan tabanlı modellemelerde bireysel ajanların basit ve sabit yöntemleri ajanların etkileşimleri sayesinde beklenmedik derecede zengin küresel sistem davranışları ortaya çıkarabilir. Alternatif olarak, modellerdeki ajanlar daha karmaşık insan davranışlarına izin veren yöntemlere sahip olabilmektedir. Bu davranışlar; durum-koşullu adaptif tepki (bu olursa ne yapmalıyım?), ileriye dönük öğrenme (bu olursa ne olacak?), dönemler arası planlama, sosyal iletişim, durum-koşullu tepkide değişikliklere yol açan “amaca yönelik öğrenme” ve ajan popülasyonlarının bileşiminde değişikliklere yol açan doğum ve ölümler olarak sıralanabilmektedir [32].

Ajan Türleri

Franklin ve Graesser [33] bir yazılım ajanı ile keyfi bir program arasındaki kesin ayrımı yapabilecek resmi bir tanımlı yapmanın önemini anlatmaya çalışmıştır. Bu doğrultuda ajanları sınıflandırarak otonom olanlarını ilgili alt gruplarda sırasıyla Tablo 2 ve Şekil 1 yardımıyla göstermektedir.

Otonom Ajanlar

Tesfatsion [34] otonomiye, gerçek dünyayı içeren dışsal veri akışlarına olduğu kadar, özel içsel veri ve yöntemlere de dayanan kendiliğinden etkinleşme ve kendiliğinden saptama olarak tarif etmiştir.

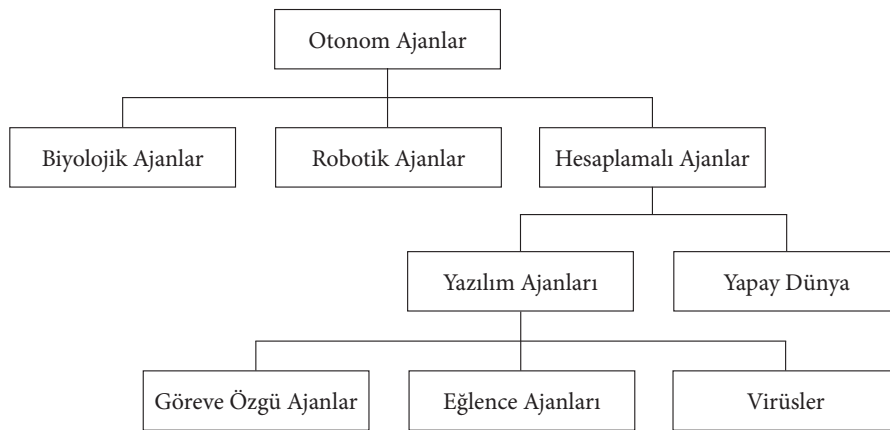
Franklin ve Graesser (1996) bir otonom ajanı bir çevrede ve o çevrenin bir parçası olarak yaşadığı, kendi rutinini takip ettiği bir sistem olarak tanımlamaktadır. Yazarlar ajan ile program ayrımını yapmalarına imkan veren tanımlamanın ardından ajanları Tablo 2’deki gibi özelliklerine göre sınıflandırmaktadır [33].

Bir ajanın tek başına en önemli tanımlayıcı özelliği onun *otonom bir şekilde* (kendi kendine) hareket etme yeteneği olup, bu da karşılaştığı durumlar karşısında dışsal yönlendirmeler olmadan kendi başına hareket edebilmesidir [28].

Tablo 2: Ajan Türleri

Özellik	Diğer İsimler	Anlamı
Duyarlı	Hisseden ve davranan	Çevresindeki değişikliklere zamanında cevap verir
Otonom		Kendi eylemlerini kontrol eder
Amaca yönelik	İleriye etkin (proaktif) amaçlı	Çevresindeki değişikliklere karşılık kolayca hareket etmez
Dönemsel olarak sürekli		Süreç sürekli olarak çalışır
İletişime açık	Sosyal yönden güçlü	İnsan olması muhtemel diğer ajanlarla iletişim kurur
Öğrenme	Adaptif (uyarlanabilir)	Geçmiş deneyimine dayanan davranışını değiştirir
Gezici (mobil)		Kendisini bir makineden diğerine nakledebilir
Esnek		Eylemleri el ile yazılmamış
Karakter		İnandırıcı kişilik ve duygusal durum

Franklin ve Graesser (1996) otonom ajanları Şekil 1’de görüldüğü gibi biyolojik, robotik ve hesaplamalı olarak üçe ayırmaktadır. Bir alt seviyede hesaplamalı ajanlarını yazılım ve yapay dünya ajanları olarak ikiye, yazılım ajanlarını da kendi içinde üçe ayırmaktadır [33].



Şekil 1: Otonom Ajanların Doğal Tür Olarak Sınıflandırılması

Akıllı Ajanlar

Akıl, bir ajanın öğrenme derecesidir. Ajan, çevresini algılayabilmeli, anlayabilmeli ve analiz edebilmelidir. Sürekli değişen bir çevrede ajanlar bu değişiklikleri öğrenme ve bunlara uyum sağlama yeteneğine sahip olmalıdır. Dahası ajan, topladığı bilgilerden sonuç çıkarabilmeli ve kullanıcılar adına eylemlerini gerçekleştirebilmelidir [5].

Bütün ajanlar eşit olmayıp, bazıları diğerlerinden daha gelişmiştir. Temel yazılım ajanları; kendi kendini yönetme (bağımsızlık), dayanıklılık (uzun süreli yaşama), çevreyi izleme, diğer ajanlarla ve/veya kullanıcılarla iletişim ve işbirliği gibi ortak özellikleri sergiler. Daha “akıllı” ajanlar hareketlilik, karar alma ve öğrenme yeteneği gibi daha yüksek seviye yeteneklere sahiptir [5].

Adaptif Ajanlar

Bir ajan, kurallara yada davranışlarını değiştiren daha kuramsal mekanizmalara sahip olmasıyla adaptif (uyarlanabilir) olabilmektedir. Bir ajan, geçmiş deneyimlerine dayanan davranışlarını öğrenme ve onlara uyum sağlama kabiliyetine sahip olabilmektedir. Öğrenme ise biraz hafıza gerektirir. Bireysel uyumunun yanında, çevreye daha iyi uyum sağlayan bireylerin sayısı arttıkça ajan popülasyonları seçim sürecinde adaptif olabilmektedir [28].

Yapay (Suni) Ajanlar

Brandouy ve Meathieu [35] yapay ajanı yapay zekâya sahip, gerçek bir yatırımcıya benzeyen ve ayrıca bilgi, öğrenme ve uyum süreçlerinin üstesinden gelebilen sanal varlık olarak tanımlamaktadır.

3.3. ACE Araştırma Alanları

ABM araştırmaları artık daha geniş çaplı [36] olup, araştırma alanları son yıllarda iktisatta özellikle tarım ve çevre ekonomisi, otomatik hale getirilmiş piyasalar, işletme ve yönetim, elektrik piyasaları, finansal iktisat, endüstriyel organizasyon, iş piyasaları, makro iktisat, politik iktisat ve iktisadi ağ oluşumunda etkin hale gelmiştir. Daha genel olarak ise, toplu davranışların ortaya çıkması, işbirliği ve güvenin oluşması, inovasyon, kurumsal tasarım, öğrenme, kurallar, sosyal etkiler ve sosyal ağ oluşumu sosyal bilimlerdeki oldukça etkin ABM araştırma alanları arasındadır [32].

Tesfatsion [24] mevcut ACE araştırmaları konularını kabaca sekiz alana bölerek özetlemektedir:

- i. Öğrenme ve somutlaştırılmış fikir
- ii. Davranışsal kuralların evrimi,
- iii. Piyasa süreçlerinin aşağıdan yukarıya modellenmesi,
- iv. İktisadi ağ oluşumu,
- v. Organizasyonların modellenmesi,
- vi. Otomatik hale getirilmiş piyasalar için hesaplamalı ajanların tasarımı,
- vii. Gerçek ve hesaplamalı ajanlarla paralel deneyimler ve
- viii. ACE hesaplamalı laboratuvarların kurulması

3.4. Ajan Tabanlı Modeller

Ajan tabanlı modelleme, hesaplamalı bir dünyada faaliyet gösteren, kapsülle çevrili işlevselliğe sahip otonom etkileşen birimlerin (ajanlar) toplanması yoluyla sistemlerin hesaplamalı modellemesidir [32].

Diğer yaklaşımları kullanarak kolayca modellenemeyen çeşitli sosyal olgular ajan tabanlı modeller ile incelenmektedir. Ajan tabanlı modeller, kompleks adaptif sistemlerin hesaplamalı modellerini oluşturmak için fikir, teknik ve araç dizisi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu modeller, gerçek dünyadaki bireysel eylem ve etkileşimlerden doğan kompleksiteyi açıkça modelleyebilmektedir. Aynı zamanda bu modeller, sosyal ağlar kanalıyla insanların davranışlarını ve etkileşimlerini açıkça dikkate almaktadır [28].

Macal ve North' a [28] göre tipik bir ajan tabanlı modelin üç ögesi vardır:

- I. Ajan kümesi, ajanların özellikleri ve davranışları
- II. Ajanların ilişki kümesi ve etkileşim yöntemleri: Ajanların nasıl ve kiminle etkileşeceğini tanımlayan, bağlantılı olmanın temel kelime bilimi (topolojisi)
- III. Ajanların çevresi: Ajanlar diğer ajanların yanında çevreleriyle de etkileşirler.

İktisatçılar, insan davranışlarının, kendi kendini düzenleyen istikrarlı piyasaların (denge fiyatlarından hiç bir zaman çok uzaklaşmayan hisse senetleri, evler ve diğer varlıklara sahip) oluşmasına yol açtığını varsayarak makul fikirler elde edebilmektedir. Ancak, kompleks ve doğrusal olmayan geri beslemelerin tetiklediği dot-com (internet) ve konut balonlarının oluşup patladığı ve bankaların daha yüksek kar elde etmek için çok yüksek riskler aldığı son birkaç yılın kaotik piyasalarını tarif etmek için çok az kişi "istikrar" kelimesini kullanacaktır. Bu tür karmakarışık gerçeklerin üstesinden gelmeye çalışan az sayıdaki iktisatçı, (fizik bilim adamları ile ve yerleşik iktisat dışındaki diğer bilim adamları ile sıkça çalışanlar) son on yılını insan davranışları yada doğal piyasa istikrarı hakkında sadece asgari varsayımlar yapan ajan tabanlı modelleri araştırarak geçirmiştir. Bu modellerdeki düşünce ise, bilgisayarda sanal bir dünya kurmak ve gerçek bir dünyada insanların yaptığı gibi birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunan yapay olarak akıllı yazılım bitleriyle (bilgi iletme birimleri), diğer bir ismiyle ajanlar ile bu sanal dünyayı doldurmaktır. Daha sonra bilgisayar, tahmin yapmadan bireysel ajanların eylemlerinin sonucu olan genel piyasa davranışlarının oluşmasına izin verir.

Ajan tabanlı modellerin üç farklı kullanımı mevcuttur. Bunlardan ilkinde sayısal gerçekleştirmeler amaca uygun olduğunda, ajanlar klasik simülasyonun farklı bir türünü yerine getirebilmektedir. Diğer bir kullanımda ise modelin yalnızca matematiksel olarak ancak eksik bir şekilde çözülebildiği durumlarda (modelin dengesi bilinmiyor, denge istikrarı hesaba katılmamış) ajan tabanlı model, matematiği tamamlayıcı ve analiz için yararlı bir araç olabilmektedir. Son olarak, matematiksel modeller açıkça izlenemediği yada çözülemediğinin kanıtlandığı durumlar vardır. Bu gibi durumlarda ajanların programlanması, matematiksel analizin bir alternatifi olan sistemik analiz için uygun olan belki de tek yöntem olmaktadır [29].

İktisadın farklı bölümlerini hedef alan ajan tabanlı modellere dayalı birçok çalışma mevcuttur. Buchanan (2009), kamu ve özel sektörde yaygın bir şekilde kullanılan, çok iyi düzenlenmiş ABM uygulamaları kaynağını çalışmasında sunmaktadır. Yazara göre 1990'ların sonunda ABM kullanmaya başlayan NASDAQ Borsası, hisse senedi fiyatlarının $12\frac{1}{4}$ gibi kesirli ifadesi yerine onları ondalıkla listelemek için ABM'yi denemiş ve hisse senedi fiyatlarının doğruluğunu arttırmayı amaçlamıştır. Procter and Gamble, tedarikçi, depo ve mağazalarından oluşan ağı üzerinden mallarının akışını optimize etmek için ajan tabanlı modeller kullanmıştır. Southwest Havayolları kargo güzergahlarını belirlemek (rotalamak) için ajan tabanlı modellerden yararlanmıştır. Bununla birlikte diğer modeller de finansal piyasaları başarılı bir şekilde simüle etmiştir. Örneğin, Yale Üniversitesi'nden iktisatçı John Geanakoplos, Santa Fe Enstitüsünden fizik bilim adamı Doyne Farmer ve Vienna Tıp Üniversitesi'nden Stefan Thurner ile birlikte yatırımları finanse etmek için büyük çapta hedge fonları ile borçlanmanın sistematik sonuçlarını araştıran bir ABM kurmuştur [23].

3.5. Ajan Tabanlı Simülasyon

Simülasyona başvuran çalışmalar sosyal bilimlerde geniş bir şekilde yer almaktadır. Bununla birlikte üç çeşit simülasyon bulunmaktadır: kesikli olay simülasyonu, sistem dinamiği ve ajan tabanlı simülasyon. Macal ve North'a göre [28] ajan tabanlı simülasyonu diğer iki teknikten ayıran özellikler; ajanların heterojenliğini modelleyebilmesi ve kendi kendini örgütlemenin ortaya çıkmasıdır.

Mistry [27] ajan tabanlı hesaplamalı simülasyonu basit bir örnekle açıklamaktadır:

“Bir İngiliz açık arttırmasını düşünün. Bu simülasyon teklif veren kişileri temsil eden birkaç ajana sahiptir. Biz de her bir ajanı teklif verme algoritmasıyla temsil edebiliriz. Açık arttırmayı kazanana kadar yada fiyat, teklif edebileceği maksimum tutarın üzerine çıkana kadar ajan teklif vermeye devam eder. Simülasyon programı, aynı zamanda piyasa denge mekanizması olarak bilinen ve bu yolla varlıkların satıldığı bir mekanizma ihtiyacını karşılayabilmektedir.”

Oeffner [37], çağdaş neoklasik iktisadın yöntemsel çerçevesi olan Walrasyan Genel Denge yaklaşımının aksine, ajan tabanlı simülasyonların kesin bir modeli simüle eden bir araç ve bilgi teknolojileri tabanlı bir teknik olduğunu öne sürmektedir. Bununla birlikte, bir ajan tabanlı çerçeve, bir genel denge modeli analizine temelde imkân verebilmektedir. Gerçekte bu durumun bir ajan tabanlı tekniğin yararlarının bozulmasına yol açtığını düşünen yazara göre böyle bir yaklaşımın temel sorunu, ileriye dönük bir çerçevede rasyonel beklentilerin hesaplanması olacaktır. Bununla birlikte model tamamen genel denge modellerinin sınırları içerisinde geliştirildiğinde (örneğin temsili bir ajan uygulamasıyla), bu sorun Ortodoks iktisadın yaptığı yolla ele alınabilecek, dolayısıyla da temsili ajan mekanik sistemin bütün yapısal eşitliklerini bilecekti. Sonuçta da ekonominin rasyonel beklentiler çıktılarını uzak gelecekte hesaplayabilecekti.

Rasyonel beklentiler ve tam rekabet gibi en çok sorgulanan temelleri ajan tabanlı simülasyonda bulundurmak gerekli değildir. Birçok teori de en ihtilafli varsayımlardan bazılarını elemek suretiyle daha güçlü hale getirilebilir [27].

3.6. Ajan Tabanlı Yaklaşımın Üstünlük ve Yetersizlikleri

ACE, mikrodan makro kapsama kadar iktisadi sistemlerin geniş bir yelpazesine uygulanabilmektedir. Bu uygulamaların avantajlarının bulunması yanında daha standart modelleme yaklaşımlarına göre dezavantajları da yer almaktadır [11].

Howitt'e göre [38] ajan tabanlı yaklaşımın iktisada sağladığı faydalardan bir tanesi, bireysel eylemlerin koordine edilmesini sağlayan mekanizmaları açık hale getirmeye zorlamasıdır. Yazar, "dinamik olarak tam" bir model oluşturmak için bir başlangıç koşulları setinin ardından gerçekleşecek adımları belirlemesi gerektiğini anlatır. Başlangıç koşullarında ise farklı insanların farklı inanışlara bağlı olarak hareket edeceği ve bu yüzden derneşik çıktıların bireysel niyetlerden ayrılacağı düşüncesi yer alır. Yazara göre ACE yaklaşımının bir diğer faydası ise, bir sistemin "ortaya çıkan özelliklerini" (örneğin, bireysel bileşenlerden kaynaklanmayan özelliklerini) keşfetmek için bir yöntem ortaya koymasındır.

ACE yaklaşımının makro iktisat için faydası, özellikle analitik makro iktisadın takip edilebilirliğini oldukça sınırlayan kısıtlamaları ortadan kaldırmaktadır. ACE modellemesi, ajan tür ve sayısının belirlenmesinde özgürlük, ajanların hiyerarşik düzenlerinin oluşturulması gibi konular için uygun bir mikro iktisat şekli seçmeleri için araştırmacılara imkân tanımaktadır. Modelleme aynı zamanda, araştırmacıların anlık alınan kararlarla ajanlar arasındaki etkileşimi dikkate almalarına ve ajanlar arasındaki dinamik makro etkileşimi incelemelerine fırsat tanımaktadır. Araştırmacılar, çok sayıda heterojen ajana sahip ve denge koşullarını dayatmayan ACE modellerini kolaylıkla geliştirebilmektedir. Denge, bir gereksinimden ziyade potansiyel bir çıktı olduğu için çoklu dengeler dikkate alınabilmektedir [6]. Denge elde etmede yaşanan başarısızlık bu tür modellerin belirgin bir sonucudur. Dinamikleri sistematik bir şekilde araştırma becerisi, ajan tabanlı hesaplamalı modellerin güçlü özelliklerinden biri olmaktadır [29].

ACE yaklaşımının makro iktisat teorisine yaptığı en önemli katkılardan birisi de yapay koordinasyon araçlarının dışsal olarak dayatılması olmadan yapıcı ölçek araştırmasına imkan vermesidir [26].

Axtell [29], ajan tabanlı hesaplamalı modellemenin geleneksel matematiksel teorilere olan üstünlüklerini aşağıdaki gibi sıralamaktadır: İlk olarak, ajan tabanlı hesaplamalı modellerde ajan rasyonelliğini sınırlamak kolaydır. Bir diğeri, temsili ajanlara başvurmaya gerek yoktur. Üçüncü olarak, bu modeller sadece yürütme (simülasyonu başlatma) ile çözüldüğü için araştırılan sürecin bütün dinamik kronolojisi orada sonuçlanmaktadır. Bu da, dışarıdan birisinin dengeye odaklanmasına gerek olmaması anlamına gelir. Son olarak, en sosyal süreçlerde fiziksel uzay yada sosyal ağlar sorun yaratmaktadır. Bunları son derecede biçimlendirilmiş yollar dışında matematiksel olarak açıklamak zordur. Bununla birlikte, ajan tabanlı modellerde uzay, ağlar yada her ikisinin aracı olduğu ajan etkileşimleri kolaylıkla elde edilmektedir.

Ajan tabanlı yaklaşımın üstünlükleri yanında yetersiz kaldığı noktalar da bulunmaktadır. Mistry [27] bu yetersizlikleri dört gruba ayırmıştır: modelleme, evrim, genel amaçlı yazılım ihtiyacı ve denge modelleriyle ilişkisi. Araştırmacıların bu yaklaşımda karşılaştıkları en büyük problem yazara göre bireysel ajanların modellemesinde yaşanmaktadır. Ajanların simülasyonda nasıl modelleneceği açık olmayıp, her bir ajan için sınırsız modelleme seçeneği mevcuttur.

Bununla birlikte, herhangi belirli bir kararın geçerli olup olmadığı açık değildir. Yazara göre araştırmacılar ajanları modellemek için nokta atışı tekniklere ihtiyaç duymaktadır. Farmer ve Foley [20] Mistry'yi bu noktada desteklemektedir. Yazarlara göre ajan tabanlı modeller her derde deva bir teknik olmayıp, esas meydan okuma ajanların nasıl davrandığını (özellikle de karar almak için kullandıkları kuralları seçerken) belirlemenin altında yatmaktadır. Birçok durumda bu işlem hala mantık ve tahmin ile yapılmakta, bu da gerçek dünyaya benzemek için her zaman yeterli olmamaktadır. Ajan tabanlı modellerin kullanışlı olabilmesi için, keyfi varsayımlardan kaçarak, modelin her parçasını sağlam bir temele dayandırarak, gerçek karşısında test ederek ve ayrıca her bir ek kompleksiteyi sadece gerektiğinde dahil ederek sistemli bir şekilde ilerlemek gerekmektedir. Yazarlara göre bunların doğru bir şekilde yapılmasıyla ajan tabanlı yöntem, sezginin yetersiz kaldığı kompleks durumlarda etkileşen bölümlerin ortaya çıkan özelliklerini çok iyi bir şekilde anlamayı sağlayabilecektir.

Bir diğer sorun ise bu modellerde evrimin açık bir şekilde gösterilmemesidir. Aynı zamanda güçlü programlama becerileri (genel amaçlı yazılım) ihtiyacı da diğer bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Son olarak, ajan tabanlı simülasyonlar dengede olmayan piyasalar oluşturmaya meyillidir. Bu ise, varsayımlar seti (veri olarak alınan) için piyasa dengesini araştırma eğilimi gösteren geleneksel analitik modeller ile taban tabana zıttır [27].

Ampirik doğrulama (validasyon) ACE modelleri için olduğu kadar daha geleneksel modeller için de oldukça önemlidir. Bununla birlikte, ACE araştırmacılarının karşılaştığı doğrulama problemlerinin ACE yöntemine özgü olduğu kabul edilmektedir. Bir diğer problem ise serbestlik derecesi ile ilgilidir. ACE modelleri genellikle birçok faktör içermekte olup akıllı araştırmacılar ampirik çalışmalarında istedikleri sonucu elde edebilmek için uygun serbestlik derecesini kullanabilme olanağına sahiptirler. ACE modelleri şu an tam olarak anlaşılamamakta ve gözlemlenen insan davranışları ile uygun bir şekilde harekete geçirilememektedir. ACE modelleri genellikle, ajan davranışlarını insan deneyleriyle (laboratuvar deneyleri gibi) ilişkilendirerek modelleyebilmektedir. Laboratuvar verilerinin karşılaştırılmasına ek olarak, bir ACE modeli için bir diğer ampirik doğrulama testi, farklı seviye ve zamanlarda ampirik özelliklerin tekrar elde edilmesidir [26].

4. Sonuç

Yerleşik iktisat ve tercih edilen DSGE modellerinden farklı olarak ajan tabanlı yaklaşım, araştırmacılara modellerinde istedikleri heterojenliği sağlamalarına imkân vermektedir. Varsayımları nedeniyle eleştirilen temsili ajan çerçevesi, bu modellerde dikkate alınmamaktadır. Ajanların öğreniyor ve çevrelerine uyum sağlıyor olması bu modellerin dinamik olmasına yol açmaktadır.

Yerleşik iktisadın gerçekçi olmamasına neden olan bir diğer varsayım rasyonelliktir. İnsanların rasyonel olduğu, yani geçmişleri hakkında olduğu kadar gelecekleri hakkında da tam bilgiye sahip olduğu ve doğaüstü öngörülerine dayanarak tahmin yaptıkları varsayımı bu modellerde yer almamaktadır.

İktisada yaptığı birçok değerli katkıya rağmen başlangıç koşullarına olan bağılılığı ajan tabanlı modellerde hala önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer nokta da modellerin doğrulanması sorunudur. Gerçek dünya ile model sonuçları bir şekilde farklı olmakta, bu farklılık da ajan tabanlı modellerin hala büyüme evresinde olduğu görüşüne bağlanabilmektedir.

Bununla birlikte ajan tabanlı modeller yerleşik iktisada önemli katkılar sağlamakta, artı ve eksileri değerlendirildiğinde, kazanımları önem taşımaktadır. Bilgisayarların simülasyon becerisinin gelişmesiyle kompleksite iktisadının temel unsurlarını modelleyebilme imkanı vermesi açısından oldukça önemli hale gelen ajan tabanlı yaklaşım birçok iktisadi uygulamada göz önünde bulundurulmaktadır. Gerçek dünya dinamiklerini yakalayabilmedeki başarısı da ajan tabanlı yaklaşımın önemini ve popülerliğini arttırmaktadır.

Yararlanılan Kaynaklar

- [1] Eren, E. (2011). Küresel Bunalım, İktisat Eğitimi ve Yeni İktisat (Eds. Uygur, E.). *Küresel Bunalım ve İktisat Eğitimi*. Ankara: İmaj Yayınları, 129-148
- [2] Cross, R., et al. (2008). Hysteresis and Post Walrasian Economics. *Oxford Centre For Collobrative Applied Mathematics Working Paper*, 11/18.
- [3] Eren E. ve diğerleri (2009). Kompleksite İktisadı ve Ekonofizik. *Darwin ve Evrimsel İktisat Sempozyumu*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 127-140.
- [4] Eren, E. (2011). Yeni İktisatta Ortak Noktalar. (Eds. Eren, E. & Sarfatı, M.). İktisatta Yeni Yaklaşımlar. İstanbul: İletişim Yayınları.
- [5] Serenko, A. & Detlor, B. (2002). Agent Toolkits: A General Overview of the Market and an Assessment of Instructor Satisfaction with Utilizing Toolkits In the Classroom., *Michael G. De Groote School of Business, McMaster University, Working Paper* 455.
- [6] Mantegna, N. R. & Stanley, H. E. (1995). Scaling Behavior in the Dynamics of an Economic Index. *Letters to Nature*, 376, 46-49.
- [7] Plerou, V. et al. (2000). Econophysics: Financial time series from a statistical physics point of view. *Physica*, 279, 443-456.
- [8] Gatti, D. et al. (2008). *Emergent Macroeconomics. An Agent-Based Approach to Business Fluctuations*. Milan: Springer.
- [9] Stiglitz, J. E. & Gallegati, M. (2011). Heterogeneous Interacting Agent Models for Understanding Monetary Economics. *Eastern Economic Journal*, 37, 6-12.
- [10] Rickles, D. (2004). Econophysics and Financial Market Complexity. (Eds. Collier, J. & Hooker, C.) *Handbook of the Philosophy of Science*, Vol. 10: Philosophy of Complex Systems, Nord Holland: Elsevier.
- [11] Tesfatsion, L. (2006). Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory. (Eds. Tesfatsion, L. and Judd, K. L.). *Handbook of Computational Economics*, 2, North-Holland, Elsevier, 831-880.
- [12] Colander D. (2003). The Complexity Revolution and the Future of Economics. *Middlebury College Economics Discussion Paper*. No: 03-19, 4.
- [13] Wible J. (2000). What is Complexity, Complexity and The History of Economic Thought. *Selected papers from the History of Economics Society Conference*, ed. Colander D.
- [14] Montgomery, M. R. (1999). Complexity Theory: An Austrian Perspective. (Eds. Colander, D.). *Complexity Theory and the History of Economic Thought*, Routledge Press, 227-240.
- [15] Fagiolo, G. & Roventin, A. (2012). Macroeconomic Policy in DSGE and Agent-Based Models, *Document de Travail Working Paper*, 2012-2017.
- [16] Leijonhufvud, A. (2006). Agent-Based Macro. (Eds. Tesfatsion, L. & Judd, K. L.). *Handbook of Computational Economics*, 2, Amsterdam: North-Holland, 1625-1637.
- [17] Howitt, P. (2011). What Have Central Bankers Learned From Modern Macroeconomic Theory?. *Journal of Macroeconomics*, 1-11.
- [18] Gatti, D. et al. (2005). The Apprentice Wizard: Monetary Policy, Complexity and Learning. *New Mathematics and Natural Computation*, 1, 109-128.
- [19] Kirman, A. (1992). Whom or What Does the Representative Individual Represent. *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117-136.
- [20] Farmer, D. & Foley, D. (2009). The Economy Needs Agent-Based Modelling. *Nature*, 460(6), 685-686.
- [21] Fagiolo, G. & Roventin, A. (2008). On the Scientific Status of Economic Policy: A Tale of Alternative Paradigms. Sant'Anna School of Advanced Studies Pisa, LEM Working Paper No. 2008/03.

- [22] Tesfatsion, L. ACE Reserach Area: Agent-Based Financial Economics, (www.econ.iastate.edu/tesfatsi/aapplic.htm). [10.09.2013].
- [23] Buchahan, M. (2009). Meltdown Modelling. *Nature*, 460(6), 680-683.
- [24] Tesfatsion, L. (2003). Agent-Based Computational Economics: Modeling Economies as Complex Adaptive Systems, *Information Sciences*, 149(4), 262-268.
- [25] Colander, D., et al. (2008). Beyond DSGE Models: Toward an Empirically Based Macroeconomics. *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 98(2), 236-240.
- [26] Lebaron, B. & Tesfatsion, L. (2008). Modeling Macroeconomies as Open Ended Dynamic Systems of Interaction Agents. *American Economic Review Papers & Proceedings*, 98(2), 246-250.
- [27] Mistry, A. (2003). Agent-Based Computational Economics. *Visible Hands*, 10(2), 9-10.
- [28] Macal, C.M. & North, M.J. (2010). Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151-162.
- [29] Axtell, R. (1999) Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Aciences. *Workshop on Agent Simulation: Applications Models and Tools*, ed. C. M. Macal and D. Sallach, University of Chicago, 1-22.
- [30] Axelroad, R. (2003). Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. *Japanese Journal for Management Information Systems*, 12(3), 1-19.
- [31] Tesfatsion, L. Agent-Based Computational Economics (ACE) Homepage, (www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm). [22.08.2013].
- [32] Borill, P. L. & Tesfatsion, L. (2011) "Agent-Based Modeling: The Right Mathematics for the Social Sciences?", (Eds.: Davis, J. B. & Hands, D. W.). *Elgar Recent Economic Modeling Methodology Companion*. Edward Elgar Publishers.
- [33] Franklin, S. & Graesser, A. (1996). Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, New York: Springer Verlag, 21-35.
- [34] Tesfatsion, L. (2011). *Agent-Based Macroeconomics: Constructive Modeling of Decentralized Market Economies*.
- [35] Brandouy, O. & Mathieu, P. (2007). A Conceptual Framework for the Evaluation of Agent-Based Trading and Technical Analysis. *Artificial Markets Modeling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 599(2), 63-79.
- [36] Tesfatsion, L. Agent-Based Computational Economics: Key Application Areas, (www.econ.iastate.edu/tesfatsi/aapplic.htm). [14.09.2013].
- [37] Oeffner, M. (2008). Agent-Based Keynesian Macroeconomics - An Evolutionary Model Embedded in an Agent-Based Computer Simulation. Phd Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Germany.
- [38] Howitt, P. (2006). Coordination Issues in Long-Run Growth. (Eds. Leigh Tesfatsion & Kenneth Judd). *Handbook of Computational Economics*. Vol. 2, North Holland: Amsterdam, 1605-1624.



Emrah KELEŞ (emrah.keles@marmara.edu.tr)

Emrah Keleş is research assistant at Faculty of Business Administration, Marmara University since 2012. Having graduated from Erzurum Science High School, he had his bachelor's degree from School of Business (English Program), Istanbul University in 2006. He worked at various positions in private sector, between 2003 and 2012. He had his MSc degree in Economics from Yildiz Technical University in 2012. He is now PhD candidate in Accounting & Finance Department in Institute of Social Sciences, Marmara University.



Ercan EREN (eren@yildiz.edu.tr)

Ercan Eren is professor at Faculty of Economics and Administrative Sciences, Yildiz Technical University since 1993. His research areas include micro and macro economics, methodology in economics, agent based modelling, complexity economics, political economics and history of economic thoughts. He gives lectures on macro economics in both undergraduate and graduate levels.