

Evrimsel Dinamikler ve İktisadi Karmaşıklık

Murat Yıldızoğlu
GREThA (UMR CNRS 5113)
Bordo Üniversitesi
Avenue Léon Duguit
33600 Bordo, Fransa
<http://yildizoglu.fr>

Abstract

Evolutionary Dynamics and Economic Complexity. We propose in this article a quick introduction to the evolutionary analysis of complex economic dynamics. When we look at the economic dynamics as resulting from the workings of a Complex Adaptive System (CAS), our attention necessarily focuses on new questions, and our analytical efforts need the development of new modeling methods. After having quickly discussed the properties of CAS in Economics, the article illustrates them more in detail using the example of industrial dynamics where this approach has historically been developed first. This discussion is followed by an introduction to the main methods used for analyzing CAS, and develops an example model of industry dynamics (Nelson & Winter 1892, part V). We also give an analytically organized bibliography to provide the reader with an entry point to an already very large literature.

Keywords: Economic dynamics; Complex adaptive systems; Evolutionary modeling; Learning; Computational economics.

Makale Tarihiçesi: 13 Haziran 2017 alındı. 10 Ağustos 2017 kabul edildi. 25 Aralık 2017 elektronik olarak yayınlandı.

*-(...) Görüyor musun, burada olduğun yerde durabilmek için elinden geldiğince koşmak zorundasın? Eğer başka bir yere gitmek istiyorsan bundan iki kez daha hızlı koşmalısın!*¹

(Kırmızı Kraliçe, Aynanın ötesinde, Lewis Carrol)

1 Uyarlı Karmaşık Sistemler² (UKS) Gözüyle İktisat

Sizin bağışıklık sisteminizin AR-GE yapan şirketlerden oluşan bir endüstriyle ne alakası olabilir diye düşündünüz mü hiç? Bağışıklık sistemimiz birbirinden farklı ve birbiriyle devamlı ilişki

¹“Now, HERE, you see, it takes all the running YOU can do, to keep in the same place. If you want to get somewhere else, you must run at least twice as fast as that !” in *Through the Looking Glass*, Lewis Carrol

²*Complex Adaptive Systems* (Holland, 1995)

içinde binlerce çeşitli elemandan oluşuyor. Sizi bugün hangi dış patojen saldırılardan koruyabileceği de sizin (yani bağışıklık sisteminizin) geçmişte karşılaştığı saldırganlara bağlı. Yani onun tarihi onun bugünkü kabiliyetini belirliyor. Diğer yandan, AR-GE yapan şirketlerden oluşan endüstrinin dinamiği de her an o şirketlerin yenilik yaparak çözmeyi başardıkları sorunlara, aşmayı başardıkları krizlere bağlı. Ama onların bugün karşılaştıkları sorunları çözebilme yetilerini de geçmişte çözmeyi öğrendikleri sorunlar belirliyor aslında. Yani bu dinamik de tarihe çok bağlı bir dinamik ve bağışıklık sistemininkiyle bir çok özelliği paylaşıyor.

Bu ortak özellikler bu endüstrinin bir bağışıklık sistemi olmasından ya da bağışıklık sisteminizin bir endüstri olmasından kaynaklanmıyor. Birini diğerine indirgemek, ya da analogiyle yetinerek analiz etmeye çalışmak doğru sonuç veremez. Bu iki yapının da birer uyarlı karmaşık sistem (UKS) oldukları için o özellikleri paylaşıyorlar. Aslında çevremizde başka alanlarda da bu tür sistemler çok yaygın: örneğin yaşıyan her şehir, arkadaş çevreniz, bir finans piyasası ve her ekolojik çevre benzer özellikler ve mekanizmalar paylaşıyorlar. Bu tür sistemlerin doğada ve toplumlarda çok yaygın olmasına rağmen, onları ancak yeni yeni gerçekten fark edip anlamaya başlıyoruz. Aşağıda tartışacağımız gibi, onların doğalarının onları indirme yoluyla analiz etmemize izin vermemesine rağmen bizim indirme alışkanlıklarımız onları anlamak için gerekli kavram ve modelleme yöntemleri geliştirmemizi oldukça geciktirdi.

Zaman içinde var olmayı başaran UKS'ler çok çeşitli ve ilişki içinde parçalardan oluşmalarına rağmen iç tutarlılıklarını korumayı başaran sistemler (başaramadıklarında dağılıp yok oluyorlar tabii). Bu tutarlılık evrim içinde oluşuyor ve devam ediyor, parçalar arasındaki alt düzeydeki ilişkilerin kendilerini çevrelerine uyarlayarak gelişmeleri sayesinde sistemin üst düzeylerinde görünen tutarlılıklarını koruyabiliyorlar. Bir şekilde çevrelerine uymayı "öğreniyorlar". Yani bir UKS'nin varoluğu bir dengeye ulaşıp ulaşamamasına değil, değişirken bu tutarlılığını koruyup koruyamamasına bağlı. Temelinde Newton'dan etkilenerek denge odaklı geliştirdiğimiz bilimsel analiz ve modelleme metotları bu sistemleri anlamamızda maalesef çok yardımcı olmadıkları için onları anlamak ve bize sordukları yeni soruları çözmek için yeni metotlar geliştirmek gerekiyor bir çok alanda. Örneğin *Santa Fe Institute* 1984 yılında, Yeni Meksiko'da tüm bu UKS'lerin analizini ve bunun için gerekli olan yeni araştırma metotlarını geliştirmek için, üç Nobel ödüllü araştırmacının (Phil Anderson, Dave Pine ve Murray Gell-Mann) etrafında kuruldu.

İktisat alanında da bir çok olaya ve dinamiğe bakışımız da hızla değişmekte. İktisadi sistemlerin de aslında birer UKS olduğunu anladıkça, geleneksel yaklaşımlarımızın yetersizlikleri ortaya çıkıyor. Sorduğumuz soruya ve ona bağlı olarak seçtiğimiz yaklaşım düzeyine bağlı olarak (ülke, endüstri, şirket, birey...), sistemi oluşturan çeşitli parçacıklara ve onların birbirleriyle olan etkileşimlerinden oluşan dinamiklere ve uyarlılık özelliklerine dikkat vererek eski iktisadi sorulara yeni cevaplar vermeye ve çok yeni sorular sormaya başladık 80'li yıllardan itibaren: devamlı gelen yeni sorunlarla yüz yüze kalan bir kurumun yapısının özellikleri neler olmalıdır? Yenilikler geliştirilerek rekabet içinde olan bir endüstrinin özellikleri nelerdir ve onu yönlendirmek için hangi iktisadi ve teknolojik politikalar geliştirmek lazımdır? Bir çok teşvik politikaları (mesela çevre-sever teknolojileri yaymak için üretilenler) niçin pek etkili olamıyorlar? Avrupa'nın bölgelerinin büyüme dinamikleri nasıl etkileşiyor ve bölgelerin yakınlaşmasını nasıl politikalarla sağlayabiliriz? Kapitalist bir ekonominin gelişme koşulları nelerdir?.. Bunlar ve diğer sorulara gerçekçi cevaplar verebilmek onları birer UKS bakışıyla irdelemeye bağlı ve bu makalede 80'lerden beri iktisatta bu amaçta geliştirmekte olduğumuz bir yaklaşımı sunmaya çalışacağız.

Bu yaklaşıml bir UKS olarak her iktisadi sistemin beş temel özelliği olduğuna dikkatimizi çekiyor (Arthur et all., 1997):

1. **Sistem içinde dağınık etkileşim.** İktisadi etkinliklerin doğasını asıl belirleyen o etkinliklerin dahil olduğu sistemin çeşitli parçaları (iktisadi birey³ ve öğelerin) arasındaki etkileşimlerdir. Her bireyin yaptığı tercihlerin sonuçları diğer bireylerin yapmakta oldukları tercihlere ve sistemin o andaki haline bağımlıdır.
2. **Bir orkestra şefinin olmaması.** Sistemin parçalarından hiç biri diğer bireylerin davranış ve inanışlarını düzenleyeme olanağına sahip değildir. Bu durum o davranışların var olan kurumlar ve iktisadi yapılar tarafından yönlendirilmesini dışlamaz.
3. **Devamlı bir uyarlanma.** Onlardan oluşlan sistemin içinde ve diğer bireylerle etkileşimlerinde yaşıadıkları deneyimin sonucu olarak, bireylerin inançları ve davranışları devamlı bir evrim içindedir.
4. **Sistemde durmaksızın oluşlan yenilikler.** Bu devamlı uyarlanma bireylerin karşılaştıkları sorunlar için yarattıkları yeni çözümler sayesinde sisteme devamlı yenilikler (yeni stratejiler, yeni ürünler, yeni pazarlar, yeni teknolojiler, yeni kurumlar...) sokmaları sayesinde oluşur.
5. **Denge dışı dinamikler.** Sistemde oluşlan bu devamlı yenilikler akımı ona dengeye ya da toplumsal optimuma varma olanağı pek vermez ve sistemin normal hali denge dışı olmaktadır. Bu koşullarda, bireysel düzeyde de optimal stratejiler oluşamaz ve hatta onları tanımlamak bile imkansızdır. Bu nedenle, iktisadi bireylerin davranışları genelde, Herbert Simon'un tanımıyla, *sınırlı akıllılığa* denk gelir.

Böyle bir iktisadi sistemin dinamikleri ve tümsel özellikleri bireylerin etkileşimleri ve öğrenerek çevrelere uyma çabaları tarafından belirlenirler. Bu dinamik ve bu özellikleri analiz ederken de sistemin tümsel/makroskopik düzeydeki özellikleri, mikroskopik özelliklere ve onlar hakkında yapılan varsayımlara göre şaşırtıcı sayılabilecek bir şekilde oluşabilirler (sağa yatmış bir kayığı dengelemek için tüm yolcular, mantıklı bir refleksle, sola gidince kayığın suya devrilmesinde olabileceği gibi). Bu tür iktisadi sistemlerin (örneğin bir pazar, bir endüstri, ya da tüm bir ekonomi) dinamiklerini modellerken, hem mikroskopik varsayımlara (özellikle bireylerin etkileşimlerine ve bilişsel süreçlerine) dikkat etmek, hem de bu beklenmeden oluşabilecek tümsel özellikleri göz önüne almak gerekir. Sonuçta, bu sistemleri anlayabilmek için iktisat biliminin geleneksel dikkat noktalarından oldukça daha farklı yeni olayları göz önüne almamız ve modellememiz kaçınılmazdır. Bunu yapabilmek için de yeni analiz metodları ve araçları geliştirmek gerekmektedir.

Bilim tarihi içinde ilk sistematik analizi geliştirilen UKS biyolojik türlerin evrimi oldu ve ilk yaklaşımlar ve araçlar bu alanda kuruldu. Darwin (ve bir ölçüde Huxley) bu tür sistemlerin dinamiklerinin analizin ortaya koyduğu zorluklarla ilk uğraşlan araştırmacılar oldular diyebiliriz. Var olan geleneksel yaklaşımların (taksonominin statik yaklaşımlıyla, Lamarck'ın teleolojik dinamik analizlerinin) yetersizliğiyle karşılaşıp, yeni sorular ve cevaplar geliştirmek zorunda kaldı bu evrim üzerine yapılan çalışmalar. Onların bu çabalarının ve geliştirdikleri kavram ve araçların başka alanlardaki UKS'leri anlamamıza yardım edebileceği zaman içinde ortaya çıktı.

³İktisadi birey ve daha kısa haliyle birey kavramını bu makalede *economic agent* anlamında kullanıyoruz.

Evrimsel mantığın iktisat alanında da dinamikleri anlamamıza yardım edeceği aslında oldukça erken görüldü (Marshall 1890⁴ ve Veblen 1898) ama bu yaklaşımın geliştirilmesi ve yeni sonuçlar vermesi çok daha sonra mümkün olabildi. Sunacağımız yaklaşım bu evrimsel mekanizmaların iktisadi UKS'lerin çağdaş analizlerine yaptığı katkıları üzerine odaklanacak.

Bu yaklaşımın özelliklerini ilk önce iktisatta tarihsel olarak ilk çıkış alanı olan endüstriyel dinamikler alanını örnek alarak, bu alanda ne tür yeniliklere yol açtığını göstererek sunmaya başlayacak bu makale, ikinci bölümünde. Üçüncü bölüm, bu yeni soruları ve analizleri ve analizleri mümkün kılan yeni metodlara kısaca bir giriş oluşturacak. Makalenin bibliyografyası da özellikle geniş olarak verilecektir, okurları bu yeni analizlere ve açılışlara doğru yöneltmek amacıyla.

2 Endüstriyel Dinamiklere Evrimsel Yaklaşım

İktisadi dinamiklere bu yeni gözlerle bakmak iktisadi bireylerin davranışlarına ve bu davranışların etkileşimlerine de yeni bir yaklaşım geliştirmemizi gerektiriyor. Bu davranışları iktisadi denge ve akılcı beklentilerle (*rational expectations*) sınırlamadığımız zaman, onların arasındaki uyumun ortaya çıkış koşulları ve bireylerin öğrenme mekanizmaları tekrar ön plana çıkıyor ve temel iktisadi sorulara temel oluyor.⁵

Evrimsel yaklaşım iktisadi bireylerin akıl kullanmasını ve kendilerine has niyetleri olmasını red etmese de onlara daha gerçekçi bir bakış ve modelleme yapılmasını öneriyor. Bu yaklaşımın gözüyle, bireylerin niyetleri, onların öğrenme süreçleri ve iktisadi sisteme bu öğrenme sayesinde sürekli getirdikleri yenilikler, sistemin bu yeniliklerin başarısızlarını eleyerek seçme mekanizmalarıyla etkileşerek, sistemin dinamiğini (burada evrimini de diyebiliriz) belirliyorlar. Her iktisadi ortam kendine özel "başarı" kriterlerine yol açıyor: endüstri düzeyinde kâr düzeyi önemli bir rol oynayabilirken, emek piyasasında firmalar arası üretkenlik ve verilen ücret farkları ön plana çıkabiliyor. Bu kriterlere göre başarılı olabilen yenilikler sisteme yayılırken, başarısızların payı zaman içinde düşebiliyor. Hangi yeniliğin başarılı olabileceğini önceden bilmekse hiç kolay (ve hatta mümkün) olmuyor bu tür dinamiklerde. UKS'ların temel özelliklerini bu dinamiklerde de gözlemleyebiliyoruz o zaman: ucu tamamen açık, tarihine bağımlı dinamikler bunlar.

Bu bölümde bu çok kısaca tartıştığımız özellikleri daha detaylı olarak sunmaya çalışacağız. İktisadi davranışların gerçekliklerinden başlayarak yenilik getiren ve eleme yapan iktisadi mekanizmalara baktıktan sonra onların etkileşiminin yarattığı dinamiklerin temel özelliklerine döneceğiz. Örnek olarak endüstriyel dinamiklere odaklanacağız bu bölümde.

2.1 İktisadi Bireylerin Niyetleri ve Akılcılığı

Bir UKS'in parçası olan iktisadi bireylerin akıllılığı basit bir eniyileme problemine (*optimization*) indirgenemez genelde. İktisadi deneyler ve iktisadi davranışların zaman içinde çok sık gözlemlenen kalıcılığı (bireylerin koşulları değişmekte olsa bile), eniyilemenin aslında pek gerçek-

⁴"In this matter economists have much to learn from the recent experiences of biology: and Darwin's profound discussion of the question throws a strong light on the difficulties before us." (Marshall 1890, Kitap II, bölüm II)

⁵J. M. Keynes'in düşüncesinin çıkış noktalarının da bu sorunsalla örtüşüyor olması bu soruların uzun zamandır iktisatçıları düşündürdüğünü gösteriyor herhalde, ama Schumpeter'den farklı olarak Keynes sorularını durağan düzeye ve bu düzeydeki uyumsuzluk olanaklarına yöneltti daha çok.

çi olmayan bir yaklaşıml olduğunu açıkça gösteriyor. Eğer bu davranışları anlamak ve modellemek istiyorsak, Herbert Simon'un kurduğu kavramsal çerçeveye dönmemiz gerekiyor (Simon (1955) – Simon (1982)). Bu çerçeve bireylerin akıllarını karşılaştıkları sorunlara kabul edilir çözümler yaratmaya kullandıklarını (yöntemsel akılcılık - *procedural rationality*) kabul ediyor, o sorunlara "en iyi" çözümleri seçebilmek yerine (tözel akılcılık - *substantive rationality*) yerine.⁶ Yöntemsel akılcılığa uyan iktisadi davranışlar genelde basit ve kolay değişmeyen davranış kuralları olarak gözlemleniyor deney ve çalışmalarda. Bu kurallar, bir süre sonra, bireylerin çevrelerinin içinde buldukları sistemin evrimin bir sonucu olarak değişmesiyle, çalışmadıklarını göstermeye başlayınca, bireyler yeni çareler aramaya ve yeni ortama daha uygun yeni davranışlar yaratmaya çalışıyorlar (Simon bu yenilik arama dinamiğine - *tatminlilik - satisficing* adımı veriyor).

2.1.1 Yöntemsel Akıllılık, Tözel Akıllılık

İktisadi bireylerin bu ortamlarda davranışlarına Simon'un bakışını tanımlamak için bazen kullanılan "sınırlı akıllılık" (*bounded rationality*) kavramı yanlış bir his verebiliyor ve olabilecek "sınırsız" bir akıllılığa gönderme yapıldığını düşündürebiliyor. Halbuki Simon'un yaklaşımı çok daha ince ve sağlam. Tümevarımsal bir çabayla oluşturulmuş bir kavram sistemi: kendi büyük şirket ve idarelerde yaptığı gözlemler ve bilişsel psikolojinin onun zamanında vardığı sonuçlardan kalkarak iktisadi bireylerin akıllılığını anlamaya ve temsil etmeye çalışıyor Simon.

"Behavior is substantively rational when it is appropriate to the achievement of given goals within the limits imposed by given conditions and constraints. Notice that, by this definition, the rationality of behavior depends upon the actor in only a single respect - his goals. Given these goals, the rational behavior is determined entirely by the characteristics of the environment in which it takes place. (...) Behavior is procedurally rational when it is the outcome of appropriate deliberation. Its procedural rationality depends on the process that generated it." (Simon (1976), 130-131)

Sonuç olarak, tözel akıllılığın, ancak o akılla sonuçlar belirlenebildiğinde bu sonuçlara varmayı sağlayan yöntemleri bireyler kurduğunda bir anlamı var Simon için. Ama bireylerin akılları genelde eniyiyi aramaya değil, el yordamı ve sezgisel (*heuristic*) bir yöntem kurarak, tatmin edici bir çözümleri bulmaya çalışıyor.

Simon'un yaklaşımının daha gerçekçi olduğunu her birimiz biraz içebakış (*introspection*) yaparak görebiliriz. Ama yine de bu yaklaşımın nasıl iktisat kuramlarına ve modellerine katılabileceği uzun zaman zorluk çıkaran bir soru olarak kaldı ve bu sorunun hala nihai bir cevabı yok diyebiliriz. Bunun nedeni, bireylerin yarattığı çözümlerin özelliklerine bağlı olması. Ve hatta aynı sorun karşısında özellikleri (tarihleri de bu özelliklere dahil tabii) değişik çeşitli bireyler farklı çözümler yaratabiliyorlar. Bu çeşitlilik yöntemsel akıllılığın zenginliğini, ve de onu modellemenin zorluğunu belirleyen bir temel özelliği. Bu özellik onun iktisadi bir sistemde devamlı yeniliğe nasıl yol açtığını da gösteriyor (bu noktaya biraz sonra döneceğiz).

Ama bu zorluğa rağmen modellerimizi bu yöntemsel akıllılığı içerecek şekilde kurmak zorundayız çünkü bir çok çalışma ve insanla deney (bknz. Cohen et Bacdayan (1994)) gerçek iktisadi bireylerin ve kurumların akıllarını böylesi basit ve sezgisel yöntemleri aramaya adadıklarını ve buldukları yöntemleri günbegün birer rutin gibi tekrarlayarak kullandıklarını gösteriyorlar.

⁶Yöntemsel akılcılığın gerçekçiliği üzerine, bknz. Conlisk (1996).

2.1.2 Yöntemsel Akıllığın Uygulanması Olarak Rutinler

Bireylerin günbegün kullandıkları bu karar mekanizmaları firma ve kurumların gerçek hayatta gözlemlenen temel ataletinin (Cohen ve all. 1996) arkasında yatıyor. Hem her firmanın bu tekrarlanan rutinler dağarcığı o firmanın kurumsal ortamına bağımlı, hem de onun çevresinde gelişen küçük değişiklere karşı dayamlı olmasını sağlıyor. Yani bu ataleti kurumların bir zayıflığı olarak görmemeliyiz, çünkü arkalarındaki dayanıklılık arayışı firmaların varolma becerisini belirliyor.

Rutinlerin adları onların otomatik bir boyutu olmasından da geliyor. Her rutinin yapısı onun uygulama koşulları ve uygulandığı zaman gerçekleştirdiği davranışlar arasında kurduğu bir eklemlemeye denk geliyor (Holland ve all. 1989): [Koşul → Davranışlar].⁷

Çevre değiştğinde bu rutinlerin kurumun gözündeki değeri de değişebiliyor. Çevrenin bu davranış kurallarına verdiği tepki kurumun bu değeri öğrenmesini sağlıyor. Bu öğrenme de kurum içinde var olan rutinler üzerinde seçici bir basınç yaratıp, kurumun rutinler dağarcığının evrimini sağlıyor. Bu evrim tabii ki Darwin'in kuramladığı biyolojik evrimden çok daha farklı seçme mekanizmalarıyla gerçekleşiyor.

Nelson et Winter (1982b, bölüm 5) bu yaklaşımı geliştirerek iktisadi birey ve kurumların davranışlarını ve onların ataletini analiz ediyorlar. Aslında bu atalet fikrini ilk olarak Schumpeter (1935/1999)'in ortaya koyuyor. Nelson ve Winter bu rutin dağarcığının ait oldukları kurum içinde oynayabildikleri rollerin ince bir analizini de veriyorlar. Rutinler kurumun hafızasının kristalize olduğu yer olarak, kurumun yeterliliğini onu oluşturan çalışanların bilgi ve yeterliliklerinden oluşturuyorlar. Kurum içinde bir *barış anlaşması* oluşturarak, bütün mensupların kurumun işleyişine (ve rutinlerin içinde onlara düşen görevlere) gönüllü katılımını sağlıyorlar, gerekli teşvik, ceza ve terfi mekanizmalarını belirleyen bir sosyal sözleşme olarak. Kurumun işleyişini günbegün kontrol ederek onun basit belirsizlikleri ve değişkenlikleri aşabilmesini sağlıyorlar. Kurumun içinde yaratılmış olan çözümleri kristalize edip, onların kopyalanarak çoğalmasını kolaylaştırıyorlar ve firmanın yeni şubeler açmasını ve büyümesini sağlıyorlar. Ama tabii, bir yan etki olarak, bu kolaylanan kopyalama bu çözümünlerin rakip firmalar tarafından taklit edilmesini de kolaylaştırabiliyor.

Nelson ve Winter bu rutinlerin aslında çeşitli zaman ufuklarına ve firmanın değişik kademelerine ait olduğuna dikkatimizi çekiyorlar.

2.1.3 Rutinler Hiyerarşisi, Tatminlilik ve Öğrenme

Nelson ve Winter'i izleyerek bir firmanın rutinlerine baktığımızda onlar arasında bir hiyerarşi görebiliyoruz.

Hiyerarşinin en alt seviyesinde firmanın günbegün işleyişini sağlayan işlemsel rutinler oluyorlar. Onların üzerindeki seviyede firmanın kısa dönem dinamiğini sağlayan bir dönemden öbür döneme geçişi idare eden rutinleri görüyoruz. Bunlar genelde çeşitli yatırım işlemlerini (üretim sermayesi, insan kaynakları, AR-GE) idare eden davranış kuralları oluyorlar. Bir alt seviyedeki rutinlerin kopyalanarak çoğaltılabilmedeki kolaylıkları (ya da zorlukları) bu ikinci seviyedeki büyüme rutinlerinin etkenliğini belirliyor. En üst seviyede Nelson ve Winter'in metarutin diye adlandırdığı, alt seviyelerdeki rutinlerin (örneğin yatırım rutinlerinin) zaman içinde evrimini idare eden rutinleri görüyoruz. Bu rutinler kurumun kendisini çevresinin evrimine uyarlamasını sağlıyorlar. Var olan alt düzey rutinlerinin verdiği sonuçlar tatmin edici olmaz hale

⁷Mesela [Eğer yağmur → Şemsiyeyi al] şeklinde.

geline (örneğin firma bir kaç ay peş peşe pazar payında bir azalma gözlemleyince), o rutinleri gözden geçirmeyi ve gerekirse yerlerine yeni rutinler aramayı sağlayan rutinler bu metarutinler. Örneğin, sorun çıkaran atölyeleri hangi sıklıkla kontrol etmek gerektiğini belirleyen ve o sorunları çözmek için yeni işlemsel rutinler yaratılmasını sağlayan davranış kurallarına denk geliyorlar.

Sonuçta, metarutinler firmaların öğrenme sürecinin gerçekleştiği seviyeyi oluşturuyorlar. Çevresine uyabilmek için firma kendi rutin dağarcığını devamlı olarak uyarlamak zorunda oluyor: Kırmızı Kraliçe'nin ülkesinde olduğu gibi, rutin dağarcığı bu uyarlama yeteneğine yeteri kadar sahip olmayan firmalar pazarlarda ve kurumsal çevrelerinde karşılaştıkları eleyici basınç karşısında yer kaybediyorlar. Bir firma yeni bir rutin yaratıp o basıncı aşmayı başardığındaysa diğer bir başka firma üzerindeki basıncı arttırmış oluyor genelde ve yeni rutinler bulmak bu diğer firmanın sorunu olabiliyor. Yani bir endüstrinin işleyişı tam olarak bir UKS oluşturuyor: sorun çözen her firma yenilik getiriyor endüstriye ve bu yenilik de çözülmesi gereken yeni bir sorun. Bu şekilde sisteme devamlı giren bir yenilik akımı oluşuyor ve sistemin durmak bilmeyen dinamiğini besliyor. Sistemin parçası olan eleme basıncı mekanizması da (endüstri örneğinde rekabetin çeşitli boyutları) bu yenilikleri yönlendiriyor, ve sistemin, onu oluşturan öğelerin ve onların rutin dağarcığının evriminde temel bir rol oynuyor. Yani bir çok seviyede oluşan ve paralel giden bir birlikte evrim (*co-evolution*) oluşuyor sistemin içinde ve onun tümel özelliklerinin evrimini belirliyor.

2.2 İktisadi Dinamiklerde Tarihin Rolü

Yukarıda gözlemlediğimiz bu birlikte evrim sistemin üyeleri ve dönemleri arasında güçlü bir etkileşim yaratıyor. Sonu açık, nereye ulaşacağı önceden tahmin edilemez bu evrim gelişirken sistemin tüm geçmiş hallerine bağımlı oluyor ve hatta bu evrimin açılışı tarihinin en başında gerçekleşen bazı küçük olaylar/kararlar (*small historical events*, Arthur 1989 ve David 1985) tarafından güçlü olarak belirlenebiliyor. Bu araştırmacılar tarafından çok sık verilen bir örneği hatırlatabiliriz burada: mekanik daktiloların kollarını yavaşlatıp karışmalarını engellemek üzere geliştirilmiş olan QWERTY sistemini artık mekanik olmayan ve bu sorunu olmayan elektronik klavyelerde de kullanmaya devam ediyoruz, bu sistemin yazımı hızlandırmak değil, yavaşlatmak üzere kurulmuş olmasına rağmen. Tarihe bağımlılık teknoloji tarihinde bir çok başka örneği olan bir özellik. Bu tarihe bağımlılık hem iktisadi sistemlere tek yönlü (*irreversible*) bir dinamik veriyor, hem de bu dinamiğin varabileceği noktanın öngörülmesini imkansız kılıyor (David 2001, Foray 1991).

Örneğin, bir sektördeki firmalar sorun çözmek için yeni teknolojiler yaratmaya çalışırken, bu çabalar kristalize olup, bir teknoloji paradigmasının oluşmasına olanak verebiliyor (Dosi 1982) ve bu paradigma oluşunca firmaların arayışlarını yönlendiren ve sektörün teknolojisinin evrimini yapılandıran bir güç oluşturabiliyor. Tabii bu güç aynı zamanda o arayışların dar bir alana sıkışmasına ve sektörün de o teknolojiye geri dönülmesi zor bir şekilde bağlanmasına da yol açabiliyor.

Benzer bir şekilde, fakat tüketim bağlamında, Arthur (1989) ortaya çıkan yeni bir ürünün pazarına giren ilk tüketicilerin tercihlerinin o ürünle ilgili standardın oluşmasında ne kadar önemli bir rol oynayabileceğine işaret ediyor. Bu tüketicilerin tercihleri mecburi olarak miyop olduğu için (ürünle ilgili alternatif teknolojilerin değerini önceden bilmek genelde mümkün değil), bu ilk tercihler, her biri bireysel düzeyde akılcıl olsalar da, pazarın tamamının aslında alt etkinlikte olan bir teknolojiye kilitlemesine (*lock-in*) yol açabiliyor. Bu tek yönlü dinamikler

ve onların toplumları kötü düzeyde çözümlere kilitleme olanağı sadece iktisadi dinamiklere ait bir özellik değil. Tüm evrimsel dinamikler (Darwin başından bu dinamiklerin sistemi mutlaka en iyiye çekmek gibi bir özelliği olmadığının altını çiziyor) ve de daha genel olarak UKS'lerin dinamikleri bu tür sonuçlar yaratabiliyor (Schelling 2006).

2.3 Sonu Açık Denge Dışı Dinamikler

Ekonomiyi bir UKS olarak gördüğümüzde, yukarıda tartıştığımız özellikler iktisadi dinamiklere, büyüme ve "Milletlerin zenginliği" – Adam Smith– sorunsalına çok daha farklı bakmamızı gerektiriyor. Bu dinamiğin merkezinde bireylerin davranışlarının eklenmesi sorunu ön plana çıkıyor.

Tümsel akıllılığı, yukarıda tartıştığımız nedenlerden dolayı, yani gerçekçi bir yaklaşım olmadığı için arkamızda bıraktığımızda, geleneksel iktisat yaklaşımının öbür iki temeli de UKS'lerin dinamiklerini çözümlmek için iç görmez hale geliyorlar: denge ve akılcıl beklentiler. Aslında bu geleneksel yaklaşımda bu üç temel elele çalışıyor ve bir tanesini kaldırdığımızda, öbürleri işlevsiz hale geliyor.⁸

Bu dinamikleri anlamak için sistemin tüm hallerini, özellikle denge dışı olanları da, ve koordinasyon problemlerinin sistemi yönlendirebilme gücünü de analiz edebilmemiz gerekiyor. Eğer bu iktisadi dinamikler bireyler arası koordinasyon problemlerini çözüyorsa ve sistemi bir dengeye doğru çekiyorsa, bunu içsel bir şekilde, sistemim makroskopik bir oluşumu olarak gözlemleyebilmemiz gerekiyor, dengeyi en baştan hipotez olarak kabul ederek değil.

Eğer bireyler sistemin belirli bir dengede olduğuna inanamıyorlarsa, akılcıl beklentiler de onların davranışlarını yapılandırmakta ve o beklentileri koordine etmekte pek bir fayda vermiyorlar. Tüm bilgileri kullansalar da, eğer belirli bir dengeye güvenemezlerse, sistemin hangi halini bekleyip ona uygun iyi kararlar alabilir o bireyler? Bu koşullarda, yukarıda tartıştığımız gibi, en iyiye seçme olanağı da yok oluyor onlar için ve tözel akıllılık kabul edilemez bir varsayım oluyor yeniden. Bir UKS içinde, bireylerin tek yapabileceği beklentiler, onların içinde buldukları sistem hakkında, o sistem içindeki yaşadıklarından çıkarsayarak oluşturabildikleri zihinsel modele (*mental model*, Holland et all. 1989, Yıldızoğlu 2001) dayanarak oluşturacakları varsayımlar olabiliyor ancak. Bu zihinsel model sistemin gerçek işleyişinin çok yanlış bir yansıması olabilse de ilk önce, sistem içinde yaşadıkça ve hata yaptıkça bireyler bu modeli sisteme ve onun evrimine uyarlayabiliyorlar. Bu beklentiler bireylerin sistemin gerçek modelini bilmelerini gerektirmiyor. Ayrıca uyarlı beklentilerin Keynes'in ardından geliştirilen ilk kuramlarının tabutuna çivi çakan Lucas eleştirisine de tabi olmuyorlar (bu beklentiler sistemdeki değişikliklere uyma kabiliyetine gerçekten sahip oldukları için – Yıldızoğlu 2001 ve Yıldızoğlu et al. 2014).

Sonuç olarak, UKS'leri anlayabilmemizi sağlayacak bir iktisadi analizden beklememiz gerekenleri özetlersek: sistemi oluşturan bireylerin yöntemsel akıllarını, bireyler arası etkileşimleri, bu etkilerin denge dışı oluşumunu, sistemin denge dışı dinamiğini ve bu sonu açık, tarihe bağımlı dinamiğin özelliklerini göz önüne alan ve irdeleyen bir yaklaşım oluşması gerekiyor. Gelecek bölüm bu yönde ilerlemek amacıyla geliştirdiğimiz modelleme ve irdeleme yöntemlerini çok kısa bir şekilde tanıtacak.

⁸Bu konuyu burada daha fazla açmamız mümkün değil ama edebiyatta denge dışı Walrasvari modeller geliştirme çabaları (80'lerdeki non-Walrasian makro modelleri - Benassy 1993) , ya da yakın zamandaki DSGE modellerine öğrenme sokma çabaları (Evans ve Honkapohja 2001) hep epistemolojik tökezlemelere yol açtılar.

3 Evrimsel Analizin Temel Metotları

Buraya kadar olan tartışmamız sanırım bir UKS'le karşı karşıya kaldığımızda onun işleyişi hakkında geçerli varsayımlar ve kuramlar kurmanın çok kolay olmadığına açık olarak işaret ediyor. Sistemin yaratacağı makroskopik özellikleri ve onların mikroskopik temellerini anlamının da kolay olmadığı görünüyor. Sisteme tüme varımsal bir yaklaşımla bakmak mecburi oluyor bu koşullarda. Sistem üzerine gözlem biriktirmekle işe başlayıp, onlardan kalkarak sistemin işleyişi üzerine hipotezler geliştirdikten sonra ancak kavramsal bir teori ve ardından da bir modellemeye doğru ilerlemek mümkün oluyor. Modeller kavramsal teorinin iç tutarlılığını test etmemize, teorimizi yeni sonuçlarla geliştirmemize ve yeni sorular sorup, yeni veriler toplamak için sisteme geri dönmemize olanak sağlıyorlar.

3.1 Tümevarımla Yaklaşım: Belirgin Özellikler ve Kavramsal Kuramlar

Bilim tarihinde ilk defa bir UKS'le sistematik olarak cebelleşen araştırmacı olarak görebileceğimiz Charles Darwin kaşısındaki sisteme yaklaşımını şöyle anlatıyor:

When on board H.M.S. Beagle, as naturalist, I was much struck with certain facts in the distribution of the organic beings inhabiting South America, and in the geological relations of the present to the past inhabitants of that continent. These facts, as will be seen in the latter chapters of this volume, seemed to throw some light on the origin of species—that mystery of mysteries, as it has been called by one of our greatest philosophers. On my return home, it occurred to me, in 1837, that something might perhaps be made out on this question by patiently accumulating and reflecting on all sorts of facts which could possibly have any bearing on it. (Charles Darwin (1859/1998), p .3)

Dünya turundan dönüşünden sonra Darwin 20 yıl boyunca türlerin evrimi üzerine yorulmadan veri biriktirdi ve bu verileri birleştirerek bu evrimin nasıl olabileceği hakkında hipotezler ve kavramsal bir kuram geliştirdi. Vardığı sonuçların isbatıysa daha sonra, genetik biliminin ve moleküler biyolojinin gelişmesiyle gerçekleşebildi. Buradan Darwin'in teori kurmakta beceriksiz olduğu sonucunu çıkarmayalım.

Darwin'in geçtiği yol yeni bir UKS üzerine çalışan her araştırmacıyı bekliyor. Sistemin nasıl çalıştığı hakkında küçük bir fikir geliştirebilmek için onu yakından incelemek ve onun hakkında gözlem biriktirip, onlardan kalkarak hipotezler oluşturmak aslında mecburi oluyor. Bu hipotezleri yeteri kadar zenginleştirip, bir neden-sonuç yumağı oluşturabildiğimizde de bu yumak kavramsal kuramımızı oluşturuyor: nedensellik ilişkilerinden oluşan niteliksel bir kuram. Nelson ve Winter bu yaklaşımı " *appreciative theorizing* " adı veriyorlar.

3.2 Kavramsal Kuramlardan Modellere Doğru

Kavramsal kuramımızı oluşturduktan sonra onun iç tutarlılığını test etmemiz gerekiyor. Bunun için kuramın ince özellikleri hakkındaki boşlukları da doldurup, onun işleyişini formel bir şekilde tanımlamamızı sağlayabilecek bir model oluşturuyoruz. Karşımızdaki bir UKS olduğu için, bu modellemeden beklediğimiz belirli özellikler var: Bu modelleme

- her UKS'in işleyişinde merkezi rol oynadıkları için, bireyler arasındaki etkileşimlerinin yapısını detaylı olarak yansıtmalı;
- bu etkileşimlerin tümsel sonuçlarını ve sistemin onlardan oluşan özelliklerini analiz etmemizi sağlamalı;
- sistemin evrimini zaman içinde gözlemlememize izin vermeli;
- ne tözel akıllılığa, ne de denge özelliklerine bağımlı olmamalı ve denge dışı dinamikleri analiz etmemize izin vermeli;
- sisteme yeni iktisadi ve sosyal politikalar somamıza ve onların olası sonuçlarını analiz etmemize yer açmalı;
- gerektiğinde bireylerin etkileşimin olduğu mekan/ağları da temsil edebilmeli.

Bu tür bir modellemeyi başarmak için yeni model türleri geliştirmemiz gerekiyor. Bu yöndeki çabalarımız yukarıda sözünü ettiğimiz Santa Fe Institute'de başladı. UKS'lerin şimdiye kadar tartıştığımız tüm özelliklerinden dolayı, analitik modelleme yoluyla ilerleme mümkün olmadığı için, bilgisayar üzerinde modelleme ve simülasyon yoluyla o modelleri analiz etme yolu seçtik. Çok Bireyli Modeller⁹ (ÇBM) tam bunun için geliştirildiler.

3.3 Kavramsal Kuramlardan Çok Bireyli Modellere (ÇBM)

Karşımızdaki iktisadi UKS'in işleyişini anlayabilmek için onun hakkında oluşturduğumuz kuramdan kalkarak onun bilgisayarda işleyecek bir kopyasını, yani suni bir ekonomiye denk gelen bir programı, kuruyoruz. Bu ekonomi bir ÇBM olarak kuruluyor:

1. Sistemi oluşturan çeşitli bireyleri (tüketiciler, firmalar, kurumlar, politika merkezleri...) yaratıyoruz;
2. Bu bireylerin davranışlarının evrimini (onların sisteme uyarlanışını ve öğrenme mekanizmalarını) belirliyoruz;
3. Bireyler arasındaki etkileşim mekanizmalarını ve onların yer aldığı ortamları (pazarlar, ağlar, mekanlar ...) tanımlıyoruz;
4. sadece tümsel düzeyde oluşan dinamikler varsa onları belirleyen mekanizmaları koyuyoruz;
5. Sistemin ve oluşturan bireylerin hangi özelliklerini gözlemlememiz gerektiğine karar verip, onları yazıp veri tabanı oluşturmak için gerekeni yapıyoruz;
6. ekonominin başlangıç noktasını ve parametrelerini belirleyen verileri seçiyoruz ve o ekonomiyi kaç dönem boyunca gözlemlemek istediğimize karar veriyoruz.

⁹ *Agent-based Models (ABM)*

Bu ekonomiyi bilgisayarda çalıştırarak seçtiğimiz kadar dönem yaşamasına izin veriyoruz. Yaşarken onun evrimini izlememizi ekranda çizilen grafiklerle izleyebiliyoruz genelde. Ama asıl olarak analizimizi, seçtiğimiz koşullara bağlı olarak, simülasyonun sonunda gözlemlemek istediğimiz değişkenlerden oluşan (genelde oldukça geniş) veri tabanı üzerinde kuruyoruz (Şekil 1). O veri tabanını istatistik, ekonometri ve *data mining* metodlarıyla analiz edip sistemin oluşan özelliklerini gözlemliyoruz. Genelde bu özellikler seçtiğimiz başlangıç noktası ve parametre değerlerine bağımlı oluyorlar ve onların hassasiyetini analiz edebilmek için bir deney metodu geliştirmek gerekiyor. Bu konu çok hızla gelişmekte olsa da burada iki metodu kısaca gözden geçirebiliriz.

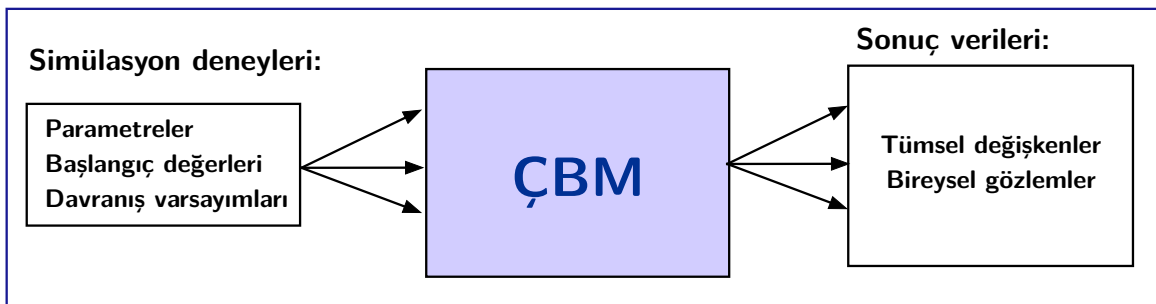
En eskiden beri kullanılan deneysel metod olan Monte Carlo simülasyonlarıyla bu parametre ve başlangıç uzayını gezip, değişik noktaların yol açabileceği değişik simülasyon sonuçları hakkında bilgi toplamak mümkün. Bu bilgi sayesinde hangi sonuçların bazı başlangıç noktalarına hassas olduğunu ve hangi sonuçların da oldukça genel bir şekilde gözlemlenebildiğini anlamaya çalışıyoruz.

Bunun için, yeterli (büyük) sayıda başlangıç noktasını rastlantısal olarak seçip, her birinde başlattığımız o büyük sayıda simülasyonlardan elde ettiğimiz verileri istatistik ve ekonometri kullanarak analiz ediyoruz. Bu büyük sayı bizim parametre ve başlangıç uzayını oldukça iyi kaplayarak sistemin davranışı hakkında oldukça genel bir bilgi edinmemizi sağlıyor. Fakat bu büyük sayıda simülasyonu gerçekleştirmenin önemli bir bilgisayar zamanı maliyeti de oluyor. Bunu göze alarak ve bu masrafı azaltmak için, daha tutumlu metodlar geliştirdik. Sınırlandırarak tekrarlanan Monte Carlo metodları (*iterative Monte Carlo*) gibi. Ama daha da tutumlu metodlar mümkün.

Örneğin Salle & Yıldızoğlu (2014) simülasyon sayısını önemli oranda azaltmamızı sağlayan bir denek tasarımı öneriyor. Bu tasarımda, parametre uzayından alınan numuneler, uzayı en sistemli bir şekilde kapsayacak, ama aynı alanı hiç bir koşul altında boş yere iki kere simülasyonda kullanmayacak şekilde seçiliyorlar¹⁰. Elde edilen sonuçlar maden aramada geliştirilmiş bir ekonometrik metot (kriging) kullanılarak, bu az sayıdaki numunelerden parametrelerin rolü üstüne en geniş bilgi elde edilebiliyor. Bu makalede gösterildiği gibi, pek zengin olmayan bir modelde bile, normal ekonometri teknikleriyle belirlenmesi için 10000 tane Monte Carlo simülasyonu gerektiren parametre rolleri bu teknikle sadece 85 simülasyonda elde edilebiliyor. Bilgisayar zamanı maliyeti açısından çok büyük bir fark görebiliyoruz bu iki yaklaşım arasında.

Eğer modeldeki mekanizmaların bazıları rastlantıya dayalıysa, o zaman elde ettiğimiz sonuçların olası özel rastlantı zincirlerine bağımlı olmadığını da kontrol etmemiz gerekiyor. Bunun için

¹⁰ *Nearly Orthogonal Latin Hyper Cubes* (Cioppa et al. 2007).



Şekil 1: ÇBM ve simülasyonla irdeleme

de modeli, aynı parametre değerleri ama değişik rastlantı zinciri çekirdeği kullanarak yeteri defa yeniden tekrarlamamız ve parametrelerin görevini araştırırken tüm bu değişik çekirdeklerden gelen verileri beraber analiz etmemiz gerekiyor.

Bu noktalara itina ettiğimizde bu karmaşık ekonomide ortaya çıkacak dinamikler ve çeşitli iktisadi faktörlerin (parametreler ve var sayılan değişik davranış türleri) bu dinamikleri nasıl şekillendirdiği hakkında sağlam sonuçlar elde edebiliyoruz.

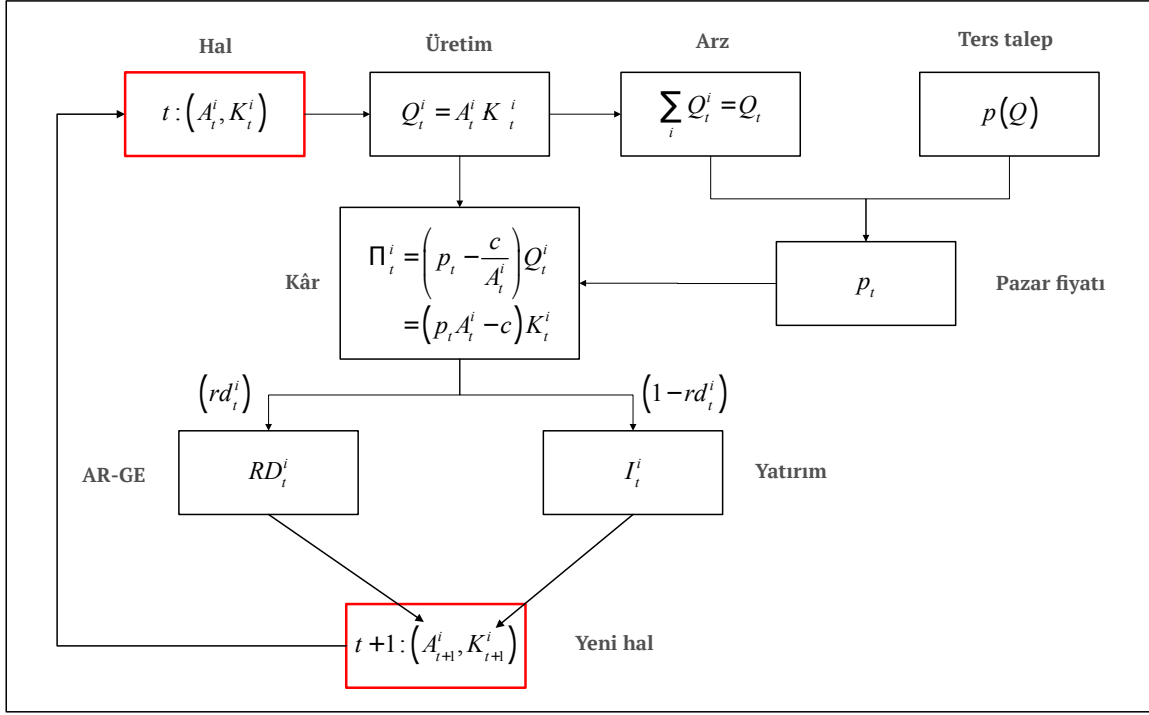
Bu analizleri yapabilmek için ilk önce modeli bilgisayar hafızasında kurmamız gerekiyor tabii. Bunu bilinen bilgisayar dillerini (C, C++, Java, Python, vb) kullanarak yapmak mümkün ama ÇBM kurmak üzere özellikle geliştirilmiş ve bunun için önemli kolaylıklar sağlayan bir platformu kullanmak çok daha kolay oluyor. *Santa Fe Institute*'da erkence geliştirilen SWARM platformu bunların en eskisi ve en iyi bilineni. Oldukça güçlü olmasına rağmen, ObjectiveC dilinde geliştirildiği için hem az yayılan hem de oldukça yavaş olan bir platform oldu uzun süre (Apple'ın ObjectiveC'yi sisteminin göbeğine koymasından önceki bir tarihte oldu bu gelişim). SWARM'ın Java versiyonu, RePast daha kolay öğrenilmeyi ve kullanılmayı sağlamak üzere geliştirildi. ÇBM'lerin yayılmasını daha da kolaylaştırmak için geliştirilen NetLogo'ysa bugün en yaygın kullanılan ve öğrencilere öğretilmesi en kolay olan platform olarak görülüyor.¹¹ Tüm bu platformlar bedava ve kodu açık sistemler. Ayrıca üniversiteler tarafından geliştiriliyorlar ve düzenli bir yatırımdan faydalanıyorlar. Bu nedenlerden dolayı bunları zaman zaman yaratılmış ama sonra kendi haline bırakılmış tonlarca başka platformdan daha üstün ve kullanışlı olarak ön plana koyuyoruz bu sunumda.

3.4 Örnek Model: Nelson & Winter'in Endüstri Dinamikleri Modeli (1982)

Nelson ve Winter AR-GE yapan ve devamlı yenilikler yaratan firmalardan oluşan bir endüstrinin dinamiklerini anlayabilmek için basit bir model öneriyorlar (Nelson & Winter, 1982a,b). Model olabildiğince basit kurulmasına rağmen, mekanizmaları yenilik geliştirme ve firma stratejileri konusunda biriktirilmif olan verisel edebiyatta gördüğümüz temel özellikler üzerine yapılandırılıyor ve model Schumpeter'in kelimelerle tarif ettiği iktisadi dinamiği teste koymak amacını güdüyor. Aynı amaçla, davranışlar yöntemsel akıllılık ve rutin olarak modelleniyor ve endüstrinin temel özelliklerinin (fiyat, firma karları, endüstriyel yığılma) evrimi içselleştiriliyor bu modelde. Çok basit bir yapı ve davranışlar altında oldukça zengin ve ilginç endüstri dinamikleri gösterebilen bir model.

Modelin ne kadar basit olduğunu Şekil 2'de görebiliriz. Belirlenmiş sayıda firmadan oluşan ve tek bir ürünü sadece fiziki sermaye kullanarak üreten basit bir endüstri söz konusu bu modelde. Tarihinin başında ve her döneminde her firmanın hali elindeki fiziki sermaye (K^i) miktarını ve firmanın teknolojik bilgi seviyesi sayesinde bu sermayeden elde edebildiği üretimi (A^i) kapsıyor. Sermayenin her birimi sabit bir kullanım maliyeti (c) gerektiriyor. AR-GE yapan firmalar bilgi seviyelerini yükseltip sermayeyi daha etkili kullanmayı sağlayan yenilikler keşfedebiliyorlar. Ya da daha ileri bir tekniği keşfetmiş olan bir rakiplerini taklit etme şansına ulaşabiliyorlar. Bu iki teknolojik ilerleme olanağı da rastlantısal boyut içeriyorlar. Model AR-GE ve yeniliğe ulaşma arasında bir çok gözlemsel çalışmada altı çizilen karmaşık ilişkiyi bu şekilde içine alıyor. Sermaye miktarına ve sermayesinin ortalama üretkenliğine göre her firma ürün üretiyor ve pazara sunuyor. UKS yaklaşımıyla tam örtüşmese de, hem modeli basit

¹¹<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>



Şekil 2: Nelson ve Winter'in modelinin yapısı

tutmak, hem de Schumpeter'in kuramladığı döngüsel evrime yaklaşabilmek için model ürün pazarının çalışmasını dönemsel denge olarak kuruyor (eksiksiz bir UKS bu pazarın işleyişini ve üzerinde arz ve talebin nasıl, dengenin oluşmasını beklemeden, karşılaştığını da kurardı): firmaların ürünlerinin tamamı fiyatın uyarlanması sonucu tüketiciler tarafından alınıyor her dönem. Oluşan fiyat ve firmaların kişisel özellikleri her firmanın elde ettiği kârı belirliyor: $\pi_{ii} = (p_t - c/A_{it}) Q_{it}$.

Üretim arttığında fiyat da düşüyor tabii. Bu durumda eğer endüstrideki diğer firmalar üretkenliklerini yenilikler sayesinde arttırabiliyorlarsa ve toplam arz artıyorsa, her firma düşen bir fiyatla karşılaşılıyor ve eğer ortalama maliyetini aynı hızla düşüremezse, kârı mutlaka düşüyor. Firmanın kârını korumasının tek yolu o maliyeti düşürmek. Yukarıdaki kâr denkleminde görebildiğimiz gibi, bu maliyeti düşürmenin tek yolu da üretkenliğini en az endüstri ortalaması kadar hızlı arttırabilmek (c sabit olduğu için, c/A_i düşürmenin tek yolu A_i 'nin artması). Yani endüstri ortalamasının altında AR-GE yapan firmalar kâr oranlarının düştüğünü görüyorlar ve bu endüstrinin işleyişi makalenin açılışında verdiğimiz Kırmızı Kraliçe'nin memleketi örneğine çok benzer bir şekilde oluyor. Bu eleme mekanizması firmaların büyüme koşullarını ve büyüme sayesinde elde edebildikleri pazar paylarının evrimini içselleştiriyor ve belirliyor. Endüstrinin ve firmaların evrimi teknolojik ilerleme tarafından koşullandırılıyor bu modelde. Bu basit model tarihe bağımlılık, firmalar arasında çeşitliliğin içsel olarak ortaya çıkması gibi UKS'lere ait olduğunu gördüğümüz diğer özellikleri ve de ilginç dinamikleri de sergiliyor.¹²

¹²Web sitemdeki Java programını kullanarak bu modelle deneyler yapabilirsiniz: <http://www.yildizoglu.fr/software/>

4 Sonuç Yeri

İktisadi dinamiklere Karmaşıklık kuramı bakışıyla yaklaşıma bir giriş olarak yazdığımız bu makalede bugün artık çok gelişmiş ve çeşitlenmiş bir edebiyatın tamamını sergileme olanağımız maalesef yok. Ekonomiyi bir Uyarlı Karmaşık Sistem (UKS) olarak görmenin getirebileceği açılımları göstermek ve bu yaklaşımın geliştirdiği temel metotları sunmaya çalıştık burada. Bu sunuştan kalkarak bilgisini daha derinleştirmek isteyebilecek okurlara yardım etmek için bu geniş edebiyata giriş noktaları öneren biraz analitik bir bibliyografyayla bu sunuşu tamamlamaya çabaladık.

5 Bibliyografya ve edebiyata giriş noktaları

5.1 UKS'lere giriş

Auyang, S. Y. (1999) *Foundations of Complex-System Theories in Economics, Evolutionary Biology and Statistical Physics*, Cambridge University Press.

Holland, J.H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.

Holland, J. H. (1995) *Hidden Order, How Adaptation Builds Complexity*, Addison-Wesley.

5.2 BM'lere giriş ve metodlar

Cioppa, Thomas M., & Lucas, Thomas W. 2007. Efficient Nearly Orthogonal and Space-Filling Latin Hypercubes. *Technometrics*, 49(1), 45–55.

Railsback, Steven F., & Grimm, Volker. 2012. *Agent-based and Individual-based Modeling. A practical introduction*. Princeton University Press.

Salle, Isabelle, & Yıldızoğlu, Murat. (2014). Efficient Sampling and Metamodeling for Computational Economic Models. *Computational Economics*, 44(4), 507–536.

Wilensky, Uri, & Rand, William. (2015). *An introduction to Agent-based Modeling. Modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. MIT Press.

5.3 Evrim ve iktisada UKS gözüyle evrimsel bakış

Alchian, A.A. (1950/1993). Uncertainty, Evolution, and Economic Theory, in U. Witt (Ed.), *Evolutionary Economics* (pp. 65 - 75), Hants:Edward Elgar Publishing.

Andersen, E.S. (1994) *Evolutionary Economics*, Pinter Publishers.

Arthur, W. B. and Durlauf, S. and Lane, D. A. (1997) *The Economy as an Evolving Complex System II* Addison-Wesley, 1997.

Darwin, C. (1859/1998). *The Origin of Species*. Hertfordshire: Wordworth Editions.

Dennett, D.C. (1996). *Darwin's Dangerous Idea*. New York: Touchstone Books (Simon and Schuster).

Ersin, E. & Şahin S. (eds). (2017), *Kompleksite ve iktisat*, Efil yayınevi, İstanbul.

Hodgson, G.M. (1994). *Economics and Evolution*. Cambridge: UK: Polity Press.

Nelson, R.R. and Winter, S. (1982a). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. London: The Belknap Press of Harvard University.

Schelling, Thomas C. (2006). *Micromotives and Macrobehavior*. W.W. Norton.

Schumpeter, J.A. (1987). *Capitalism, Socialism and Democracy*. London: Unwin.

Veblen, T. (1898). Why is Economics not an Evolutionary Science? *The Quarterly Journal of Economics*, 12(4), 373–397.

5.4 Yöntemsel akıl ve birey davranışları

Arthur, W.B. (1991) Designing Economic Agents That Act Like Human Agents: A Behavioral Approach to Bounded Rationality, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, **81** , 353-359.

Cohen, M. D., Bacdayan, P. (1994) Organizational Routines Are Stored as Procedural Memory: Evidence from a Laboratory Study, *Organization Science*, **5**, 554-568.

Cohen, M.D., Burkhart, R., Dosi, G., Egidi, M., Marengo, L., Warglien, M. and Winter, S. (1996) Routines and other recurring action patterns of organizations: contemporary research issues. *Industrial and Corporate Change*, **5**, 653 - 698.

Conlisk, J. (1996) Why bounded rationality. *Journal of Economic Literature*, **34**, 668-701.

Dosi, G., Marengo, L., Bassani, A. and Valente, M. (1999) Norms as Emergent Properties of Adaptative Learning: The Case of Economic Routines. *Journal of Evolutionary Economics*, **9**, 5-26.

Holland, J.H., Holyoak, K.J. and Thagard, P.R. (1989). *Induction. Processes of Inference, Learning, and Discovery*. Cambridge:MA: MIT Press.

Holland, J. and Miller, J.H. (1991) Artificial Adaptive Agents in Economic Theory. *American Economic Review Papers and Proceedings*, **81**, 363 - 370.

Simon, H.A. (1955) A Behavioral Model of Rational Choice. *Quarterly Journal of Economics*, **69**, 99 - 118.

Simon, H.A. (1972). Theories of Bounded Rationality. In Radner, C. B. and Radner, R. (Ed.), *Decision and Organization* (pp. 161 - 176). Amsterdam:North-Holland.

Simon, H.A. (1976). From Substantial to Procedural Rationality. In Latsis, S. J. (Ed.), *Method and Appraisal in Economics* (pp. 129 - 148). Cambridge:Cambridge University Press.

Simon, H.A. (1978) Rationality as Process and as Product of Thought. *American Economic Review*, **68(2)**, 1 - 16.

Simon, H.A. (1982). *Models of Bounded Rationality*. Cambridge: MA: The MIT Press.

Yildizoglu, M. (2001) Connecting Adaptive Behaviour and Expectations in Models of Innovation: The Potential Role of Artificial Neural Networks. *European Journal of Economics and Social Systems*, **15**, 203 - 220.

Yildizoglu, M. (2002) Competing R&D Strategies in an Evolutionary Industry Model. *Computational Economics*, **19**, 52 - 65.

Yildizoglu, Murat, S negas, Marc-Alexandre, Salle, Isabelle, & Zumpe, Martin. (2014). Learning the optimal buffer-stock consumption rule of Carroll. *Macroeconomic Dynamics*, 18(4), 727–75.

5.5 Teknolojik ve endüstriyel dinamikler

Arthur, W. B. (1989) Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Small Historical Events, *The Economic Journal*, 99 , 116-131.

Cohen, W.W., Levinthal D.A. (1989) Innovation and Learning: The Two Faces of R&D, *Economic Journal*, **99** , 569-596.

Cohen, W. W, Levinthal, D. (1990) Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation, *Administrative Science Quarterly*, **35** , 128-152

David, P.A. (1985) Clio and the Economics of QWERTY. *American Economic Review*, **75**, 323 - 337.

David, P. A. (2001) Path dependence, its critics and the quest for 'historical economics', in A. Garrouste, P. and Ioannides, S (ed.) *Evolution and Path Dependence in Economic Ideas*, Edward Elgar, 2001.

Dosi, G. (1982) Technological paradigms and technological trajectories, *Research Policy*, **11** , 147-162.

Dosi, G. (1988) Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature*, **26**, 1120-1171.

Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. and Soete, L. (1988). *Technical change and Economic Theory*. London and New York: Pinter Publishers.

Dosi, Giovanni, & Nelson, Richard R. (2010.) Technical Change And Industrial Dynamics As Evolutionary Processes. Chap. 3 of: Hall, Bronwyn, & Rosenberg, Nathan (eds), *Handbook of The Economics of Innovation*, vol. 1. North-Holland.

Iwai, K. (1984) Schumpeterian Dynamics I: Technological Progress, Firm Growth and Economic Selection. *Journal of Economic Behavior and Organization*, **5**, 321 - 51.

Iwai, K. (1984b) Schumpeterian Dynamics, Part II: Technological Progress, Firm Growth and "Economic Selection. *Journal of Economic Behavior and Organization*, **5**, 321 - 351.

Jonard, N. and Yildizoglu, M. (1998) Technological Diversity in an Evolutionary Industry Model with Localized Learning and Network Externalities. *Structural Change and Economic Dynamics*, **9(1)**, 35 - 55.

Jonard, N. and Yildizoglu, M. (1999). *Sources of Technological Diversity*. Paris: Cahiers de l'innovation, no.99030, CNRS, <http://yildizoglu.fr/>.

Malerba, F., L. Orsenigo (1997) Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities, *Industrial and Corporate Change*, **6** , 83-117.

Malerba, F. (2002) Sectoral systems of innovation and production, *Research Policy* , **31** , 247-264.

Nelson, R. R., & Winter, S. 1(982a). The Schumpeterian Tradeoff Revisited. *The American Economic Review*, **72**, 114-132.

Pavitt, K. (1984) Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a taxonomy and a Theory, *Research Policy*, **13**, 343-373.

Vallée, T. & Yildizoglu M. (2006) Social and Technological Efficiency of Patent Systems, *Journal of Evolutionary Economics*, **16**,189-206.

5.6 Firmaların i organizasyonları ve dinamikleri

Dupouet, O., Yildizoglu, M. and Cohendet, P. (2002) Morphogenèse Des Communautés de Pratique. *Revue d'Economie Industrielle*, **103**, 91-110.

Dupouët, O. and Yildizoglu, M. (2006) Organizational performance in hierarchies and communities of practice. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, **61**, 668-690, 2006.

Marengo, L. (1992) Coordination and Organizational Learning in the Firm. *Journal of Evolutionary Economics*, **2**, 313 - 326.

Rosenberg, Nathan. (1984). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge:UK: Cambridge University Press.

Teece, David. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15.

Teece, David J., Rumelt, Richard, Dosi, Giovanni, & Winter, Sidney. (1994). Understanding Corporate Coherence: Theory and Evidence. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 23, 1–30.

5.7 Makroiktisat ve büyüme

Delli Gatti, Domenico, Gaffeo, Edoardo, Gallegati, Mauro, & Palestrini, Gianfranco Giulioni Antonio. (2008). *Emergent Macroeconomics. An Agent-Based Approach to Business Fluctuations*. Berlin: Springer.

Delli Gatti, D., Gaffeo, E., & Gallegati, M. 2010. Complex agent-based macroeconomics: a research agenda for a new paradigm. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 5(2), pp. 111–135.

Nelson, Richard R. 1996. *The Sources of Economic Growth*. Cambridge:MA: Harvard University Press.

Salle, Isabelle, Yildizoglu, Murat, & Sénégas, Marc-Alexandre. 2017a. Coordination through Social Learning in a General Equilibrium Model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, basımda.

Salle, Isabelle, Yildizoglu, Murat, & Sénégas, Marc-Alexandre. 2017b. How Transparent About Its Inflation Target Should a Central Bank be? An Agent-Based Model Assessment. *Journal of Evolutionary Economics*, basımda.

Silverberg, G. & Verspagen, B. (2005) *Evolutionary Theorizing on Economic Growth*, Dopfer, K. (ed.) *The Evolutionary Foundations of Economics*, Cambridge University Press.

Silverberg, G. and Yildizoglu, M. (2002) An Evolutionary Interpretation of the Aghion & Howitt (1992) Model, Université Montesquieu Bordeaux IV, *Working Papers of E3i*, <http://yildizoglu.fr>.

Tesfatsion, L. (2006). Post Walrasian Macroeconomics: Beyond the Dynamic Stochastic General Equilibrium Model. in D. Colander, ed., *Agent-based computational modelling and macroeconomics*, Cambridge University Press, Cambridge.

5.8 Makalede kullanılan diğer referanslar

Benassy, Jean-Pascal. (1993). Nonclearing Markets: Microeconomic Concepts and Macroeconomic Applications. *Journal of Economic Literature*, 31(2), 732–61.

Evans, G. W., & Honkapohja, S. (2001). *Learning and Expectations in Macroeconomics*. Princeton University Press.

Marshall, A. (1890) *Principles of Economics*. 8th edn. London: Macmillan and Co.

