Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi, 2025, 10(4): 1782-1807
Journal of Research in Economics, Politics & Finance, 2025, 10(4): 1782-1807
Araştırma Makalesi / Research Article, https://doi.org/10.30784/epfad.1777353

KOMPLEKSİTE MAKRO İKTİSADI: AJAN BAZLI BİR MODEL*

Complexity Macroeconomics: An Agent Based Model

İbrahim BAŞARAN** & **Ercan EREN*****

Anahtar Kelimeler:
Kompleksite İktisadı,
Ajan Bazlı Makro İktisat,
Kompleks Adaptif Sistemler,
Konjonktürel Dalgalanmalar.

JEL Kodları:
C63, E1, E32.

Öz

Bu çalışma, kompleksite iktisadının özellikle makro iktisat alanına sunduğu temel argümanlar doğrultusunda geliştirilen temel bir ajan bazlı makroekonomik model sunmayı amaçlamaktadır. Yerleşik makroekonomik modellerin temsili ajanlar, rasyonel beklentiler ve denge varsayımları üzerine kurulu yapısına karşılık, çalışmada mikro düzeyde heterojen özelliklere sahip ve sınırlı rasyonellikle hareket eden ajanların doğrudan etkileşimleri sonucu ortaya çıkan makroekonomik dinamikler ön plana çıkarılmaktadır. Modelde yer alan ekonomik birimler, sınırlı bilgiye dayalı olarak çevresel koşullarını değerlendirmekte ve sezgisel davranış kuralları çerçevesinde kararlarını şekillendirmektedir. Bu çerçevede piyasalar, önceden tanımlanmış bir denge durumuna ulaşma zorunluluğu olmaksızın, ajanlar arası kompleks etkileşimlerin sonucu olarak kendiliğinden örgütlenen ve evrimsel olarak gelişen yapılar olarak ele alınmaktadır. Elde edilen bulgular, klasik denge temelli yaklaşımların ötesine geçilerek ekonomik sistemin daha gerçekçi, dinamik ve kapsayıcı bir biçimde kavramaya olanak tanıyan bir çerçevenin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, kompleksite iktisadının, özellikle kriz, belirsizlik dönemleri gibi düzensizlik içeren ve durağan olmayan süreçlerin analizinde daha işlevsel olabileceğini göstermektedir.

Keywords:
Complexity Economics,
Agent-Based Macroeconomics,
Complex Adaptive Systems,
Business Fluctuations.

JEL Codes:
C63, E1, E32.

Abstract

This study aims to present a baseline agent-based macroeconomic model developed in line with the core arguments that complexity economics brings, particularly to the field of macroeconomics. In contrast to the structure of standard macroeconomic models, which are built upon representative agents, rational expectations, and equilibrium assumptions, this study foregrounds macroeconomic dynamics that emerge from the direct interactions of agents who have heterogeneous characteristics at the micro level and operate with bounded rationality. The economic actors in the model assess their environmental conditions based on limited information and shape their decisions within the framework of heuristic behavioral rules. Within this context, markets are conceptualized as self-organizing and evolutionarily developing structures that arise from complex agent interactions, without the necessity of reaching a predefined equilibrium state. The findings demonstrate that it is possible to construct a framework that enables a more realistic, dynamic, and inclusive understanding of the economic system, moving beyond classical equilibrium-based approaches. This indicates that complexity economics may offer a more functional framework for analyzing irregular and non-stationary processes, particularly during periods of crisis and uncertainty.

---

* Bu çalışma İbrahim Başaran'ın Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsünde Prof. Dr. Ercan Eren danışmanlığı altında yürütülen Doktora Tez çalışmasından üretilmiştir.
** Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi / Türk-Alman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Türkiye, ibrahim.basaran@tau.edu.tr
*** Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Türkiye, ercaeren@gmail.com

Makale Geliş Tarihi (Received Date): 03.09.2025 *Makale Kabul Tarihi (Accepted Date): 08.11.2025*

Bu eser Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

2007-2008 Küresel Finans Krizi, yerleşik iktisadın teorik düzlemde temsili ajan, tam rasyonalite ve rasyonel beklentiler üzerine inşa edilen denge bağımlı modelleri için bir turnusol kâğıdı işlevi görmüş, geleneksel modeller teoride ve pratikte önemli eleştirilere maruz kalmıştır (Kirman, 2010; Trichet, 2010; Blanchard, 2018). Bu eleştiriler bağlamında kademeli bir biçimde söz konusu modellere dâhil edilen örneğin heterojen ajan (McKay ve Reis 2016; Kaplan vd., 2018) gibi eklemlemelere rağmen, bu geliştirme çabaları yerleşik iktisadın temel varsayımlarını sorgulamaktan çok, onları mevcut çerçeve içinde uyarlamaya çalışmışlardır. Bu nedenle söz konusu modeller, gerçek ekonomik işleyişin doğasını yakalamaya imkân tanımayan varsayımları bağlamında eleştirilmeye devam etmektedir (Holt vd., 2011; Stigtliz ve Gallegatti 2011; Romer, 2016; Stiglitz, 2018). Bu eleştiriler heterojenlikler, ekonomik aktörler arasındaki doğrudan etkileşim ve bu sayede ortaya çıkan kompleks ağ dinamiklerinin de modellemeye dahil edilme gerekliliğini gün ışığına çıkmıştır (Haldane ve Turrell, 2018). Ayrıca, geleneksel makro modellerin ekonomik işleyişle ilgili yakalamakta başarısız olduğu diğer temel unsurlar rasyonel olmayan beklentiler, sezgisel/yetinmeci davranış kalıpları, pozitif/negatif geri bildirimler ve patika bağımlılıkları olarak ele alınmaktadır (Serletis, 2014; Arthur, 2015). Yerleşik modellerde var olan tüm bu eksiklikler, ekonomik sistemlerin evrimsel doğasını, adaptif davranışlarını ve ortaya çıkan (emergence) yapıları kavrayacak yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır (Cincotti vd., 2022).

Literatürde, söz konusu ihtiyacı karşılayabilecek bir paradigma olarak değerlendirilen Kompleksite yaklaşımına göre (Colander vd., 2004; Axtell, 2007; Holt vd., 2011), ekonomiler çok sayıda heterojen bileşenin yerel, doğrusal olmayan, dağınık ve kompleks etkileşimlerinden oluşmaktadır (Farmer ve Foley, 2009). Bu etkileşimler sistem davranışını, bileşenlerinin tekil toplamı şeklinde kolayca analiz etmeye imkân tanımayan kompleks bir yapıya büründürmektedir. Kompleksite iktisadının ekonomiyi ele alış biçiminde ortaya koyduğu bu farklılıklar yeni bir kavramsal ve analitik araç ihtiyacını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda Ajan Bazlı Modelleme (ABM) yaklaşımı heterojen, özerk ve sınırlı rasyonel ajanların doğrudan kompleks etkileşimiyle ekonomilerin evrimsel doğasını incelemek için uygun bir modelleme yöntemi sunmaktadır (Tesfatsion, 2006). Bu çerçevede çalışmanın amacı, kompleksite iktisadının temel argümanları doğrultusunda Ajan Bazlı Modelleme yöntemini kullanarak makro bir model geliştirmektir. Böylece çalışma, sabit nokta teoremlerine dayanan makroekonomik denge çözümlerinin yanı sıra (Heijdra ve Ploeg, 2002), belirim (emergence) ve evrimsel süreçler sergileyebilen daha gerçekçi bir ekonomi tasarımının mümkün olduğu görüşüne (Arthur vd., 1997; Foster ve Metcalfe, 2012; Colander, 2019) katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Nitekim Küresel Finans Krizinde deneyimlendiği üzere, ekonomilerde içsel olarak krizler ortaya çıkabilmekte, kendi kendini besleyen negatif geri bildirim döngüleri ve iç içe geçmiş kompleks ilişki ağları aracılığıyla krizler derinleşebilmektedir (Delli Gatti vd., 2010).

Bu doğrultuda çalışma kapsamında, bireysel optimizasyon davranışlarının ve merkezi bir tahsis mekanizmasının olmadığı bir sistemde ekonomiler kendiliğinden oluşan düzenli/istikrarlı bir yapı sergileyebilir mi sorusunun cevabı aranacaktır. Bu çerçevede çalışmada sunulan model, bir pür piyasa ekonomisinin temel mekanizmalarını açıklamaya yönelik olarak kurgulanmıştır. Dolayısıyla çalışma, odak noktası ajan bazlı makro bir model geliştirmek olan ve örneğin talep yetersizliğini giderecek mekanizmaları içeren (örneğin Russo vd., 2007; Gaffeo vd., 2008; Ricetti, 2015) veya davranışsal kalıplar üzerinden piyasaları durağan duruma yakınsatacak dışsal dayatmalara yer veren (Legnick, 2013) önceki çalışmalardan farklılaşmaktadır. Buna ek olarak

çalışma (1) model kurgusu bakımdan hanehalkı seviyesinde heterojenliğe yer vermesi ve (2) parametre ve başlangıç değerlerinin Caiani vd. (2016, 2019) tarafından sunulan yöntemleri takip ederek keyfiyetten uzak bir şekilde belirlenmesi ile söz konusu araştırmalardan ayrışmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle, çalışmanın ilgili literatüre katkı sağlama potansiyeli bulunmaktadır.

Çalışmanın sonraki bölümünde kompleksite makro iktisadına yönelik teorik çerçeve sunulmaktadır. Üçüncü bölümde kompleksite makro iktisadı temelleri üzerine inşa edilen ajan bazlı makro modellere ilişkin literatür taraması incelendikten sonra, dördüncü bölümde çalışmanın temel amacını oluşturan ajan bazlı makro model tanıtılmaktadır. Model simülasyonundan elde edilen bulguların tartışıldığı beşinci bölümden sonra, genel bir değerlendirme yapılarak çalışma sonlandırılmaktadır.

2. Kompleksite "Makro" İktisadı

Küresel Finans Krizi sonrasında Caballero'nun (2010) makroekonomide "çekirdek" ve "çevre" arasındaki 'temel gerilim' olarak tanımladığı tartışma önem kazanmıştır. Çekirdek, ekonomik işleyişin nasıl olduğu sorusuna yönelik olarak arzuladığımız ancak gerçeklikle sınırlı bağlantısı olan bir cevap türü iken, çevre daha mantıklı (gerçekçi) ancak eksik cevaplar barındırmaktadır (Caballero, 2010: 86). Gerçeklikle sınırlı bağlantısı göz önüne alındığında çekirdek, modern makro modellerden oluşmaktadır.[1] Günümüzde çevre'den çekirdeğe gelen eleştiriler kademeli bir biçimde söz konusu modellere dâhil edilse de bu tür eklemeler[2] modern makro modellerin temel varsayımlarını sorgulamaktan çok, onları mevcut çerçeve içinde uyarlamaya çalışmakta ve böylece analiz çerçevesinin özünde var olan indirgemeci ve genel denge odaklı yaklaşımı sürdürmektedir.[3] Bu nedenle ekonominin doğasını yakalamaya imkân tanımayan varsayımları bağlamında eleştirilerin odağında kalmaya devam etmektedir[4].

İktisadi aktörlerin atomize yapıda olduğu, birbirinden bağımsız şekilde tek başına hareket ettiği ve aralarındaki tek etkileşimin fiyat sistemi aracılığıyla dolaylı biçimde gerçekleştiği varsayımı temel eleştirilerden birisidir (Delli Gatti vd., 2007). Bu indirgemeci yaklaşımın makro iktisada yansıması makroekonomik davranışın tam olarak temsili iktisadi aktörlerin davranışına karşılık geldiği *toplulaştırma/derneştirme (aggregation)* varsayımıdır. Bu anlayışa göre ekonomik sistemin bütünü parçalarının basitçe toplamına özdeştir. Fakat bu özdeşlik ancak ve ancak bir iktisadi aktörün davranışının diğer ajanlarınkinden etkilenmemesi ve sistemdeki değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkilerin doğrusal olması durumunda geçerlidir. Ajanlar arası

[1] Modern Makro Çekirdeği Yeni Klasik, Reel Konjonktür Okulu ve Yeni Keynesyen [Dinamik Stokastik Genel Denge (DSGD)] ekollerinden oluşmaktadır (Heijdra ve Ploeg, 2002; Rosser, 2021). Köklü bir teorik temelde ekonomik tahmin ve politika analizi için standart haline gelen ve günümüzde Merkez Bankaları ve diğer kurumlar tarafından kullanılması sebebiyle Dinamik Stokastik Genel Denge (DSGD) modelleri modern makro çekirdeğinin en önemli model ailesini oluşturur (Blanchard, 2018; Poledna vd., 2023).

[2] Heteregenous Agent New Keynesian (HANK) modelleri hanehalkı ve firma heterojenliklerinin makroekonomik değişkenler üzerine etkilerini göstermek için kullanılmıştır. bkz. McKay ve Reis (2016) Kaplan vd. (2018) ve Ottonello ve Winberry (2020).

[3] Heterojen ajanlı modellerde rasyonel beklenti kullanımının yarattığı sorunlar ve olası alternatif beklenti formlarının karşılaması gereken özellikleri tartışan çalışma için bkz. Moll (2024).

[4] Örneğin Romer (2016) Hayek'e (1952) benzer biçimde Caballero'nun çekirdek olarak adlandırdığı modern makroyu "sözde bilim" olarak değerlendirmektedir. Benzer biçimde Stiglitz (2018) modern makro çekirdeğini DSGD modelleri çerçevesinde kapsamlı bir biçimde eleştirmektedir. Diğer bazı örnekler için bkz. Colander vd. (2008) LeBaron ve Tesfatsion (2008).

kompleks bir etkileşimin var olması durumunda ise bütün, bileşenlerinin tek tek toplanmasıyla elde edilen toplamdan farklı olacaktır (Eren ve Uysal, 2017). Tıpkı vücut sistemleri, karınca ve böcek kolonileri, trafik akışı ya da kuş sürüleri vb. doğal sistemlerde olduğu gibi ekonomiler de doğaları gereği doğrusal olmayan etkileşimler barındırır. Çok sayıda heterojen bileşenin yerel, doğrusal olmayan, dağınık etkileşimleri sistem davranışını kolayca analiz etmeye imkân tanımayan kompleks bir yapıya büründürür (Dosi ve Roventini, 2019). Dolayısıyla iktisadi aktörler arasındaki doğrudan etkileşim, karşılıklı bağımlılık ve bu sayede oluşan ajanlararası kompleks ağ (network) olgularını dışlayan bir yaklaşım geleneğinin sürdürülmesi, yetersiz bir analiz çerçevesi sunmaktadır (Cincotti vd., 2022).

Bir diğer önemli eleştiri, iktisadi aktörlerin davranış kalıplarını şekillendiren beklentiler üzerinedir. Muth'da (1961) belirtilen ve modern makro modellerin genellikle takip ettiği güçlü rasyonel beklentiler formu, her bir iktisadi aktörün diğer tüm ajanların davranışlarını ve alacakları kararları, ekonominin yapısına dair deterministik dışsal parametrelerin gerçek değerlerini, stokastik dışsal değişkenleri yöneten olasılık dağılımlarının özelliklerini ve içsel değişkenlerin gerçekleşen değerlerini bildiği şeklindedir. Bu beklentilere sahip ajanların mikro düzeydeki davranış biçimi ise tam bilgi formasyonuna uygun olarak tasarlanmaktadır: Bir bütçe kısıtlamasına tabi olan her iktisadi aktör beklenen faydanın iskonto edilmiş toplamını maksimize etmektedir. Rasyonel beklentiler formu, kararlarını tam bilgi seti altında optimizasyon problemi çözerek alan bu davranış kalıbı ile birleşince iktisadi aktörlerin sistematik hata yapmasına imkan vermeden, ekonomik sistemin hem mikro hem de makro düzeyde daima denge durumunda olmasını garanti etmektedir. Öyle ki bu durum modern makro iktisat çekirdeğine yönelik bir diğer önemli eleştirinin temelini oluşturmaktadır. Kocherlakota'nın (2010) belirttiği gibi, *"makroekonomideki zorluk, neredeyse her değişkenin içsel olması, ancak içsel değişkenlerin hareket etmesi için makroekonominin bir tür dışsal olarak belirlenmiş şoklara maruz kalması gerektiğidir."* Dolayısıyla modern makro modellerde herhangi bir zamanda içsel olarak ortaya çıkan (***emergence***) ciddi bir kriz yaşanma olasılığı yoktur. Bu sebeple ekonomik krizlerin varlığı, ekonominin içsel/yapısal unsurlarına değil iktisadi aktörlere ait tercihler, teknoloji veya kamu politikası gibi unsurlara yönelik dışsal şoklara bağlanmaktadır. Dahası dışsal bir şok sebebiyle bir kriz yaşansa dahi, ekonomi için krizi derinleştiren mekanizmalar hakkında kuramsal olarak tutarlı herhangi bir argüman üretememektedirler. Bu da modern makro modellerin en temel yetersizliğini ortaya koymaktadır (Serletis, 2014).

Nitekim son yaşanan Küresel Finans Krizinde deneyimlendiği üzere, krizler sırasında kendi kendini besleyen negatif geri bildirim döngüleri ile iç içe geçmiş kompleks ilişki ağlarının krizlerin derinleşmesinde etkili olabileceği anlaşılmıştır (Lee ve Nobi, 2018; Faggini vd., 2019). Bu doğrultuda, klasik denge anlayışının ötesine geçerek ekonomik süreçleri kompleks uyarlanabilir (adaptif) sistemler olarak ele alan kompleksite iktisadı, ampirik gözlemlere dayalı bir analiz çerçevesi sunarak iktisadi süreçleri daha dinamik ve etkileşimli bir perspektiften ele alır. Tümdengelimci yöntem ve tartışmalı varsayımları sebebiyle kompleksliğin ve gerçekliğin nedensel özelliklerini doğal olarak gözden kaçıran yerleşik iktisadın aksine, ekonomilerin çok sayıda heterojen aktörün kompleks etkileşimleri sonucu ortaya çıktığı ve zamanla evrimleşebildiği gerçeği kompleksite iktisadının kalkış noktasını oluşturur.

Kompleks sistemler, tek tek parçalarına ayrılarak analiz edildiklerinde anlaşılamayan sistemlerdir. Dolayısıyla alt bileşenlerinin toplamına indirgenemez ve bu sistemlerin doğasını anlamak, yalnızca alt birimlerin davranışlarını tanımlamakla mümkün değildir. Bu tür sistemler, birbirleriyle ve dış çevreyle güçlü etkileşimler içinde olan açık yapılar olduğundan, birkaç basit

tanımlayıcı ilişki yoluyla indirgenmiş analitik bir temsile sığdırılamaz. Geçen yüzyılın kuantum devrimi, bu doğrultuda çağdaş fiziğin bakış açısını kökten değiştirerek indirgemeci yaklaşımın sınırlarını ortaya koymuş ve bütüncül anlayışın önemini artırmıştır. Bu dönüşüm, fiziksel sistemlerin yalnızca temel bileşenleri üzerinden açıklanamayacağını, aksine parçacıklar arasındaki etkileşimlerin sistemin bütünsel davranışını belirlediğini göstermiştir. Bütüncül yaklaşıma göre, sistemin bütünü, bileşenlerinin basit bir toplamından daha fazlasıdır; ancak, mikro birimlerin özellikleri de bütünden bağımsız değildir. Dolayısıyla, sistemi anlamak için onu yalnızca parçalarına ayırmak değil, birimler arası etkileşimleri ve buradan doğan bütünsel kompleks yapıyı göz önünde bulunduran bir analiz gerektirmektedir. (Delli Gatti vd., 2005; Cincotti vd., 2022).

Bu bakış açısı değişikliği (makro) iktisat teorisi için iki büyük sonuç yaratır. Birincisi, yerleşik iktisadın tasvir ettiği pürüzsüz ekonomik hayatta *atomize* iktisadi aktörlerin davranış kalıplarını modellemek için genellikle kullanılan rasyonellik varsayımlarını sorgulamaktadır. Optimizasyon teknikleri, ancak ve ancak alternatif eylemlerin tüm sonuçları, en azından olasılık dağılımları anlamında, önceden tutarlı bir şekilde tasarlanabildiği takdirde, ampirik ve hipotetik rasyonalitenin örtüşmesini garanti eder. Fakat, kompleks sistemler için bu olasılık genellikle ortadan kalmaktadır, çünkü kompleks etkileşimli heterojen ajan dinamikleri Knightian anlamda riske indirgenemeyecek bir belirsizliğe yol açar. Temel belirsizliğe tabi olan aktörlerin tam rasyoneliteden kopuşu kaçınılmaz olarak bireysel karar süreçleri için sınırlı rasyonel ve adaptif davranış kalıpları tanımlamayı gerektirir. Zira belirsizliklerin iktisadi aktörleri çevrelediği bir ortamda karar problemleri doğru bir biçimde tanımlanamaz. Bu nedenle optimal bir hamle seti, optimal bir davranış yoktur (Arthur, 2021). Aktörler sezgisel (heuristic) davranış kalıpları çerçevesinde gerçekleşen sonuçlar doğrultusunda geriye dönük olarak karar alırlar. Başka bir deyişle geleceğe ilişkin kararlar adaptif beklentilere (hata düzeltme prosederüne) göre güncellenir. Dolayısıyla olayların ve sonuçların gelecekteki seyrine ilişkin beklentiler, karar alma sürecinin önemli bir parçasını oluşturur. Sonuç olarak kompleksite perspektifinden ele alınan bir ekonomi için sınırlı rasyonellik istisna değil bir kural oluşturur. (Gaffeo vd., 2008).

Kompleksite yaklaşımının (makro) iktisada ikinci yansıması, genel denge çözümünün iktisadi analize yönelik yaygın uygulama yöntemi olmasıyla ilgilidir. Walrascı bir müzayedecinin devreye sokulması, araştırmacının makroekonomide söz konusu olan asıl soruyu, yani kendi çıkarını düşünen iktisadi aktörlerin çoğu zaman merkezi olmayan piyasalarda nasıl koordine olduklarını ve aynı zamanda neden görünürde herhangi bir dışsal neden olmaksızın bazı büyük ekonomik krizlerin meydana geldiğini açıklamasını engellemektedir. Kompleksite iktisadı bu durumdan bir çıkış yolu sunar ve yeni perspektifler önerir. Kompleks uyarlanabilir ekonomiler, zaman zaman hızlı değişim patlamaları ile noktalanan, oldukça istikrarlı toplam davranışa doğru kendi kendini organize etme eğilimi gösterir. Patlamaların veya çöküşlerin sebebi sistemin bireysel davranışlarını şekillendiren olgularıdır. Bu durum karar vermenin merkezi olmadığı bir sistemde ekonomik faaliyetleri koordine edebilmek için toplanması gereken bilginin zaman alacağı ve maliyetli olacağı anlamına gelir. İktisadi kararlar elde edilebilen bu bilgi seti ile oluşturulan beklentiler üzerine alınır. Bilgi maliyetli ve eksik olunca ve üstelik diğer ajanların kararları ve beklentilerinden de etkilenince bireyler geleceği tam olarak öngöremezler (Öğüt, 2018). Kompleksite iktisadında Knightian anlamda ele alınan bu belirsizlik ex-ante ve ex-post yönelimler arasındaki uyumsuzluğa ve böylece ekonomik aktivitenin dalgalanmasına yol açar. Dalgalanmalar sonrası oluşan kendiliğinden düzen ise herhangi bir merkezi denetleyiciye ihtiyaç duymadan, yine bireyler arasında gerçekleşen etkileşim sürecinde ortaya çıkar. Dolayısıyla

sistemin hareket düzeni yukarıdan aşağıya değil aşağıdan yukarıya doğru oluşur. Uyarlanabilir davranışlar istikrarlı ve öngörülebilir toplam davranışa yol açar, çünkü istikrar öngörülebilirlik anlamına gelir ve bunun tersi de geçerlidir. Sistemde bir uyumsuzluk yaşandıktan ve sistem vahşi istikrarsızlık dönemleri yaşadıktan sonra, yeni uyarlanabilir davranış biçimleri birlikte gelişerek ekonomiyi yeni bir istikrar aşamasına, durağan duruma doğru yönlendirir. Buradaki durağan durum (steady state) yerleşik anlamda değil yarı durağan durum (quasi steady state) şeklindedir. Başka bir deyişle mutlak ve eş anlı bireysel ve toplumsal optimallik geçerli değildir. Mikro düzeyde aktörler dengesizlik durumları yaşasa dahi sistem makro düzeyde düzenli bir yapı sergileyebilir (Gaffeo vd., 2008). Ortaya konan bu formülasyonun bir sonucu, mevcut mikro-makro ayrımının aksine, mezo düzeydeki organizasyonların aracılık ettiği yani mikro ve makronun entegre hali olarak düşünülebilecek bir kompleks ekonomik sistemdir (Eren, 2020; Wagner, 2020).

Kompleksite iktisadının ekonomiyi ele alış biçiminde ortaya koyduğu bu farklılıklar şüphesiz kompleks sistemlerin doğasına uygun yeni bir kavramsal ve analitik araç ihtiyacını gündeme getirmektedir. Bu noktada Walrascı müzayedecinin terk edilmesi, piyasa sonuçlarının bir diferansiyel denklem sisteminin sabit nokta çözümü olarak çıkarılması yerine, çok sayıda etkileşim halindeki heterojen, adaptif ve algoritmik davranış kalıplarına sahip aktörler tarafından yapılan paralel hesaplamalardan türetilmesi gerektiği anlamına gelir. Dışarıdan dayatılan merkezi koordinasyon araçlarının kaldırılma süreci, yukarıdan aşağıya, indirgemeci bir bakış açısından aşağıdan yukarıya bir yaklaşıma doğru kaymaya neden olur. Ajan Bazlı Modelleme, kurgusu tam olarak bu temel üzerine inşa edilen son derece uygun bir modelleme yöntemidir. Mikro, mezo veya makro gibi herhangi bir düzeyde güçlü bir denge kavramı empoze etmeye gerek kalmadan heterojen, özerk ve sınırlı rasyonel ajanların doğrudan dinamik etkileşimine imkân tanır. Böylece ekonomilerin evrimsel doğasını incelemek için uygun bir yöntem sunar. (Tesfatsion, 2006; Fierro, 2020: 9).

3. Literatür

Literatürde yer alan her ajan bazlı makro modelin kendine özgü araştırma soruları temelinde kurgulanması veya model sonuçlarını etkileyebilecek kadar farklı detaylar içermesi nedeniyle modellere dair belirli bir tasnifin yapılmasını güçleştirmektedir (Dawid ve Delli Gatti, 2018). Bununla beraber literatür incelendiğinde başlıca dört temel makro ABM ailesi şu şekilde oluşmuştur: (1) Schumpeterci içsel inovasyon süreçleri ile Keynesyen efektif talep dinamiklerini bir araya getiren K+S (Schumpeter meeting Keynes) modelleri; (2) basit davranış ve adaptasyon kuralları temelinde ekonomilerde gözlenen finansal kırılganlık ve kriz döngüleri gibi yapısal olguların nasıl kendiliğinden ortaya çıktığını ve sürdürüldüğünü açıklamaya çalışan Complex Adaptive Trivial System (CATS) modelleri (Delli Gatti vd, 2005, 2007,2010); (3) ekonomik analiz ve farklı politika önlemlerinin etkilerini değerlendirmek için Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilmiş EURACE projesi kapsamında geliştirilen EURACE modelleri ve (4) son dönemde veriye dayalı gelişen IIASA ve uzantısı CANVAS modelleri.[5] Her model ailesi farklı teorik ve metodolojik katkılar sağlamış ve bir dizi politika analizi ve tahmin sorununa yönelik olarak geliştirilmiştir.

[5] EURACE ve CATS modellerine dair detaylı inceleme için bkz. Dawid ve Delli Gatti (2018). K+ S modellerinin detaylı incelemesi için Dosi ve Roventini (2025), IIASA modelleri için Poledna vd. (2023) ve Kanada Merkez Bankasınca kullanılan CANVAS modeli için bkz. Hommes vd. (2025).

İktisadi verileri niceliksel olarak yeniden üretmek veya tahmin etmek amacıyla kalibrasyon/tahmin prosedürleri yoluyla bireylerin davranışlarını belirlemek için mikro verilerin kullanıldığı büyük ölçekli EURACE ve IIASA-CANVAS modelleri dışarda tutulduğunda CATS ve K&S model aileleri, ekonomilerin farklı mekanizmalarına odaklanan ve daha çok niteliksel özellikleri replika etmeye yönelik tasarlanan kavramsal modellerden oluşmaktadır. Bu çalışmada sunulan model, gerçek iktisadi olguları makro ve mikro düzeyde niteliksel olarak yeniden üretmek için genel olarak yalnızca birkaç tür ajan ve piyasa içeren CATS model ailesine yakın olduğundan aşağıda benzer çalışmalara değinilmektedir.

İlgili model ailesi grubunda yer alan Russo vd. (2007), sınırlı rasyonel firmaların ve işçilerin, rastgele eşleştirme protokolleri aracılığıyla nihai mallar ve işgücü için tamamen merkezi olmayan piyasalarda karşı karşıya geldiği ajan bazlı bir makro model sunmaktadır. Model, firmalar arasında merkezi olmayan karar alma mekanizmalarının nasıl içsel konjonktürel dalgalanmalarına yol açabileceğini açıkça göstermektedir; bu da temsili ajan modelleri tarafından öngörülen statik, denge sonuçlarıyla tam bir tezat oluşturmaktadır. Öte taraftan, yazarlar eşleştirme sürecini açıkça modelleyerek, arama ve eşleştirme sürtünmelerinin işsizlik dinamiklerine nasıl katkıda bulunduğunu ve toplam çıktıyı nasıl etkilediğini açıklığa kavuşturmaktadır. Ayrıca çalışma gelişmiş ekonomilerin tarih boyunca gözlemlenmiş çeşitli dinamik örüntülerini (stilize gerçekleri) kopyalayabilmektedir. Bu yönüyle çalışma literatürde önemli mihenk taşlarından birini oluşturmaktadır. Politika analizi yönünden ise piyasa dinamiklerini şekillendirmede maliye politikası ve Ar-Ge yatırımlarının rolünü değerlendirmek için ajan bazlı makro model kullanan ilk katkılar arasındadır. Ar-Ge'yi artırmayı amaçlayan mali teşvikler gibi politika araçlarının inovasyon, firma büyümesi ve endüstriyel yapı üzerinde önemli etkileri olabileceğini göstermektedir. Çalışma, model ekonomiyi uzun dönemler boyunca simüle ederek, mali politikaların sadece cari çıktıyı etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda inovasyon dinamikleri üzerindeki etkileri yoluyla büyüme beklentileri üzerinde önemli uzun vadeli etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma ABM'lerin önemli yapısal değişimlerin yaşandığı ortamlarda ekonomik dinamikleri yakalayabilen politika değerlendirme araçları olarak potansiyelinin altını çizmektedir.

Gaffeo vd. (2008), Russo vd. (2007) tarafından sunulan modele bankacılık kesimini dahil ederek makroekonomik olgular için mikro temeller geliştirmeye odaklanmaktadır. Çalışmanın temelini ekonominin, sınırlı rasyonaliteye tabii olan ve basit karar alma mekanizmaları kullanan bireysel aktörlerin merkezi olmayan piyasalarda etkileşimde bulunduğu kompleks bir uyarlanabilir sistem olarak görülmesi gerektiği fikri oluşturmaktadır. Çalışma, rasyonel beklentiler altında klasik optimizasyonun sınırlılıklarının altını çizmekte ve bunun yerine ajanların deneme-yanılma yoluyla karar verme ve uyarlanabilir öğrenme gibi sezgisel davranışlarının konjonktürel dalgalanmalar, işsizlik ve finansal krizler gibi ortaya çıkan (*emergence*) olguları anlamanın önemli bir parçası olduğunu savunmaktadır. Zira ajanların etkileşimleri, merkezi bir planlayıcıdan ziyade yerel arama ve merkezi olmayan eşleştirme protokolleri aracılığıyla modellenmektedir. Simülasyon sonuçları, nispeten basit davranış kurallarıyla bile, toplam ekonominin Phillips eğrisi, Okun yasası ve firma büyüklüğünün Gauss (Normal) olmayan dağılım sergilediği gibi ampirik gözlemleri yansıtan kompleks dinamikler sergileyebileceğini ortaya koymaktadır. Böylece çalışma birçok makroekonomik stilize olgunun (stylized facts) merkezi olmayan, uyarlanabilir mikro süreçlerden doğal olarak ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Modelde elde edilen bu bulgular ince ayarlı kalibrasyon sürecinin yokluğunda dahi uyarlanabilir mikro temellerin açıklayıcı gücünün altını çizmektedir. Bu bakış

açısı, geleneksel modellerde dışsal olarak empoze edilen şoklara makul bir alternatif sağladığından, krizleri ve diğer denge dışı dinamikleri anlayabilmek için özellikle değerlidir.

Temel bir ajan bazlı makro model sunulan diğer bir çalışma Lengnick’e (2013) aittir. Lengnick, daha ayrıntılı modellerde gözlemlenen aşırı parametre sorunundan kaçınarak makro dinamiklerin temel özelliklerini yakalayan bir referans çerçevesi sağlamaktadır. Model ölçeği kasıtlı olarak küçük tutulmuş ve yalnızca basit uyarlanabilir davranış kuralları aracılığıyla doğrudan etkileşime giren hane halkları ve firmalara yer verilmiştir. Buna rağmen model, endojen konjonktürel dalgalanmalar, gönülsüz işsizlik ve firma büyüklüklerinin gerçekçi dağılımları (sağa çarpık) da dahil olmak üzere çeşitli stilize olguları yeniden üretme yeteneğine sahiptir. Bu yönüyle çalışma denge varsayımlarına dayanmadan ampirik düzenlilikleri yeniden üretmek için ajan temelli bir yaklaşımın uygulanabilirliğini güçlendirmektedir. Lengnick'in yaklaşımının temelinde, makroekonomik büyüklüklerin, bu etkileşimlerin uygun şekilde yapılandırılması ve uyarlanabilir davranışlarla donatılması halinde, mütevazı bir mikro etkileşimler kümesinden ortaya çıkabileceği kabulü yatmaktadır. Çalışma ayrıca mikro düzeydeki küçük değişikliklerin önemli makro sonuçlara yol açabildiği "kelebek etkisi"ni vurgulamakta ve böylece tamamen optimize edilmiş karar kuralları yerine sınırlı rasyonalite kullanımını haklı çıkarmaktadır.

Riccetti vd. (2015), işgücü ve kredi gibi piyasalarda temel bir rol oynayan merkezi olmayan eşleştirme sürecine odaklanarak ajan temelli modelleme literatüründe daha önce görece gri kalan eşleşme mekanizması tasarımlarını açık bir biçimde anlaşılır kılarak daha sonra ki çalışmalar için bir standart oluşturan eşleşme protokolü sunmaktadır. Geliştirdikleri model, firmalar ve iş arayanlar gibi heterojen aktörler arasındaki merkezi olmayan etkileşimlerin içsel piyasa başarısızlıklarına yol açabileceğini öne sürmektedir. Çalışmadaki metodolojik yenilik, aktörlerin eksik bilgi altında ve en iyi eşleşme kriterlerine göre seçtikleri bir protokol çerçevesinde merkezi olmayan eşleşme mekanizması tasarımında yatmaktadır. Bu prosedür, ücret dağılımı, işgücü piyasası uyumsuzlukları ve zamanla değişen işsizlik oranları gibi ampirik gözlemlerle tutarlı olan ancak mükemmel, merkezi takas varsayılan modellerde tipik olarak bulunmayan özellikler ortaya çıkarmaktadır. Modelin yapısı, ajanlar eşleştirme kararlarında basit sezgisel yöntemler kullansalar bile, toplam ekonominin kompleks dinamikler ve kalıcı dengesizlikler sergileyebileceğini göstermektedir. Bunu yaparken çalışma, merkezi olmayan etkileşimlerce evrimleşebilen ağ ilişkilerinin gerçekçi işgücü ve kredi piyasası olgularını yakalamak için çok önemli olduğu yönündeki kompleksite iktisadı argümanını desteklemektedir.

Russo vd. (2016), artan eşitsizlik, tüketici kredisi ve finansal kırılganlık arasındaki etkileşime odaklanarak önemli finansal boyutları daha önceki çalışmalarına dahil etmişlerdir. Model, tüketici kredisinin ikili rolünü yakalayacak şekilde uyarlanmıştır: tüketicilerin tüketim kredisine erişimi tüketimi canlandırabilir ve işsizliği geçici olarak azaltabilirken diğer yandan, zaman içinde, tüketim kredisi ile ilişkili faiz ödemeleri hane halkı servetinde bir düşüşe yol açarak eşitsizliği artırır ve yüksek işsizlik oranları ile sistemik krizleri daha erken dönemlere çekmektedir. Çalışmanın gücü, kritik bir politika ödünleşmesini tanımlamalarında yatmaktadır. Bulgular, bankaların daha fazla tüketici kredisi ile ilişkili daha yüksek kar marjlarından geçici olarak faydalanabileceğini, ancak bu kazançların artan makroekonomik değişkenlik ve finansal kırılganlık pahasına geldiğini ortaya koymaktadır. Modelin sonuçları, bölüşüme dair etkilerin ikincil konular olmadığını, aksine kredi ve ekonomik istikrarın daha geniş dinamikleriyle yakından bağlantılı olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, kredi genişlemesi, gelir dağılımı ve toplam talep arasındaki geri besleme döngülerini detaylandırarak, finansal piyasaların ve

heterojen tüketici davranışının iş döngüsü dinamiklerini şekillendirmek için nasıl etkileşime girdiğine dair bir görüş sunmaktadır.

Caiani vd. (2016), ajan bazlı modellemeyi stok-akım tutarlı (SFC) muhasebe çerçeveleriyle bütünleştirerek kurulan ve referans noktası oluşturan literatürdeki önemli çalışmalardan birisidir. Modelde, firmalar tüketim malı ve sermaye malı üretenler olmak üzere farklılaşarak sunulan literatürden ayrışmaktadır. Sermaye malı üreten firmalar işgücü verimliliğini etkileyen farklılaştırılmış sermaye sürümleri üretmek için Ar-Ge'ye yatırım yaptıklarından, model teknolojik değişimdeki evrimsel dinamikleri de yakalayabilmektedir. Çalışma, toplam ekonomik faaliyetteki dalgalanma, işsizlik dinamikleri ve iş döngüsü düzenlilikleri gibi birçok önemli stilize gerçeği tekrarlamakla kalmayıp, aynı zamanda ABM literatüründe daha önce "kara kutu" olarak adlandırılabilecek aktörlere ait başlangıç değerleri ve parametre uzayı için güvenilir bir metodolojik zemin sağlamaktadır. Yaklaşımları özellikle kavramsal modellere yöneltilen bu eleştirilerin giderilmesinde önemli bir dönüm noktasıdır. Caiani vd. (2019) çalışması ise hane halkı sektörünü açıkça farklılaştırılmış sınıflara (işçiler, ofis çalışanları, Ar-Ge çalışanları ve yöneticiler) ayırarak ve değişen işgücü taleplerini yansıtan hiyerarşik yapıları firmalara yerleştirerek daha önceki modeli geliştirmektedir. Simülasyon bulguları ücret koordinasyonunu teşvik eden artan oranlı vergilendirme ve işgücü piyasası politikalarının aynı anda büyümeyi teşvik edebileceğini ve eşitsizliği azaltabileceğini göstermektedir. Bu tür bulgular, ayrıntılı finansal stok ve akımları ajan temelli çerçevelere dahil etmenin pratik faydasını vurgulamakta ve böylece hem davranışsal olarak zengin hem de makroekonomik olarak tutarlı modeller üretmektedir.

Bu katkıları birbirine bağlayan ortak bir görüş, ekonomilerin heterojen aktörler arası merkezi olmayan etkileşimlerden ortaya çıktığı kompleks uyarlanabilir sistemler olarak değerlendirilmesi ve modellenmesine olan bağlılıklarında yatmaktadır. Russo vd. (2007) ve Gaffeo vd. (2008), mikro düzeydeki basit uyarlanabilir davranışın gözlemlenen makroekonomik dalgalanmaları oluşturmak için yeterli olduğunu savunarak ajan bazlı makro modellere bir temel sağlarken Legnick (2013), görece basitliğine rağmen makroekonomide mikro-makro bağlantıların önemini kabul etmeye ikna eden bir modelle bu fikri geliştirmektedir. Riccetti vd. (2015) ise piyasa başarısızlıklarının merkezi piyasa takas modellerinin öngördüğünden belirgin şekilde farklı toplam sonuçlara nasıl yol açabileceğini gösteren merkezi olmayan eşleştirme mekanizmalarını standardize ederek bir adım daha atmıştır. Bu bulgular, ajanlar arasındaki eşleşme mekanizmalarının işsizlik ve çıktı üzerinde önemsiz olmayan etkileri olduğunu göstererek daha önceki araştırmaları tamamlamaktadır. Son olarak, Caiani vd. (2016), sadece aktörlerin merkezi olmayan şekillerde etkileşime girmesini değil, aynı zamanda bu etkileşimlerin makroekonomik tutarlılığı zorunlu kılan stok-akış tutarlı bir çerçeveye yerleştirilmesini sağlayarak bu grupların bir sentezini temsil etmektedir. Modelin başlangıç değerleri ve parametre kalibrasyonuna yönelik sunulan tutarlı yöntem ise hem ampirik olarak sağlam hem de teorik olarak temellendirilmiş referans (benchmark) modelleri oluşturmak için önemli bir yol sağlamaktadır.

Çalışmamızın temel katkısı, yukarıda sunulan ajan bazlı temel makro modellerden farklı olarak hanehalkı seviyesinde heterojenliğe yer vermesi, aktörlere ait karar verme mekanizmalarının daha gerçekçi tasarlanması ile parametre ve başlangıç değerlerinin Caiani ve diğerlerinde (2016 ve 2019) sunulan yöntemleri takip ederek tutarlı ve açıklanabilir biçimde keyfiyetten uzak şekilde belirlenmesidir. Böylece amacı temel bir ajan bazlı makro model geliştirmek olan Russo vd. (2007; 2016), Gaffeo vd. (2008), Legnick (2013) ve Ricetti (2015)

çalışmalarından önemli ölçüde ayrışmaktadır. Daha önemlisi, çalışmada sunulan model pür bir rekabet ekonomisini kapsamakta ve diğer çalışmalarda olduğu gibi, bir şekilde efektif talep yetersizliğini giderecek bir mekanizma tasarımına (işsizlik ödeneği, asgari ücret veya kamunun istihdam ettiği memur kesimi vb.) veya davranışsal kalıplar üzerinden piyasaları durağan duruma yakınsatacak dışsal bir dayatmaya yer verilmemektedir.

4. Model

CATS literatüründeki modellerin büyük bir kısmı, firmalar ve finansal piyasalar arasındaki etkileşim ile finansal kırılganlığa odaklanmaktadır. Ancak bu çalışmadaki model hem karmaşıklığı azaltmak hem de modelin serbestlik derecesini sınırlandırmak için basit tutulmuş, başka bir ifadeyle modelde sadece hanehalkına ve firmalara yer verilmiştir. Karmaşıklığın azaltılması, neden ve sonuç arasındaki bağlantının daha net anlaşılmasına da hizmet etmektedir.

Çalışmada sunulan model Russo vd. (2007), Lengnick (2013), Riccetti vd. (2015) ve Caiani vd. (2016) çalışmalarının farklı yönlerinden esinlenerek oluşturulmuştur. Ana benzerliklerden birincisi, Russo vd. (2007) ve Leingnick'de (2013) olduğu gibi sadece hanehalkı ve firmalardan oluşan temel bir ajan bazlı makroekonomik model kurulmuş finansal piyasalar ve herhangi bir merkezi politika yapıcısına yer verilmemiştir. İkincisi, dışsal olarak herhangi bir piyasa temizleme mekanizması tasarlanmamış, ekonominin kalıcı gönülsüz işsizlik, arz-talep dengesizlikleri ve dolayısıyla stoklar (satılamayan üretim) ile kendiliğinden bir düzene doğru kendi kendini organize etmesine izin verilmiştir. Üçüncüsü, hane halkları ile firmalar eksik bilgi yapısını yansıtacak şekilde piyasalarda karşı karşıya olduğu tüm ajanların bir alt kümesi ile etkileşime girmektedir. Bu noktada emek piyasasında etkileşim için Russo vd. (2007), mal piyasasındaki etkileşim için ise Ricetti ve diğerlerinde (2015) sunulan piyasa tasarımları takip edilmiştir. Böylece Russo ve Lengnick'ten farklı olarak mal piyasasında "ilk gelen alır" durumunun önüne geçilmiştir. Modelde yer alan ajanların davranışsal kalıplar ise diğer modellere kıyasla daha "gerçekçi" ele alındığı için Caiani ve diğerlerine (2016) benzer biçimde tasarlanmıştır. Model, herhangi bir merkezi politika yapıcısı olmayan piyasaların genel özelliklerini oluşturmak için hükümet veya merkez bankası olmayan pür bir piyasa ekonomisini kapsamaktadır.

Modelde aktörler arası etkileşim kesikli zaman aralığında gelişir ve tam ikame tüketim malları üreten firmalar (f = 1, 2, ..., F) homojen iken hanehalkı nitelikli (beyaz yaka) ve niteliksiz (mavi yaka) tüketici işçilerden (h = 1, 2, ..., H) oluşmaktadır. Hanehalkı ve firma sayısı zaman boyunca sabittir. Aktörler sınırlı rasyoneldir ve eksik bilgi bağlamında temel bir belirsizliğe maruz kalırlar. Bu nedenle basit/sezgisel davranış kurallarını takip ederler ve geleceğe yönelik beklentilerini adaptif biçimde belirlerler.

Simülasyon döngüsünün her bir döneminde aşağıdaki işlemler gerçekleşir:

i. Piyasalar açılmadan önce aktörler, önceki dönemdeki olaylara dayanarak cari döneme ilişkin kararlar alırlar: Firmalar satış beklentilerine ve mevcut stoklara göre ne kadar çıktı üretmek istediklerine karar verirken tüketici işçiler mevcut gelirlerine, tasarruflarına ve beklenen fiyatlara göre hedef tüketimlerini, istihdam durumuna göre ise talep ettikleri ücretleri belirlerler.

ii. Daha sonra işgücü piyasası açılır. Firmalar hedeflenen üretim miktarına göre açık pozisyonları ilan ederler veya işten çıkarma yaparlar. Eğer firma işten çıkarma yapmaya

karar vermişse en yüksek ücretli işçiden başlamak üzere işten çıkarma yapar. Daha sonra her işçi boş pozisyon olup olmadığını bilmeksizin firmalara M adet başvuru yapar: İlk başvurusunu son dönemde çalıştığı firmaya (varsa) yapar; geri kalan $M - 1$ başvuruyu ise rastgele belirlenen diğer firmalara iletir. Böylece işveren işçi arasındaki sadakat ilişkisi korunmuş olur. Daha sonra firma kümesi rastgele karılır ve ilk sırada yer alan firmaya işçi istihdam etme hakkı tanınır. Firmalar işçilerin başvurularını ücret seviyesine göre (artan sırada) sıralar ve ilk etapta en düşük ücret talep eden işçiden başlayarak birer adet işçi istihdam eder. İşgücü piyasası emek talebi veya emek arzı tükendiğinde kapanır. Dolayısıyla işgücü piyasası kapandıktan sonra açık pozisyonlar veya işsiz işçiler olabilir (Russo vd., 2007).

iii. İşgücü piyasası kapandıktan sonra firmalar hedef üretim miktarları doğrultusunda üretim gerçekleştirir.

iv. Üretim süreci tamamlandıktan sonra mal piyasası açılır. Tüketicilerin hedef tüketim miktarını elde edebilmesi için firmalarla eksik bilgi altında etkileşime girmesine izin verilir. Her birey rastgele seçilmiş belirli sayıda firma içeren firma alt kümesi (bu alt kümenin büyüklüğü, eksik bilginin derecesini yansıtan bir χ parametresine bağlıdır) görür ve burada yer alan firmaları fiyat seviyesine göre (artan sırada) sıralar. Tüketici işçiler kümesi rastgele karıştırılır. Bir adet mal satın alma hakkı rastgele karılan tüketici kümesinde ilk sırada yer alan tüketiciye verilir. Tüketici gördüğü firma alt kümesinden en ucuz olandan bir adet mal satın alır. Daha sonra tüm tüketiciler aynı işlemi gerçekleştirir. Daha sonra eşleştirme protokolü, mal piyasası kapandıktan sonra gerçekleştirilemeyen hedef tüketim veya satılamayan ürün kalıp kalmadığını belirler. Eğer bir firma arz fazlası ile mal piyasasından çıkarsa ilgili fazla gelecek dönem satılmak üzere stok olarak tutulur (Ricetti vd., 2015).

v. Firmalar satış miktarlarını ve karlarını hesaplar.

vi. Hanehalkı bireysel tasarrufları hesaplar.

vii. Toplu Değişkenler: sektör ve ekonomi düzeyindeki değişkenler hesaplanır.

4.1. Davranış Kalıpları

Modelde yer alan iktisadi aktörlere ait davranışsal denklemlere ise bu bölümde yer verilecektir. Denklemlerde yer alan alt indisiler (f, h, t, d) sırasıyla firma, hanehalkı, zamanı ve hedeflenen değeri, e üst indisi ise beklentileri temsil etmektedir. Modelde satış, fiyat ve ücret beklentileri adaptif (uyarlanabilir) şekilde oluşturulmaktadır.

4.1.1. Firmalar

Firmalar homojen tüketim malı üretirler. Bu doğrultuda her dönem ne kadar üretim yapmak istediklerine ve satış fiyatlarının ne olması gerektiğine karar verirler. Hedef üretim miktarına göre cari dönem üretimi için gerekli işgücü miktarı belirlenir ve işgücü piyasası eşleştirme mekanizmasına göre firmalar işe alım veya işten çıkarma işlemi yaparlar. Tek gelir kaynakları satışlardan elde edilen gelirlerdir. Satılmayan ürünler ileriki dönemde satılmak üzere stok olarak tutulur.

Firmalar hedeflenen üretim miktarını beklenen satış miktarlarına ve stok durumlarına göre aşağıdaki gibi belirlerler. F firmasının t dönemindeki satış beklentisi şu şekildedir:

$$S^e_{f,t} = S^e_{f,t-1} - \lambda_s \left(S_{f,t-1} - S^e_{f,t-1} \right) \tag{1}$$

Hedeflenen üretim miktarı ise aşağıdaki gibi belirlenir:

$$Y^D_{f,t} = S^e_{f,t} (1 + v) - stoklar_{f,t-1} \tag{2}$$

Firmaların, beklenmeyen talep dalgalanmalarına karşı bir tampon olarak (Steindl, 1952) ve arz kısıtlamaları nedeniyle müşteri kaybetmekten kaçınmak için (Lavoie, 1992), beklenen satışların payı (ν) olarak ifade edilen belirli miktarda ek stok tutmak istedikleri varsayılmaktadır.

Firmaların sadece işgücü ile üretim yaptığı, sermaye ve diğer üretim faktörlerinin üretim kararında önemsiz olduğu varsayılmaktadır.

$$Y^D_{f,t} = Y^D_{f,t}\left(U_{f,t}, SK_{f,t}\right) = \min[\, \alpha_u * U_{f,t}\, , \alpha_{sk} * SK_{f,t}\,] \tag{3}$$

Literatüre uygun olarak firmalar Leontief Üretim fonksiyonuna sahiptir. Fonksiyonda yer alan U Niteliksiz İşçileri, SK ise Nitelikli İşçileri, α_u , α_{sk} değişkenleri ise işçilerin verimlilik parametrelerini temsil etmektedir.

Firmalar fiyat belirleme gücüne sahiptir. Her firma mal piyasası açılmadan önce beklenen birim işgücü maliyetleri üzerine bir mark-up ekleyerek fiyatlarını belirler. Fiyatlama davranışında kullanılan beklenen işgücü maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$C\left(U_{f,t}\, , SK_{f,t}\right) = w^{e,u}_{f,t} * U_{f,t} + w^{e,sk}_{f,t} * SK_{f,t} \tag{4}$$

Fonksiyonda yer alan $w^{e,u}_{f,t}$ ve $w^{e,sk}_{f,t}$ değişkenleri firmaların niteliklere göre ortalama ücret beklentisini göstermektedir. Ücret beklentileri ise adaptif biçimde aşağıdaki gibi belirlenir:

$$w^e_{f,t} = w^e_{f,t-1} + \lambda_f \left(w_{f,t-1} - w^e_{f,t-1}\right) \tag{5}$$

Firmaların kar marjları aşağıdaki kural aracılığıyla içsel olarak belirlenir: Mark-up firmanın önceki dönemde satışlarının nasıl gittiğine bağlı olarak şu şekilde ayarlanır: önceki dönemden kalan stoklar bu dönem gereken stoklardan büyük/küçük ise bu mark-up oranının yüksek/düşük olduğu şeklinde algılanır ve firma mark-up oranını düşürür/arttırır:

$$m_{f,t} = \begin{cases} m_{f,t-1} * (\,1 + FN_1), & eğer\ stoklar_{f,t-1} \leq v.S^e_{f,t-1} \\ m_{f,t-1} * (\,1 - FN_1), & eğer\ stoklar_{f,t-1} > v.\ S^e_{f,t-1} \end{cases} \tag{6}$$

Burada FN ~ N (μ, σ) Folded Normal Dağılımı temsil etmektedir. Dolayısıyla mark-up ayarlaması stokastik bir bileşene sahiptir.

Firmalar mark-up oranını belirledikten sonra birim işgücü maliyetleri üzerinde bir mark-up fiyat politikası uygularlar:

$$P_{f,t} = \left(1 + m_{f,t}\right) * \frac{C\left(U_{f,t}\, , SK_{f,t}\right)}{Y^D\left(\, U_{f,t}\, , SK_{f,t}\, \right)} \tag{7}$$

4.1.2. Hanehalkı

Hanehalkı işgücü piyasasının arz tarafını oluşturur, firmalara işgücü sağlarlar. Bu nedenle "hanehalkı/birey" ve "işçi" terimleri birbirleri yerine kullanılmaktadır. Modelde bireyler niteliksiz ve nitelikli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bireyler aynı zamanda mal piyasasındaki tüketicilerdir.

Bireylerin ana gelir kaynağı çalışmadır. Bireyler işsizlikten kurtulmak ya da kendilerine daha iyi maaşlı bir pozisyon bulmak için sürekli olarak iş piyasasına katılır. Bu nedenle her dönemde, her birey, çalışma durumuna bakılmaksızın iş başvuruları yapmaktadır. Bir başvuru, bireyin mevcut istihdam durumuna göre düzenli olarak ayarlanan talep edilen ücreti içerir ve aşağıdaki gibi belirlenir:

$$w_{h,t}^{d} = \begin{cases} w_{h,t-1}^{d}\,(1 - FN_2) & \textit{eğer iki dönem üst üste işsiz kalmışsa} \\ w_{h,t-1}^{d}\,(1 + FN_2) & \textit{eğer bir iş sahibiyse} \end{cases} \tag{8}$$

Burada FN ~ N (μ, σ) Folded Normal Dağılımı temsil etmektedir. Dolayısıyla talep edilen ücret mekanizması da stokastik bir bileşene sahiptir.

Bu mekanizma, işçinin talep ettiği ücretin hem mikro hem de dolaylı biçimde makro düzeyde ekonominin genel durumundan etkilendiğini göstermektedir. İşçi bireysel istihdam durumuna göre talep ettiği ücreti belirlerken, işsizlik durumunda talep ettiği ücret ekonominin makro boyutta içinde bulunduğu durumu da içerir. Eğer işçi iki dönem üst üste işsiz kalmışsa talep ettiği ücreti düşürecek, istihdam edildiği her dönemde ise talep ettiği ücreti arttıracaktır.

İşgücü piyasası kapandıktan sonra işçiler reel gelirleri ve tasarrufları toplamının sabit bir oranıyla hedeflenen tüketim miktarını, mal piyasasında etkileşime girmeden önce belirlerler (Godley ve Lavoie, 2007). Tüketim mallarının fiyatlarına ilişkin beklentilerini ve hedef tüketim miktarlarını aşağıdaki gibi formüle ederler:

$$p_{h,t}^{e} = p_{h,t-1}^{e} + \lambda_H \left(p_{h,t-1} - p_{h,t-1}^{e}\right) \tag{9}$$

Cari dönem için hedeflenen tüketim miktarı ise şöyle olur:

$$C_{h,t}^{D} = \alpha_{u,sk}\,\frac{w_{h,t-1} + s_{h,t-1}}{p_{h,t}^{e}} \tag{10}$$

Hane halkının tasarrufları (s) ise ücret geliri ile tüketim harcamaları arasındaki farka eşittir:

$$S_{h,t} = w_{h,t} - p_{h,t} * C_{h,t} + s_{t-1} \tag{11}$$

Önceki döneme ait gelir ve dönem sonu tasarruflar, hanehalkının cari dönem hedef tüketimini belirlemesinin temelini oluşturur. Gerçekleşen tüketim ise firmalar tarafından belirlenen fiyatlara ve arza bağlıdır. Tüketim düzeyi ve likit varlıklar hesaplandıktan sonra bir sonraki adımda fiyat karşılaştırmasına geçilir. Tüketiciler, firmaların rastgele bir alt kümesi tarafından uygulanan fiyatları gözlemler. Bireyler ilk etapta gözlemledikleri fiyat listesinde en ucuz fiyatı veren firmadan birer adet mal satın almaya çalışır. Bu işlem tüm talep karşılanana veya arz tükenene kadar tekrar tekrar hane halkının rastgele sırayla rastgele bir tedarikçi seçtiği ve satın alma işlemi yaptığı stokastik bir süreci takip eder. Sonuç olarak tıpkı işgücü piyasasında olabileceği gibi mal piyasasında da arz fazlası veya talep fazlası gibi denge dışı dinamikler gözlemlenebilir.

5. Simülasyon

Bu bölümde, kompleksite makro iktisadı perspektifiyle oluşturulmuş model ekonominin başlıca nitelikleri incelenmektedir[6]. İlk olarak, sınırlı rasyonel aktörlerin yer aldığı ve âdem-i merkeziyetçi bir ekonomik sistemin var olup olamayacağı sorusu ele alınmaktadır. İkinci olarak ise, sabit nokta argümanlarına dayanan geleneksel makroekonomik denge anlayışının aksine, belirim (emergence) ve evrimsel dinamikler sergileyebilen bir ekonomi modeli tasarlanıp tasarlanamayacağı değerlendirilmektedir. Tamamen merkeziyetsiz ve sınırlı rasyonel aktörlerden oluşan böyle bir yapının varlığı, Leijonhufvud'un (1993) tanımladığı "istikrar koridoru" kavramı çerçevesinde; sistemin belirli bir denge bandı içinde kalması ve bu bandın dışına taşması halinde yapısal çöküşlere maruz kalması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, mikro düzeyde ajanlar denge noktasına erişmeden etkileşimde bulunmaya devam ederken, makro düzeyde karşıt yönlü çok sayıda işlem aracılığıyla ortaya çıkan "istatistiksel denge" niteliğindeki yarı kararlı (quasi-steady state) bir yapı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, modelin normal ekonomik koşullar altında sanayileşmiş ülkeler için geçerli olan mikro ve makro düzeydeki stilize olgulardan (Dosi ve Roventini, 2025) birkaçını en azından niteliksel düzeyde kopyalayıp kopyalamadığı araştırılmaktadır. Bu sayede, heterojen ajanların dağınık piyasa etkileşimlerinden kaynaklanan toplu düzenlilikleri yeniden üretebilen yapay bir ekonomik sistem kurmak, çalışmanın temel hedeflerinden biri olarak belirlenmiştir.

Ajan bazlı modellerde olduğu gibi stokastik ve patika bağımlı dinamikler içeren modeller için modelin tüm parametre uzayının keşfedilmesi oldukça zordur. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek amacıyla, izlenmesi gereken prosedürü ayrıntılı biçimde tanımlayan Caiani ve diğerlerinin (2016, 2019) önerdiği yöntem izlenmiştir. Ayrıca ilgili çalışmalarda sunulan yöntem çerçevesinde modelin başlangıç değerleri tespit edilmiştir. Buna göre ilk olarak modelin toplulaştırılmış hali oluşturulmuş, daha sonra toplulaştırılmış model durağan durumda (steady state "SS") olacak şekilde bir kısıt içerecek şekilde düzenlenmiştir. Bazı ampirik bilgilerin mevcut olduğu (örneğin işsizlik oranı, mark-up'lar, faiz oranları ve gelir vergisi oranları) veya kontrol etmek istenilen (örneğin ajan sayısı, işçilerin firmalar arasındaki dağılımı, stok hedef oranı vb.) parametreler için dışsal olarak makul değerler belirleyerek kısıtlı model sayısal olarak çözülmüştür. Daha sonra, toplam durağan durum değişkenleri için başlangıç değerlerinin yanı sıra bazı davranışsal parametrelerin değerleri elde edilmiştir (örneğin ortalama tüketim eğilimi). Ulaşılan her bir toplam değer aktörler arasında eşit olarak dağıtılmış, böylece aktörlerin başlangıç koşulları üzerinde bir simetri koşulu oluşturulmuştur. Bu sayede modelde, asimetrik başlangıç koşullarına duyarlı olası dayatmalar mümkün olduğunca sınırlanmıştır. Modelde heterojenlikler, aktörlerin uyarlanabilir davranış kurallarınca stokastik faktörler tarafından tetiklenen etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Peters vd., 2022). Başlangıç değerlerini durağan durum (SS) normlarına göre belirlenmesi sayesinde, ajan bazlı modellere yöneltilen önemli bir eleştiri olan aktörlerin başlangıç donanımlarını tanımlarken yaşanan keyfiyet ve "her şeyin" desteklenmesine izin verecek serbest davranışsal parametrelerin sayısının çokluğu sorunları mümkün olduğunca giderilmeye çalışılmıştır.

Tablo 1 bu çerçevede oluşturulmuş modelin kurulumunda kullanılan parametrelerin değerini göstermekte ve her bir değer için, durağan durumu belirlemek adına dışsal olarak

[6] Çalışmada sunulan model, Python programlama dili kullanılarak kodlanmış ve simülasyonlar bu ortamda gerçekleştirilmiştir.

ayarlanıp ayarlanmadığını ('pre-SS'), durağan durumdan türetilip türetilmediğini ('SS-given') veya bağımsız bir mantık izleyip izlenmediğini ('free') belirtmektedir.

Tablo 1. Parametre ve Başlangıç Değerleri

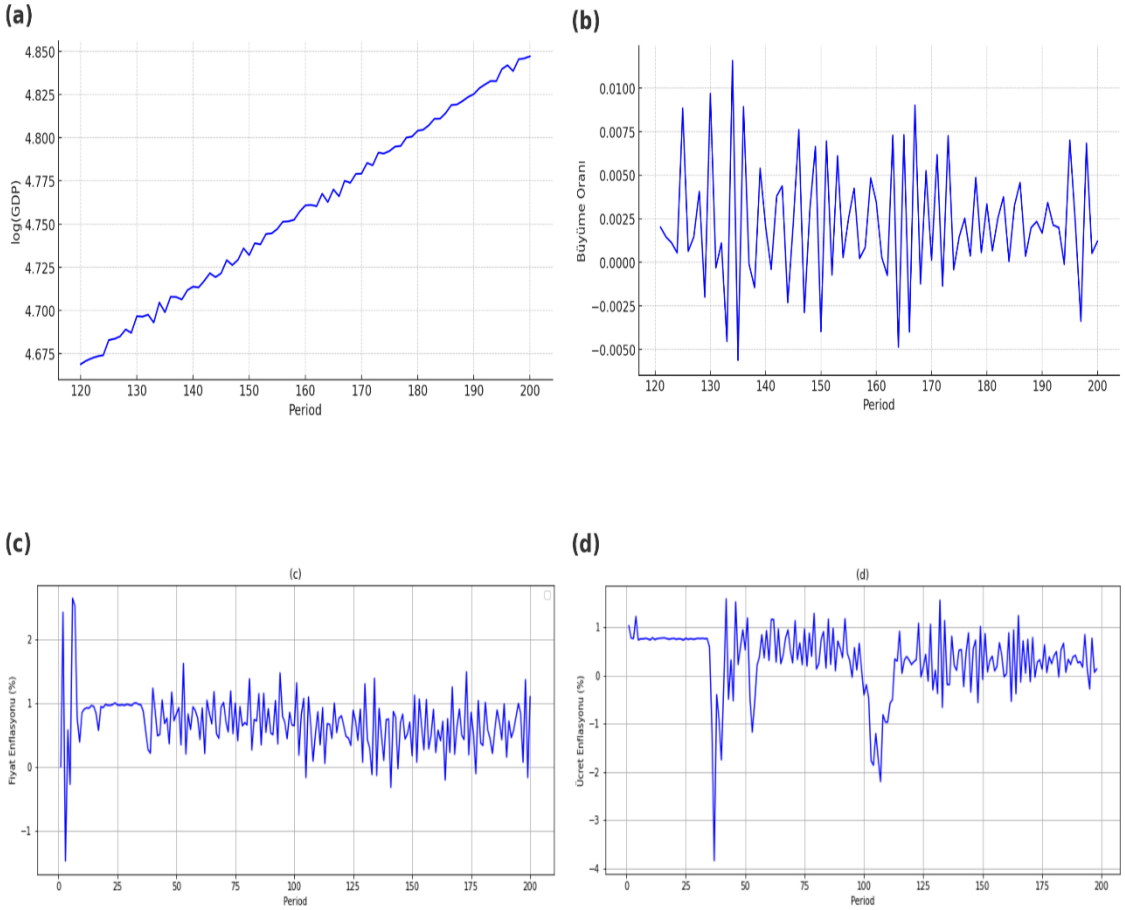
Sembol	Tanım	Değer
HH: pre-SS	Hanehalkı Sayısı, Nitelikli HH, Niteliksiz HH	4360, 1308, 3052
F: pre-SS	Firma Sayısı	100
Nsk: free	Bir Firmada Çalışan Nitelikli İşçi Oranı	0.3
Nus: free	Bir Firmada Çalışan Niteliksiz İşçi Oranı	0.7
Uo:pre – SS	Başlangıç İşsizlik Oranı	0.08
α_{SK} : SS-given	Nitelikli İşçilerin Verimlilik Katsayısı	7
α_{US} : SS-given	Niteliksiz İşçilerin Verimlilik Katsayısı	3
SI_{SK} :free	Nitelikli İşçilerin Toplam Gelirden Başlangıçta Aldığı Pay	0.65
SI_{US} :free	Niteliksiz İşçilerin Toplam Gelirden Başlangıçta Aldığı Pay	0.35
W_o : pre-SS	Ortalama Ücret (Başlangıç)	5
S_o : pre-SS	Ortalama Tasarruf/Servet (Başlangıç)	4
μ_m : pre-SS	Başlangıç Mark-up	0.25
α_{sk}, α_u: free	Nitelikli ve Niteliksiz İşçilerin Ortalama Tüketim Eğilimi	0.8, 0.9
X_c : free	Mal Piyasasında Gözlemlenen Firma Sayısı	3
M : free	Emek Piyasasında Başvuru Sayısı	5
V: free	Firma Hedef Stok Oranı	0.1
λ: free	Adaptif Beklenti Parametresi (Ortak)	0.25
FN: free	Folded Normal Dağılım Parametresi (Ortak)	(0, 0.0095)

Model yukarıdaki başlangıç değerleri ile 25 Monte Carlo simülasyonu yapılarak analiz edilmiştir. Her bir simülasyon 200 dönemlik bir zaman periyodunu kapsamakta her bir dönem ise çeyreklik zaman dilimini temsil etmektedir.

Ajan bazlı modellerde simülasyon sonucu elde edilen bulgular modelin kuruluş amacına göre değerlendirilmektedir. Araştırmacının amacı kavramsal bir deney yapmak, hipotezleri veya bir teoriyi değerlendirmek ise modelin tarih boyunca gözlemlenmiş genel olguları (stylized facts) yeniden üretmesi beklenmektedir. Eğer çalışmanın hedefi tahmine yönelik öngörüsel bir analiz yapmak ise model sonucunda üretilen değerlerin gerçek dünya verileri ile örtüşmesi ve örneklem dışı (out of sample) veri seti ile uyum sergilemesi gerekir (Gallegati vd., 2024). Çalışmada sunulan model kavramsal bir model olduğundan simülasyon sonucu elde edilen yapay zaman serileri sadece stilize olgularla karşılaştırılarak model doğrulanmaktadır.

Şekil 1'de (a) ve (b) panelinde yer alan grafikler, model ekonominin toplam faaliyette (logaritmik formda GSYH) dalgalı bir büyüme sergilediğini böylece toplam çıktının uzun vadede istikrarlı bir yukarı doğru koridor üzerinde hareket ettiğini göstermektedir. Gözlemlenen küçük dalgalanmalar, mikro düzeyde piyasalarda yaşanan koordinasyon başarısızlıklarından kaynaklanmaktadır. Nitekim fiyatlar ve ücretler arasında uyumsuzluk yaşandığında efektif talep dalgalanmaya ve bu da üretimin ve istihdamın dalgalı bir seyir izlemesine neden olmaktadır. Durağan dalgalanmalar, fiyat ve reel ücretlerin büyüme oranlarına ilişkin zaman serilerine de yansımaktadır. (Şekil 1(c) ve (d)). Fiyat enflasyonu güçlü bir biçimde konjonktür yanlısı iken (çıktı büyüme oranı ile korelasyonu r = 0,75), ücret enflasyonu ile GSYH büyüme hızı arasında neredeyse bir ilişki yoktur (r = 0,03). Bu durum ücretlerin kısa dönemde pozitif şoklara karşı tepki vermede çok daha yapışkan (sticky) olduğunu, başka bir deyişle fiyatlara kıyasla daha yavaş ve gecikmeli bir şekilde ayarlandığına işaret etmektedir. Modelde sunulan nominal katılıkları

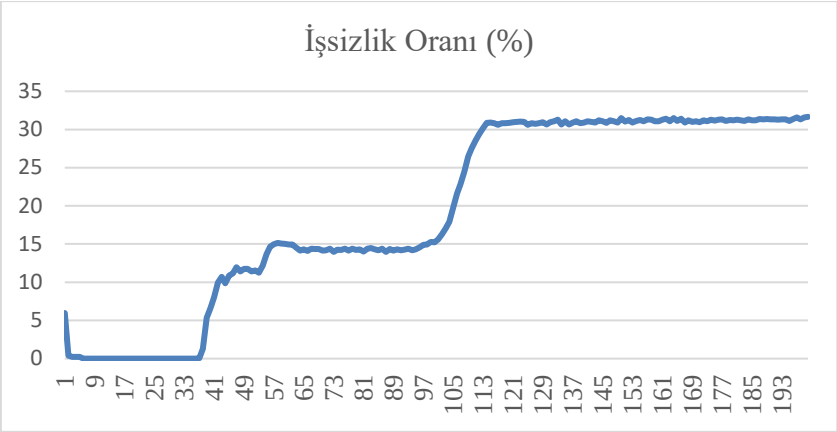
kapsayan ücret ayarlama mekanizması dikkate alındığında elde edilen bu bulgu modelin gerçek ekonomik hayatın önemli bir unsurunu yeniden üretebildiğini göstermektedir.



Şekil 1. Temel Bulgular.
Not: Bu bölümdeki tüm grafikler simülasyon döneminin 120-200 periyot aralığı için elde edilmiş verileri göstermekte, modelin geçiş aşamasındaki dinamikleri yansıtmamaktadır.

Bu unsur işsizlik oranın tüm simülasyon dönemleri boyunca seyrine bakılınca daha açık bir biçimde anlaşılmaktadır (Şekil 2). Birçok ajan bazlı makro model, pozitif/negatif geri bildirimler sayesinde dinamik ve doğrusal olmayan süreçler oluşturan özellikler barındırır. Bu tür geri bildirimlerin varlığı nedeniyle, geçici aşamadaki başlangıç koşulları veya rastgele olaylar uzun dönem dinamikleri üzerinde belirleyici etkiye sahip olabilecek şekilde patika bağımlılıkları ortaya çıkabilir. Makro ABM'lerin bu özellikleri, çöküşler ve ekonomik krizler gibi aşırı olayların yanı sıra farklı yarı-istikrarlı rejimler arasındaki hızlı geçişlerin endojen olarak üretilmesinin de temelini oluşturur. (Dawid ve Delli Gatti, 2018: 6). Bu doğrultuda başlangıç donanımı geçici etkilerinin çarpıcı biçimde gözlemlenebildiği ilk dönemlerde işsizlik oranı sıfır seviyesinde seyretmektedir. Zira hanehalkının başlangıç finansallarına koşut olarak ilgili dönemde ekonomide toplam talep yetersizliği yaşanmamaktadır. Firmalar üretim miktarlarının tamamını satabildikleri için gelecek dönem hedef üretim miktarlarını arttırmakta ve böylece istihdam edilen işçi sayısı sürekli artmaktadır. Fakat otuzlu periyotlardan itibaren ekonomide yavaş yavaş işsizlik artmaya başlamaktadır. Tam istihdam durumunun yaşandığı bu dönemde işsizliğin ortaya çıkma sebebi

ücret artışlarının fiyat artışlarının gerisinde kalarak efektif talep yetersizliğinin oluşmaya başlamasıdır. Nitekim firmaların stok miktarlarındaki artış hedef üretim oranlarını geriletmeye ve işten çıkarmalara neden olmaktadır.

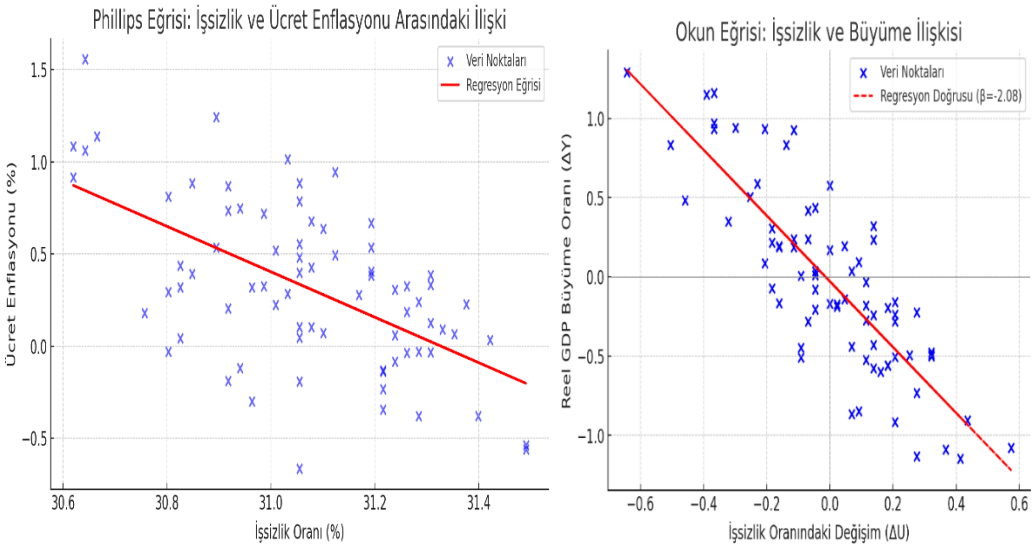


Şekil 2. İşsizlik Oranı

İşsizlik patikası incelendiğinde ekonomide hiçbir dışsal şok olmamasına karşın heterojen ajanların doğrudan etkileşimi sonucu içsel olarak ani işsizlik patlamaları ve krizlerin yaşandığı dikkat çekmektedir. Ekonomide işsizlik oranı artmaya başladıkça ortalama reel ücretler artmak yerine düşmeye başlamaktadır (Şekil 1 (c) ve (d) paneli). Ortalama ücretlerde yaşanan bu düşüş efektif talep yetersizliğini daha da derinleştirirken, işsizlik oranındaki artışı körüklemektedir. Klasik iş döngüsü mekanizmasından farklı olarak, artan işsizlik nedeniyle ücretlerin düşmesi döngüyü tersine çevirmemekte, aksine toplam talep eksikliği nedeniyle durgunluğu artırmaktadır. Başka bir deyişle, iş döngüsünü kendiliğinden tersine çeviren kendi kendini ayarlama mekanizması (örneğin, işsizlik oranının yükselmesi reel ücreti düşürür ve ardından ortaya çıkan kar artışı genişlemeci bir üretim aşamasına sebep olur) çalışmamaktadır. Gerçekten de reel ücretler aşırı derecede düşerek, satın alma gücünün düşmesinin firmaların mal satmasını engellediği, ardından firmaların üretimi azalttığı, işsizliğin artmaya devam ettiği ve sistemin bir krize doğru ilerlediği bir kısır döngüyü hızlandırmaktadır. Birbirini besleyen bu negatif geri bildirimler sonrasında ekonomi nihayet kendiliğinden istikrarlı bir yapı sergilemektedir. Zira talep geriledikçe firmaların hem birim işgücü maliyetleri düştüğünden hem de firmaların mark-up oranlarını aşağı yönlü revize etmelerinden ötürü fiyatlar gerilemekte ve ücret seviyesi fiyatları yakalayabilmektedir. Dışsal olarak empoze edilen herhangi bir piyasa temizleme mekanizmasının yokluğu nedeniyle, ekonomi kalıcı gönülsüz işsizlik ile bir düzene doğru kendi kendine organize olmaktadır. İşsizlik seviyesinin yüzde otuzlar gibi bir seviyede yarı durağan durum sergilemesi literatürde farklı ajan bazlı makro modellerde de görülmektedir. Gaffeo vd. (2008) istikrarsız GSYH ve yüzde 50'nin üzerindeki işsizlik oranlarını veren parametre değerlerinin dikkate alınmadığını bildirmektedir. Firmaların fiyat ve hanehalkının ücret belirleme mekanizmalarına alt-üst sınırlar getirerek ekonomiyi bir denge patikasına yönlendiren Leingnick (2013) çalışmasında dahi hanehalkının aşağı yönlü ücret ayarlaması yapmadığı durumda işsizlik oranı yine yüzde elli oranının üzerinde seyretmektedir. Bir başka benzer bulgu ise Russo vd. (2016) çalışmasındadır. Tüketici kredilerinin olmadığı temel senaryo ile hanehalkının tüketimleri için finansmana erişebildiği senaryonun kıyaslandığı çalışmada tüketimin kredi ile finanse edilebildiği senaryoda her dönemde işsizlik oranı daha düşük olmaktadır. Tüketim kredisinin varlığında ise

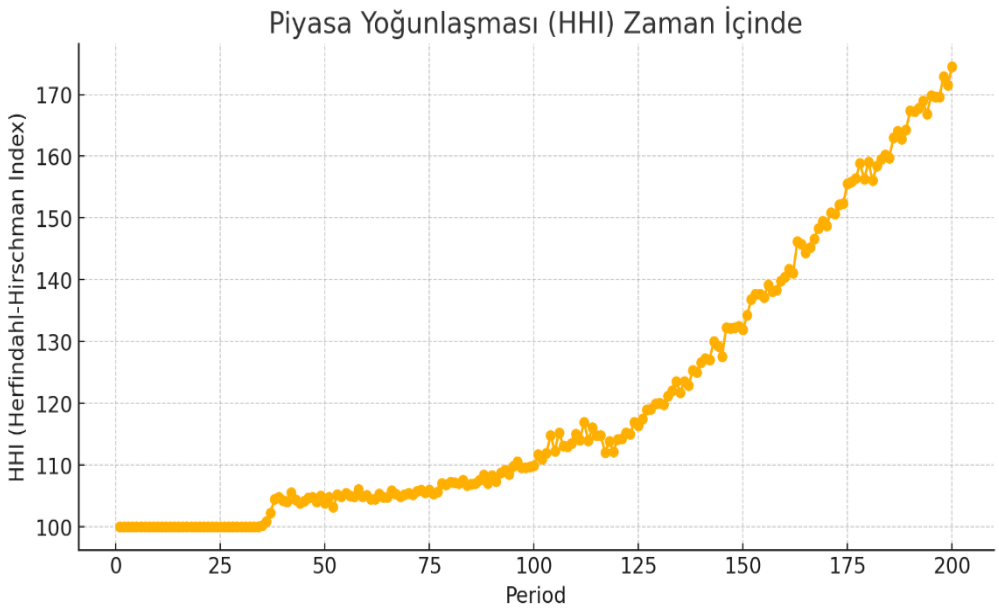
işsizlik oranı yüzde 70'lere çıkmaktadır. İşsizlik oranının daha düşük çıktığı diğer modellerde ise talep yetersizliğini minimize edecek asgari ücret, işsizlik maaşı veya kamu hizmeti sunan ve dolayısıyla işgücü piyasasına katılmayan memur kesiminin var olması gibi tasarımlar efektif talep yetersizliğini belirli bir seviyede tutmakta ve ekonomiye daha düşük işsizlik seviyelerinde istikrar kazandırmaktadır.

Model, literatürde standart haline gelen bazı stilize olguları (stylized facts) da yeniden üretebilmektedir. Şekil 3'ün (a) ve (b) paneli Philips ve Okun Eğrilerini 120-200 dönem aralığı için göstermektedir. Regresyon eğrisinin negatif eğimli olması klasik Phillips ilişkisinin varlığını, yüksek işsizlik oranlarının ücret artışlarını baskıladığını ve düşük işsizlik oranlarının ücret artışlarını teşvik ettiğini göstermektedir. Şeklin (b) panelindeki grafiğe bakıldığında regresyon eğrisi negatif eğimli, yani işsizlik oranı arttığında reel GSYH büyüme oranı düşmektedir. Bu durum, Okun Yasası'nın beklendiği gibi çalıştığını göstermektedir. Eğim katsayısı (β =2.08) işsizlik oranındaki 1 puanlık bir artışın, reel GSYH büyüme oranını ortalama olarak %2.08 azalttığını ifade etmektedir.



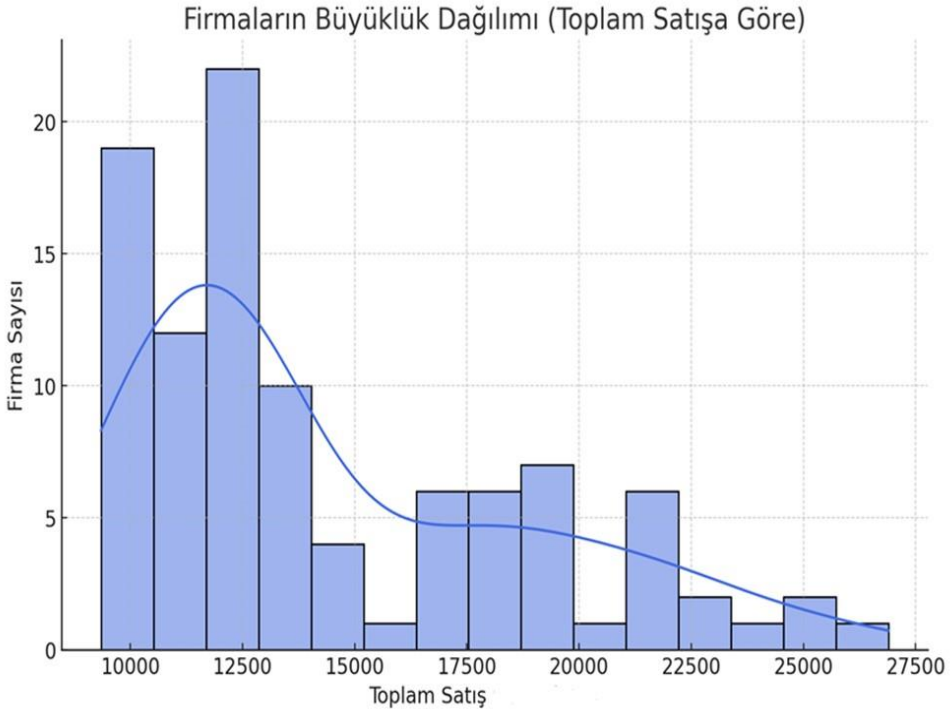
Şekil 3. Makro Stlize Olgular.
Not: Bu bölümdeki grafikler simülasyon döneminin 120-200 periyot aralığı için elde edilmiş verileri göstermektedir.

Modelin bir başka çarpıcı bulgusu ekonomilerin evrimsel doğasını yakalayabilmesi üzerinedir. Ajan bazlı modellerde ajanlar arası etkileşimlerin tamamı "piyasa" olarak düşünülebilir. Dolayısıyla ajanlar arası bu bağlantı ağı içsel olarak değişebildiğinden piyasaların istikrarı veya rekabet derecesi gibi özellikleri endojen olarak değişebilmekte yani kompleks sistemlerin önemli özelliklerinden olan belirim (emergence) ve evrim gözlemlenebilmektedir (Legnick, 2013). Şekil 4 simülasyon boyunca Herfindahl-Hirschman (HH) Yoğunlaşma Endeksinin seyrini göstermektedir. Buna göre tüm firmaların başlangıçta homojen dağıldığı başka bir deyişle ekonominin tam rekabetçi (HH=100) bir piyasa yapısı sergilediği ekonomi zamanla oligopolistik (HH>150) bir piyasa yapısına evrilmektedir.



Şekil 4. Herfindahl-Hirscman Yoğunlaşma Endeksi (HHI)

Bu bulgu firma dağılımları verisiyle de desteklenmektedir. Şekil 5'te yer alan grafik büyüklüğü toplam satış miktarı ile ölçülen firma dağılımını göstermektedir. Gerçekte sanayileşmiş ekonomilerde olduğu gibi, firma dağılımları oldukça sağa çarpık, normal dağılıma uymamaktadır: az sayıda büyük firma piyasanın büyük kısmına hakim konumda iken küçük ve orta ölçekli firmalar ekonominin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu bulgu eşitsizliklerin ekonomilerde temel bir özellik olduğunu temsili firma kavramının yetersiz olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Firma Dağılımı

Modelin firma dağılımı ve piyasa yapısı bakımından ortaya koyduğu sonuç şu açıdan son derece ilgi çekicidir: Firmalar Leontief üretim fonksiyonuna sahip oldukları için ölçek getirisi sabittir. Ayrıca işgücü verimlilik parametreleri de zaman boyunca değişmemektedir. Sonuç olarak firmaların içsel dinamiklerle yani teknolojik gelişim ve üretim süreçlerinde yaşanan verimlilik artışı kaynaklı "büyümesi" modelce incelenememektedir. Bu durumda simülasyon sonucunda tam rekabetçi bir piyasa yapısından oligopolistik bir yapının ortaya çıkması sadece firmalar arasındaki fiyat rekabetinden kaynaklanmaktadır. Fakat buradaki fiyat rekabeti, fiyatların firmalar tarafından aşağı yönlü ayarlanmasını ima etmemekte, mal piyasası eşleşme mekanizmasının temel dinamiğine vurgu yapmaktadır. Mal piyasasının kurumsal yapısı gereği fiyat avantajı sağlayan firmalar satışlarını ve hedef üretim miktarlarını arttırmaya başlar. Daha fazla üretim yaptıkça, işgücü maliyet beklentisi bir gecikmeyle belirlendiği için firmaların birim işgücü maliyetleri geriler ve firmalar var olan fiyat avantajını sürdürmeye devam eder. Dolayısıyla bazı firmalar "ölçek ekonomileri" (economies of scale) sayesinde fiyat avantajı elde etmekte ve bu avantaj simülasyon boyunca birikimli bir biçimde artarak sağa çarpık bir firma dağılımı ortaya çıkarmakta, oligopolistik piyasa yapısına evrilmeye yol açmaktadır.

6. Sonuç

Kompleksite iktisadının önemi Arthur'un (2021) da belirttiği gibi, standart varsayımları bir kenara atma girişiminden değil, ekonominin gerçekte nasıl işlediğine dair bir düşünme yolu olmasından kaynaklanmaktadır. Bu noktada yerleşik iktisat teorisine göre en önemli üstünlüğü insan-insan ilişkisine başka bir deyişle ajanlar arası doğrudan karşılıklı etkileşime ve sınırlı rasyonel davranışlara yer vermesidir. Bu farklılığın en önemli sonucu kompleksite iktisadının bir dengesizlik veya çoklu denge iktisadı olarak değerlendirilmesinin kaynağını oluşturmasıdır. Piyasaları temizleyen merkezi bir fiyat değişim (tatonnement) mekanizmasının olmaması ve ajanların eksik bilgi altında sınırlı rasyonel karar mekanizmaları çerçevesinde hareket etmeleri piyasa başarısızlıklarına, dengesizliklere yol açmaktadır. Bu farklılıklar sistemin makro boyutta içsel krizler yaratabilmesine olanak tanımaktadır. Çünkü bireysel ve toplam davranışlar arasında ileri geri beslenen etkileşim ağı, talep, arz ve fiyat oluşumunun yanı sıra büyüme ve konjonktürel dalgalanmalar arasındaki ilişkileri de şekillendirmektedir.

Çalışmada sunulan temel model, ekonominin, ajanların merkezi olmayan rastgele bir eşleştirme protokolü çerçevesinde karşılıklı doğrudan etkileşimi sonucu *ortaya çıktığını* ve yaşadığı evrimleşme sonucunda makroekonomik ölçekte kolayca düzenli davranış sergileyebildiğini göstermektedir. Sistemin istikrarlı bir davranış sergilemesi dalgalanmalar üretmeyeceği anlamına gelmemekte, aksine bulgularımız ajan bazlı makro modellerin en önemli özelliği olarak öne çıkan ekonomik performansın içsel olarak üretilen dalgalanmalarla bir büyüme patikasına doğru kendi kendini organize etme eğilimi göstermesini doğrulamaktadır. Bunun da ötesinde model hem endüstriyel dinamikler düzeyinde (oligpolistik piyasa yapısına evrilme ve sağa çarpık firma dağılımı) hem de yerleşik modellerin üretemediği (Fagiolo vd., 2004) makroekonomik ölçekte bir takım stilize olguları (Philips ve Okun Eğrisi) tekrarlayabilmektedir. Model simülasyonları ayrıca, uzun süreli krizlerin reel ücretlerdeki güçlü bir düşüşle birlikte endojen olarak ortaya çıkabileceğini, buna bağlı olarak toplam talebin azalacağını ve azalmanın firmaların üretimi azaltmasına neden olarak işsizlik oranını artıracağını ve kısır bir geri besleme döngüsü yaratacağını vurgulamaktadır. Bu gibi durumlarda ekonomi, dışsal bir müdahale olmadığı sürece kendiliğinden iyileşme imkânı olmaksızın sıkışmış halde kalabilir. Elbette

bulgularımız yalnızca nitelikseldir ve model kurgusuna ilişkin yaptığımız varsayımlarla yakından ilişkilidir. Bununla birlikte çalışmanın temel amacı, kompleksite makro iktisadının modellenmesi ve yapay zaman serilerinin döngüsel özelliklerinin literatürde vurgulanan çeşitli stilize olgularla karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmaktır. Dolayısıyla mevcut çalışma, gelecek dönemlerde daha geniş bir araştırma ajandasının başlangıç noktası olarak ele alınmaktadır. Bu çerçevede ilerideki çalışmalarda, modele bir kamu otoritesi eklenerek maliye politikalarının ekonomik istikrar üzerindeki etkilerinin olası analizi politika deneylerinden birisi olacaktır. Ayrıca işgücü piyasalarına yönelik kurumsal politika etkilerinin (örneğin asgari ücret veya işsizlik ödeneği) incelenmesi mevcut çerçeveye gelecekte yapılacak entegrasyonların diğer bir örneğidir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı
Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı
Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Araştırmacıların Çıkar Çatışması Beyanı
Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Arthur, W.B. (2015). *Complexity and the economy* (1. ed.). Oxford University Press.

Arthur, W.B., Steven, N.D. and David, A.L. (1997). Process and emergence in the economy. *The Economy as an Evolving Complex System II*, 1997, 1-14. Retrieved from https://faculty.sites.iastate.edu/

Arthur, W.B. (2021). Foundations of complexity economics. *Nature Reviews Physics* 3(2), 136-45. https://doi:10.1038/s42254-020-00273-3.

Axtell, R.L. (2007). What economic agents do: How cognition and interaction lead to emergence and complexity, *The Review of Austrian Economics*, 20(2-3),105-122. https://doi.org/10.1007/s11138-007-0021-5

Blanchard, O. (2018). On the future of macroeconomic models. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1-2), 43-54. https://doi.org/10.1093/oxrep/grx045

Caballero, R.J. (2010). Macroeconomics after the crisis: Time to deal with the pretense-of-knowledge syndrome. *Journal of Economic Perspectives* 24(4), 85-102. doi:10.1257/jep.24.4.85.

Caiani, A., Godin, A., Caverzasi, E., Gallegati, M., Kinsella, S. and Stiglitz. J.E. (2016). Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 69, 375-408. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2016.06.001

Caiani, A., Russo, A. and Gallegati. M. (2019). Does inequality hamper innovation and growth? An AB-SFC analysis. *Journal of Evolutionary Economics* 29(1), 177-228. https://doi.org/10.1007/s00191-018-0554-8

Cincotti, S., Raberto, M. and Teglio, A. (2022). Why do we need agent-based macroeconomics? *Review of Evolutionary Political Economy* 3(1), 5-29. https://doi.org/10.1007/s43253-022-00071-w

Colander, D. (2019). *Complexity, the evolution of macroeconomic thought, and micro foundations* (Groupe de REcherche en Droit, Economie No. 2019-42). Retrieved from https://www.paecon.net/PAEReview/issue91/Colander91.pdf

Colander, D., Holt, R. and Rosser, B. (2004). The changing face of mainstream economics. *Review of Political Economy*, 16(4), 485-499. https://doi.org/10.1080/0953825042000256702

Colander, D., Howitt, P., Kirman, A., Leijonhufvud, A. and Mehrling, P. (2008). Beyond DSGE models: Toward an empirically based macroeconomics. *American Economic Review* 98(2), 236-40. doi:10.1257/aer.98.2.236

Dawid, H. and Delli Gatti, D. (2018). *Agent-based macroeconomics*. In C.H. Hommes and B. LeBaron (Eds.), *Handbook of computational economics* (pp. 63–156). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.hescom.2018.02.006

Delli Gatti, D., Di Guilmi, C., Gaffeo, E., Giulioni, G., Gallegati, M. and Palestrini, A. (2005). A new approach to business fluctuations: Heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility. *Journal of Economic Behavior and Organization*, *56*(4), 489–512. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2003.10.012

Delli Gatti, D., Gaffeo, E., Gallegati, M., Giulioni, G., Kirman, A., Palestrini, A. and Russo, A. (2007). Complex dynamics and empirical evidence. *Information Sciences*, 177(5), 1204-1221. https://doi.org/10.1016/j.ins.2006.08.003

Delli Gatti, D., Gallegati, M., Greenwald, B., Russo, A. and Stiglitz, J.E. (2010). The financial accelerator in an evolving credit network. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(9), 1627-1650. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2010.06.019

Dosi, G. and Roventini, A. (2025). *Agent-based macroeconomics: The Schumpeter meeting Keynes models.* Cambridge: Cambridge University Press.

Dosi, G. and Roventini, A. (2019). More is different ... and complex! The case for agent-based macroeconomics. *Journal of Evolutionary Economics*, 29(1), 1-37. https://doi.org/10.1007/s00191-019-00609-y

Eren, E. (2020). Makro iktisat ve kriz: Çözüm Mezo iktisat mı? *İktisat ve Toplum*, 121, 54-63. Erişim adresi: https://iktisatvetoplum.com/

Eren, E. ve Uysal, E. (2017). İktisatta yeni Heterodoks gelişmeler. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 6(2), 134-151. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujfeas/

Faggini, M., Bruno, B. and Parziale, A. (2019). Crises in economic complex networks: Black Swans or Dragon Kings? *Economic Analysis and Policy*, 62, 105-115. https://doi.org/10.1016/j.eap.2019.01.009

Fagiolo, G., Dosi, G. and Gabriele, R. (2004). Matching, bargaining, and wage setting in an evolutionary model of labor market and output dynamics. *Advances in Complex Systems*, 7(02), 157-186. doi:10.1142/S0219525904000135

Farmer, J.D. and Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256), 685-686. https://doi.org/10.1038/460685a

Fierro, L.E. (2020). *Three essays in agent-based macroeconomics*. Retrieved from https://iris.univpm.it/retrieve/e18b8791-5cd1-d302-e053-1705fe0a27c8/Tesi_Fierro.pdf

Foster, J. and Metcalfe, J.S. (2012). Economic emergence: An evolutionary economic perspective. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 82(2-3), 420-432. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.09.008

Gaffeo, E., Delli Gatti, D., Desiderio, S. and Gallegati, M. (2008). Adaptive microfoundations for emergent macroeconomics. *Eastern Economic Journal* 34(4), 441-63. doi:10.1057/eej.2008.27.

Gallegati, G., Gallegati, M. and Landini, S. (2024). *Agent-based modelling: A tool for complexity*. Cambridge: Cambridge University Press.

Godley, W. and Lavoie, M. (2007). *Monetary economics: An integrated approach to credit, money, income, production and wealth*. New York: Palgrave Macmillan.

Haldane, A.G. and Turrell, A.E. (2018). An interdisciplinary model for macroeconomics. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1-2), 219-251. https://doi.org/10.1093/oxrep/grx051

Hayek, F.A. (1979). The counter-revolution of science: Studies on the abuse of reason. Stanford Press.

Heijdra, B.J. and Ploeg, F. (2003). *The foundations of modern macroeconomics.* Oxford: Oxford University Press.

Holt, R.P.F., Rosser, J.B. and Colander, D. (2011). The complexity era in economics. *Review of Political Economy*, 23(3), 357-69. doi:10.1080/09538259.2011.583820.

Hommes, C., He, M., Poledna, S., Siqueira, M. and Zhang, Y. (2025). CANVAS: A Canadian behavioral agent-based model for monetary policy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 172, 104986. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2024.104986

Kaplan, G., Moll, B. and. Violante, G.L. (2018*).* Monetary policy according to HANK. *American Economic Review*, 108(3): 697–743. doi:10.1257/aer.20160042

Kirman, A. (2010). The economic crisis is a crisis for economic theory. *CESifo Economic Studies* 56(4), 498-535. doi:10.1093/cesifo/ifq017

Kocherlakota, N. (2010). *Modern macroeconomic models as tools for economic policy.* Retrieved from https://www.minneapolisfed.org/

Lavoie, M. (1992). *Foundations of Post-Keynesian economic analysis.* Cheltenham: Edward Elgar Press.

LeBaron, B. and Tesfatsion, L. (2008). Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*, 98(2), 246-50. doi:10.1257/aer.98.2.246

Lee, J.W. and Nobi, A. (2018). State and network structures of stock markets around the global financial crisis. *Computational Economics*, 51(2), 195-210. https://doi.org/10.1007/s10614-017-9672-x

Leijonhufvud, A. (1993). Towards a not-too-rational macroeconomics. *Southern Economic Journal*, 60(1), 1-13. https://doi.org/10.2307/1059926

Lengnick, M. (2013). Agent-based macroeconomics: A baseline model. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 86, 102-20. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2012.12.021

McKay, A. and Reis, R. (2016). The role of automatic stabilizers in the U.S. business cycle. *Econometrica*, 84(1), 141-94. http://www.jstor.org/stable/43866542

Moll, B. (2024). *The trouble with rational expectations in heterogeneous agent models: A challenge for macroeconomics*. Retrieved from https://benjaminmoll.com/wp-content/uploads/2024/07/challenge.pdf

Muth, J.F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29(3), 315. doi:10.2307/1909635

Ottonello, P. and Winberry, T. (2020). Financial heterogeneity and the investment channel of monetary policy. *Econometrica*, 88(6), 2473-2502. https://doi.org/10.3982/ECTA15949

Öğüt, K. (2018). Kompleksite iktisadı çerçevesinde Keynes ve Keynesyen makro iktisat: Metodolojik bir analız. *Yıldız Social Science Review*, 4(2), 137-52. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/yssr/

Peters, F., Neuberger, D., Reinhardt, O. and Uhrmacher, A. (2022). A basic macroeconomic agent-based model for analyzing monetary regime shifts. *Plos one*, 17(12), e0277615. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277615

Poledna, S., Miess, M.G., Hommes, C. and Rabitsch, K. (2023). Economic forecasting with an agent-based model. *European Economic Review*, 151, 104306. https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2022.104306

Riccetti, L., Russo, A. and Gallegati, M. (2015). An agent based decentralized matching macroeconomic model. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 10(2), 305-332. doi:10.1007/s11403-014-0130-8

Romer, P. (2016). *The trouble with macroeconomics.* Retrieved from https://paulromer.net/the-trouble-with-macro/WP-Trouble.pdf

Rosser, J.B. (2021). *Foundations and applications of complexity economics*. Cham: Springer International Publishing.

Russo, A., Catalano, M., Gaffeo, E., Gallegati, M. and Napoletano. M. (2007). Industrial dynamics, fiscal policy and RveD: Evidence from a Computational Experiment. *Journal of Economic Behavior and Organization* 64(3-4), 426-47. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2006.06.016

Russo, A., Riccetti, L. and Gallegati, M. (2016). Increasing inequality, consumer credit and financial fragility in an agent based macroeconomic model. *Journal of Evolutionary Economics*, 26(1), 25-47. https://doi.org/10.1007/s00191-015-0410-z

Serletis, A. (2014). Introduction to *macroeconomic dynamics* special issue on complexity in economic systems. *Macroeconomic Dynamics*, 20(2), 461-65. doi:10.1017/S1365100514000261

Steindl, J. (1952). *Maturity and stagnation in American capitalism* (No. 4). NYU Press.

Stiglitz, J.E. (2018). Where modern macroeconomics went wrong? *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1-2), 70-106. https://doi.org/10.1093/oxrep/grx057

Tesfatsion, L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. In L. Tesfatsion and K.L. Judd (Eds.), *Handbook of computational economics: Volume 2, agent-based computational economics* (pp. 831–880). Elsevier.

Trichet, J-C. (2010). *Reflections on the nature of monetary policy non-standard measures and finance theory.* Retrieved from http://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2010/html/sp101118.en.html

Wagner, R.E. (2020). *Macroeconomics as systems theory: Transcending the micro-macro dichotomy.* Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44465-5

COMPLEXITY MACROECONOMICS: AN AGENT BASED MODEL

EXTENDED SUMMARY

The global financial crisis of 2007–2008 revealed fundamental weaknesses in mainstream macroeconomics, particularly its reliance on equilibrium-centered models with representative agents, rational expectations, and highly restrictive assumptions. While incremental modifications—such as introducing heterogeneity or financial frictions—have been incorporated into Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) models, these adjustments have largely maintained the core rationalist and equilibrium-focused paradigm. As a result, such models remain inadequate in capturing endogenous crises, nonlinear dynamics, and the evolving nature of real-world economic systems. Complexity economics emerged as an alternative framework to address these shortcomings, offering a perspective that sees economies as complex adaptive systems composed of heterogeneous agents interacting in decentralized environments.

This paper presents a baseline agent-based macroeconomic model (Macro ABM) that operationalizes key arguments of complexity economics within a macroeconomic context. Unlike traditional macro models, where aggregate outcomes are derived from a representative agent's optimization problem, the proposed model emphasizes the direct interactions of boundedly rational agents whose decisions are guided by heuristic behavioral rules under incomplete information. The economic agents—households and firms—adapt their decisions based on past outcomes, local information, and evolving market conditions. Markets in this model are not assumed to clear via a Walrasian auctioneer but instead self-organize dynamically, reflecting the emergent properties of decentralized interactions.

Methodologically, the model integrates insights from existing ABM literature, drawing on the conceptual foundations of Russo et al. (2007), Lengnick (2013), and Riccetti et al. (2015), while ensuring more realistic behavioral rules akin to Caiani et al. (2016). Households are differentiated as skilled and unskilled workers, facing stochastic income and employment outcomes. They determine desired consumption based on adaptive expectations and current resources. Firms set production targets according to expectations of sales and inventories, hiring or laying off workers accordingly. Prices are determined via a markup rule over expected unit labor costs, and firms revise their pricing based on past inventory fluctuations. Crucially, the model excludes any centralized policymaker or external demand stabilizers, thereby simulating a pure market economy.

The simulation proceeds in discrete time steps, encompassing labor market matching, production decisions, and goods market transactions. Labor markets feature decentralized matching with loyalty-based re-applications, while goods markets incorporate limited information search, whereby consumers only observe a subset of firms before making purchasing decisions. Importantly, the system allows for endogenous disequilibria -such as involuntary unemployment, unsold inventories, and demand shortfalls- without any imposed clearing mechanism.

Monte Carlo simulations conducted over 200 periods reveal several key findings. First, even in the absence of external shocks, the economy exhibits endogenous business cycle fluctuations driven by coordination failures at the micro level. For instance, misalignments between wages and prices induce oscillations in effective demand, leading to periodic output

contractions and spikes in unemployment. Second, the model reproduces several stylized macroeconomic facts, such as a negatively sloped Phillips curve and Okun’s law relationship between unemployment and output growth. Additionally, prices are shown to be more procyclical and flexible than wages, highlighting realistic nominal rigidities observed in actual economies.

Another important result concerns the evolution of market structures. Despite identical initial conditions and constant returns to scale, the simulation produces an emergent shift from a perfectly competitive market towards an oligopolistic structure. This arises purely from cumulative pricing advantages, illustrating how heterogeneous micro interactions can endogenously generate firm size distributions consistent with empirical observations—where a few large firms dominate output while many smaller firms coexist.

Crucially, the model highlights the absence of self-correcting mechanisms often assumed in complexity economics. Rising unemployment does not lead to immediate wage adjustments that restore full employment. Instead, falling wages reduce aggregate demand further, reinforcing downturns. These dynamics underscore the fragility of decentralized economies and the persistence of disequilibria when adaptive rather than optimizing behaviors dominate.

From a broader perspective, the model demonstrates that complexity-based macroeconomic frameworks can capture emergence, path dependence, and nonlinearity, which are overlooked in equilibrium-centric approaches. By abandoning the need for a single equilibrium state and embracing decentralized interactions, ABMs offer a more realistic and policy-relevant lens for understanding economic crises, systemic risks, and structural changes over time.

In summary, this paper contributes to the growing literature on complexity macroeconomics by providing a foundational ABM that combines heterogeneous households, adaptive firms, and decentralized market interactions within a unified framework. It shows that complex macro phenomena—such as unemployment persistence, oligopolistic market evolution, and endogenous business cycles—can emerge naturally from simple micro-level behavioral rules without external shocks or equilibrium assumptions. Future work could extend the model to incorporate financial markets, innovation processes, and policy interventions, providing deeper insights into the coevolution of economic structures and institutions.