

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER
ARASI ULUSLARARASI TİCARETİN
İNCELENMESİNDE EVRİMSEL OYUN TEORİSİ
ÇERÇEVESİNDE AJAN-TEMELLİ AĞ
MODELLEMESİ: PREBISCH-SINGER HİPOTEZİ
ÖRNEĞİ**

Doktora Tezi

AYÇA ÖZEKİN

İstanbul, 2017

AYÇA ÖZEKİN

GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN
ÜLKELER ARASI ULUSLARARASI
TİCARETİN İNCELENMESİNDE
EVİRİMSEL OYUN TEORİSİ
ÇERÇEVESİNDE AJAN-TEMELLİ AĞ
MODELLEMESİ: PREBISCH-SINGER
HİPOTEZİ ÖRNEĞİ

EKONOMETRİ ANABİLİM
DALI/YÖNEYLEM
ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

İSTANBUL, 2017

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER ARASI
ULUSLARARASI TİCARETİN İNCELENMESİNDE EVRİMSEL
OYUN TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE AJAN-TEMELLİ AĞ
MODELLEMESİ: PREBISCH-SINGER HİPOTEZİ ÖRNEĞİ**

Doktora Tezi

AYÇA ÖZEKİN

DANIŞMAN: PROF. DR. TUNCAY CAN

İstanbul, 2017

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

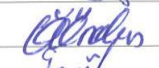
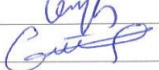
TEZ ONAY BELGESİ

EKONOMETRİ Anabilim Dalı YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI Bilim Dalı
DOKTORA öğrencisi AYÇA ÖZEKİN'nin GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN
ÜLKELER ARASI ULUSLARARASI TİCARETİN İNCELENMESİNDE EVRİMSEL
OYUN TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE AJAN-TEMELLİ AĞ MODELLEMESİ:PREBISCH-
SINGER HİPOTEZİ ÖRNEĞİ adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 20.04.2017
tarih ve 2017-9/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Doktora
Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi 12 / 05 / 2017

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

1.	Tez Danışmanı	Prof. Dr. TUNCAY CAN	
2.	Jüri Üyesi	Prof. Dr. İBRAHİM DOĞAN	
3.	Jüri Üyesi	Prof. Dr. ÖMER ÖNALAN	
4.	Jüri Üyesi	Doç. Dr. ERSOY ÖZ	
5.	Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. GÜLDER KEMALBAY	

GENEL BİLGİLER

İsim ve Soyadı	:Ayça ÖZEKİN
Ana Bilim Dalı	:Ekonometri
Programı	:Yöneylem Araştırması
Tez Danışmanı	:Prof. Dr. Tuncay CAN
Tez Türü ve Tarihi	:Doktora – Mayıs, 2017

GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER ARASI ULUSLARARASI TİCARETİN İNCELENMESİNDE EVRİMSEL OYUN TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE AJAN-TEMELLİ AĞ MODELLEMESİ: PREBISCH-SINGER HİPOTEZİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu çalışmada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında yapılan uluslararası ticaretin kompleks uyarlanabilir sistemi, davranış kuralları evrimsel mahkûm ikilemi oyunu tarafından belirlenen bir ajan temelli ağ modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bağlamda çalışmada, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaret ilişkilerini modellemek için Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını kullanmıştır. Bu amaçla öncelikle, ticari ilişkileri modellerken ajan temelli ağ modeline Newman-Watts yöntemi aracılığı ile kısayol eklenerek 10000 deney yapılmıştır. Böylece gerçek dünya piyasalarını en iyi yansıttığı düşünülen küçük dünya ağını ortaya çıkaran bağlantı sayısı tespit edilmiştir. Daha sonra, oluşturulan ajan temelli ağ modeli ilk olarak ülkeler arası gelişmişlik farkları dâhil edilmeden analiz edilmiştir. Devamında ise Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını test etmek amacı ile ajanlar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler olarak tanımlanarak analiz tekrar edilmiştir. Gelişim seviyesi aynı olan ülkeler için sistem küçük dünya ağlarını veren bağlantı sayısında çalıştırıldığında baskın stratejinin işbirliksiz olduğu görülmüştür. Yani işbirlikli olmanın riski evrimsel stratejilere rağmen ortadan kalkmamıştır. Gelişim seviyesi farklı olan ülkeler için ise baskın strateji işbirliklidir. Son olarak her iki süreç için sisteme tesadüfi ağ özellikleri gösterene kadar

Newman-Watts yöntemi ile bağlantı eklenmiştir. Böylece tüm ülkelerin birbirine bağlı olduğu varsayımsal durumlar için elde edilen sonuçlarda işbirlikli stratejini evrimsel kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticarete ilk 10 turda belirgin kazanç farkları olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. 20. turun sonunda ise kazanç farkları belirginleşirken yer yer gelişmiş komşusu ile yakın kazanç elde eden gelişmekte olan ülkelere rastlanmaktadır. Bu durum, Prebisch-Singer hipotezinin önerileri doğrultusunda güncel üretim yapısını ilk 20 tur içinde emek yoğunundan sermaye yoğununa kaydıran ülkelerin ticaretten gelişmiş ülkeler kadar kazanç elde edebilme imkânı sağladığını göstermektedir. Tesadüfi ağa ulaşıldığında evrimsel kararlı stratejinin işbirlikli olması ise, gelişmekte olan ülkenin birikimli kazançlarının geriden gelmesine rağmen işbirlikli stratejide kaldığını göstermektedir. Yani günümüz dünyasında var olan ılımlı ticareti ve ticaret anlaşmalarını özendirme politikalarının, ülkeler arası gelişim farklarının kapanması için yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Gelişmekte olan ülkeler için işbirlikli stratejinin ancak üretim teknolojisi ve/veya yapısını değiştirme politikaları ile birlikte kullanıldığında anlamlı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompleks Uyarlanabilir Sistemler, Ajan-Temelli Modelleme, Ağ Teorisi, Evrimsel Oyun Teorisi, Mahkûm İkilemi Oyunu, Küçük Dünya Ağı, Heterodoks İktisat, Prebisch-Singer Hipotezi.

GENERAL INFORMATIN

Name and Surname	:Ayça ÖZEKİN
Field	:Econometrics
Programme	:Operational Research
Supervisor	:Prof. Dr. Tuncay CAN
Degree Awarded and Date	:PhD – May, 2017

AGENT-BASED NETWORK MODELLING WITHIN THE FRAMEWORK OF EVOLUTIONARY GAME THEORY IN THE EXAMINATION OF THE INTERNATIONAL TRADE BETWEEN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES: THE CASE OF PREBISCH-SINGER HYPOTHESIS

ABSTRACT

In this study, the complex adaptive system of international trade between the developed and developing countries has been analysed utilising an agent-based network model whose behaviour rules were defined by evolutionary prisoner's dilemma game. Within this context, the study employed the contention of Prebisch-Singer hypothesis in order to modelise the trade relations between the developed and developing countries. To that end at first, in modelling the trade relations 10000 experiments were performed by adding shortcuts to the agent-based network model via Newman-Watts method. In doing so the number of links, which reveal the small world network that best represents the real world markets, were identified. Later on, the builded agent-based network model was first analysed without counting in developmental differentialities among countries. And than, the analysis was repeated by defining agents as developed and developing countries with the intention of testing the contention of Prebish-Singer hypothesis. It was observed that the dominant strategy was defection when the system was operated at the number of connections giving the small world networks for the countries with the same level of development. In other words, the risk of being cooperative was not eliminated despite evolutionary strategies. As for the countries with different development levels, dominant strategy is cooperation. Finally, connections

were added using the Newman-Watts method until the system exhibited random network properties for both processes. Hence, it was observed that the cooperation strategy is evolutionary stable in the results obtained for hypothetical situations in which all countries are interconnected. As a result of the analyses conducted, it was concluded that there were no evident earning differences in the trade between developed and developing countries in the first 10 rounds. At the end of 20 rounds while earning differences became clear, it was also come across some developing countries which gain earning close to neighbouring developed ones. This shows that countries shifting their current production structure from labour-intensive to capital-intensive within the first 20 rounds in line with the suggestions of the Prebisch-Singer hypothesis can get as many earnings from trade as developed countries. The fact that the evolutionarily stable strategy is cooperation when the random network is reached shows that the cumulative earnings of developing countries remain at the cooperative strategy despite coming from behind. In other words, it was concluded that the policies of encouraging moderate trade and trade agreements in today's world are not sufficient to close the development gaps between countries. The cooperation strategy is only significant for developing countries when it is used together with the production technology and/or structure-changing policies.

Keywords: Complex Adaptive Systems, Agent-Based Modelling, Network Theory, Evolutionary Game Theory, Prisoner's Dilemma Game, Small-World Network, Heterodox Economics, Prebisch-Singer Hypothesis.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmam boyunca bana yol gösteren danışmanın Prof. Dr. Tuncay CAN'a, değerli görüş ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. İbrahim DOĞAN ve Prof. Dr. Ömer ÖNALAN'a, tavsiyeleri ve değerli yardımları için Yrd. Doç. Dr. N. Tuba YILMAZ ile tüm Marmara Üniversitesi Yöneylem Araştırması Bilim Dalı öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca bana gösterdiği anlayış ve mesleki birikimime sağladığı değerli katkılar için Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Ekonometri Bölüm Başkanı Prof. Dr. Galip ALTINAY'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak kendisi de benzer bir zorlu süreç içinde olmasına rağmen tez çalışmam boyunca anlayış ve sevgisi ile her zaman yanımda olan sevgili eşim M. Kürşad ÖZEKİN ile gösterdikleri sonsuz sevgi ve emek sayesinde bugünlere gelmemi sağlayan değerli anne ve babam Sevim AYSUN ile İsmail AYSUN'a teşekkür ederim.

İstanbul, 2017

Ayça ÖZEKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xiv

1. GİRİŞ	15
----------------	----

2. YENİ HETERODOKS İKTİSAT OKULLARI VE KLASİK İKTİSATTAN KOMPLEKSİTE İKTİSADINA GEÇİŞ.....	5
---	---

2. 1. Bilimler Arası İlişkiler ve Yeni İktisat	6
2. 2. Yeni Heterodoks İktisadın Okulları	9
2. 2. 1. Kompleksite İktisadı	14
2. 2. 1. 1. Kompleksite Tanımı	14
2. 2. 1. 2. İktisatta Kompleksitenin Tanımlanması.....	16
2. 2. 1. 3. Klasik İktisattan Kompleksite İktisadına Geçiş Süreci	19
2. 2. 1. 4. Neoklasik İktisat ve Kompleksite İktisadı Arasındaki Farklar.....	25
2. 2. 1. 5. Kompleksite Kuramının Unsurları	31
2.3. Değerlendirme	33

3. YENİ HETERODOKS İKTİSAT BAĞLAMINDA OYUN TEORİSİNİ YENİDEN DÜŞÜNMEK: KLASİK OYUN TEORİSİNDEN EVRİMSEL OYUN TEORİSİNE MAHKÛM İKİLEMİ OYUNU	35
---	----

3. 1. Oyun Teorisinin Heterodoks İktisattaki Yeri	36
3. 2. Ortodoks İktisat Bağlamında Klasik Oyun Teorisi	39
3. 2. 1. Klasik Oyun Teorisinin Tarihsel Gelişim Süreci	39
3. 2. 2. Klasik Oyun Teorisi	42
3. 2. 3. Klasik Oyun Teorisine Yönelik Eleştiriler	46
3. 2. 4. Nash Denge Teorisi ve Mahkûm İkilemi Oyunu	48
3. 3. Yeni Heterodoks İktisat Bağlamında Evrimsel Oyun Teorisi.....	53
3. 3. 1. Evrimsel Oyun Teorisinin Tarihsel Gelişim Süreci.....	53
3. 3. 2. Evrimsel Oyun Teorisi	58
3. 3. 3. Evrimsel Oyun Teorisine Yönelik Eleştiriler	61
3. 3. 4. Evrimsel Kararlı Stratejiler	62
3. 4. Nash Dengesi ve Evrimsel Kararlı Stratejiler Arasındaki İlişkiler	64
3.5. Değerlendirme	67

4. YENİ HETERODOKS İKTİSADIN HESAPLANABİLİR YÖNTEMLERİ: AJAN-TEMELLİ MODELLEME VE AĞ TEORİSİ..... 71

4. 1. Ajan-Temelli Modelleme ve İktisat Bilimindeki Yansıması: Ajan-Temelli Hesaplanabilir İktisat.....	72
4. 1. 1. Ajan-Temelli Modellemeye İlişkin Temel Kavramlar	76
4. 1. 2. Doğrulama ve Geçerlilik.....	81
4. 1. 3. Evrimsel Oyun Teorisi Çerçevesinden Ajan-Temelli Modelleme...	82
4. 2. Ağ Teorisi.....	85
4. 2. 1. Ağ Teorisine İlişkin Temel Kavramlar	87
4. 2. 1. 1. Ağların Gösterimi.....	88
4. 2. 1. 2. Ağ Bağlantıları	96
4. 2. 1. 3. Düğüm ve Bağlantılara İlişkin Temel İstatistikler	98
4. 2. 1. 4. Ağ yapısının Analizinde Kullanılan Topolojik Parametreler	99
4. 2. 2. Kompleks Ağ Modelleri	107
4. 2. 2. 1. Düzenli Ağlar	108
4. 2. 2. 2. Tesadüfi Ağlar	109
4. 2. 2. 3. Küçük Dünya Ağları.....	114
4. 2. 2. 4. Ölçek Bağımsız Ağlar	124
4. 2. 3. Kompleks Ağ Modellerinin Parametrik Olarak Karşılaştırılması .	128
4. 3. Değerlendirme	130

5. PREBISCH-SINGER HİPOTEZİNİN KOMPLEKS UYARLANABİLİR SİSTEM İLE ANALİZİ 131

5. 1. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Arası Ticaret ve Prebisch-Singer Hipotezi	133
5. 1. 1. Prebisch-Singer Hipotezi	136
5. 1. 2. Prebisch-Singer Hipotezinin Güncel Tartışmaları	139
5. 2. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Arası Ticaretin Kompleks Uyarlanabilir Sistem Olarak Analizi	143
5. 2. 1. Kompleks Uyarlanabilir Sistemin Oluşturulması	144
5. 2. 1. 1. Ajan-Temelli Ağ Modelin Oluşturulması	146
5. 2. 1. 2. Model Parametrelerinin Belirlenmesi.....	153
5. 2. 1. 3. Ağ Bağlantılarının Oluşum Süreci	159
5. 2. 1. 4. Model Yapısı	161
5. 2. 1. 5. Belirlenen Model Parametreleri ile 1 Tur Sonunda Elde Edilecek Kazançların Hesaplanması	164
5. 3. Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları	173
5. 3. 1. Gelişim Seviyesi Aynı Olan Ülkeler Arası Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları (Referans Model).....	175

5. 3. 2. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Arası Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları (Prebisch-Singer Hipotezi)	190
5. 4. Değerlendirme	197
6. SONUÇ	203
KAYNAKÇA.....	212
EKLER	233
EK 1. Brouwer ve Kakutani Sabit Nokta Teoremlerine Bir Bakış	234
EK 2. Axelrod'un Kısasa Kısas (TFT) Stratejisi	238
EK 3. Python Program Kodları.....	240
EK 4. Histogramı Oluşturan Bağlantı Sayıları Değerleri	250

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 2. 1. :	Neoklasik İktisat ve Kompleksite İktisadı Arasındaki Farklar.....	30
Tablo 3. 1. :	İki Oyunculu Stratejik Biçimli Oyunun Gösterimi.....	44
Tablo 3. 2. :	Mahkûm İkilemi Oyununun Kazanç Matrisi Gösterimi.....	51
Tablo 3. 3. :	Mahkûm İkilemi Oyunu.....	65
Tablo 4. 1. :	Bir Ajanın Sahip Olması Gereken Özellikler.....	78
Tablo 4. 2. :	Graf Tipleri ve Özellikleri.....	91
Tablo 4. 3. :	Disiplinlere Göre Kullanılan Ağ Teorisi Terminolojisi.....	103
Tablo 4. 4. :	Ağ Modellerinin Parametrelerinin Karşılaştırılması.....	129
Tablo 4. 5. :	Ağ Modellerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması	129
Tablo 5. 1. :	Mahkûm İkilemi Oyunu Kazanç Matrisi.....	150
Tablo 5. 2. :	Prebisch-Singer Hipotezine Göre Mahkûm İkilemi Oyunu Kazanç Matrisi.....	151
Tablo 5. 3. :	Model Parametreleri.....	159
Tablo 5. 4. :	Oyuncuların Stratejilerine Göre Bir Tur Oyun Sonucunda Elde Edilecek Kazançlar Tablosu.....	172
Tablo 5. 5. :	Bağlantı Ekleme Süreci.....	177
Tablo 5. 6. :	10000 Tekrarlı Simülasyon Sonucu Küçük Dünya Ağını Ortaya Çıkaran Bağlantı Sayılarının Histogramı.....	178
Tablo 5. 7. :	Ortalama Patika Uzunluğu ve Kümelenme Katsayısı Karşılaştırılması.....	179
Tablo 5. 8. :	201-300 Bağlantı Arası Birikimli Kazanç Değerleri.....	180
Tablo 5. 9. :	270-300 Bağlantı Arası İşbirlikli Strateji Oranı.....	182

Tablo 5. 10. : Küçük Dünya Ağında 100 Tur için İşbirlikli Strateji Oranı.....	183
Tablo 5. 11. : Tesadüfi Ağın Ortalama Patika Uzunluğu ve Kümelenme Katsayısı.....	186
Tablo 5. 12. : Tesadüfi Ağın Birikimli Kazanç Değerleri.....	188
Tablo 5. 13. : 201-300 Bağlantı Arası Birikimli Kazanç Değerleri.....	192
Tablo 5. 14. : Küçük Dünya Ağında 100 Tur Sonunda Birikimli Kazanç Değerleri.....	194
Tablo 5. 15. : Tesadüfi Ağın Birikimli Kazanç Değerleri.....	195



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 4. 1. :	Ajan İlişkileri ve Sosyal Etkileşimler için Topolojiler.....	79
Şekil 4. 2. :	Basit ve Basit Olmayan Graflar.....	89
Şekil 4. 3. :	Yönlü Graf Gösterimi.....	90
Şekil 4. 4. :	Ağırlıklı Graf Gösterimi.....	91
Şekil 4. 5. :	Yakınlık Matrisi Gösterimi.....	92
Şekil 4. 6. :	Hipergraf Gösterimi.....	93
Şekil 4. 7. :	İkili Graf Gösterimi.....	94
Şekil 4. 8. :	Ağaç Gösterimi.....	95
Şekil 4. 9. :	Yürüyüş, Patika, Çevrim Gösterimi.....	97
Şekil 4. 10. :	En Kısa Patika Uzunluğu Gösterimi.....	99
Şekil 4. 11. :	Klik Yapısının Gösterimi.....	101
Şekil 4. 12. :	Derecelerine Göre Düzenli Ağ Yapıları.....	108
Şekil 4. 13. :	Düzenli Kafes Yapısı Topolojik Örnekleri	109
Şekil 4. 14. :	Erdős- Rényi Modelinde Olasılıklara Göre Bağlantı Oluşum Süreci.....	114
Şekil 4. 15. :	Granovetter'in Zayıf Bağlar Hipotezinin Ağ Üzerinde Gösterimi.....	116
Şekil 4. 16. :	Artan Tesadüfilik Sürecinde Küçük Dünya Ağı Oluşumu.....	120
Şekil 4. 17. :	Küçük Dünya Ağları İçin Normalize Edilmiş Kümelenme Katsayısı ve Ortalama Patika Uzunluğu Değerleri.....	121
Şekil 4. 18. :	Küçük Dünya Ağlarının Oluşumunda Watts-Strogatz Yöntemi ile Newman-Watts Yönteminin Karşılaştırılması.....	123
Şekil 4. 19. :	Poisson ve Kuvvet Yasası Dağılımının Karşılaştırılması.....	126

Şekil 5. 1. : Düzenli Halka Topolojisi.....	148
Şekil 5. 2. : İşbirlikli Oyuncu Oranına Göre Artan Kazançlar.....	155
Şekil 5. 3. : Kazanç Fonksiyonu Ağırlıklandırma Katsayısının Grafiği.....	157
Şekil 5. 4. : Evrimsel Stratejilere Dayalı Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Süreci.....	161
Şekil 5. 5. : Her Üç Oyuncunun da İşbirlikli Stratejide Olması Durumu.....	165
Şekil 5. 6. : İki İşbirlikli, Bir İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu.....	166
Şekil 5. 7. : Bir İşbirlikli, İki İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu.....	166
Şekil 5. 8. : Her Üç Oyuncunun da İşbirliksiz Stratejide Olması Durumu.....	167
Şekil 5. 9. : Her Üç Oyuncunun da İşbirlikli Stratejide Olması Durumu.....	169
Şekil 5. 10. : İki İşbirlikli, Bir İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu.....	169
Şekil 5. 11. : İki İşbirliksiz, Bir İşbirlikli Stratejide Oyuncu Olması Durumu.....	170
Şekil 5. 12. : Başlangıç-80 Döğümlü Düzenli Halka Topolojisi.....	176
Şekil 5. 13. : Küçük Dünya Ağında 100 Tur Sonunda Bağlantı Haritası.....	185
Şekil 5. 14. : 3160 Bağlantı İçeren Tesadüfî Ağ Bağlantı Haritası.....	190
Şekil 5. 15. : 3160 Bağlantı İçeren Tesadüfî Ağ Bağlantı Haritası.....	197
Şekil E 1. 1. : Sabit Nokta Oyunun Gösterimi.....	235

KISALTMALAR VE SİMGELER

Apl:	Ortalama Patika Uzunluğu
CC:	Kümelenme Katsayısı
ECLA:	Latin Amerika Ekonomik Komisyonu
ECLAC :	Latin Amerika ve Karayipler Ekonomik Komisyonu
ESS:	Evrimsel Kararlı Stratejiler
GSMH:	Gayri Safi Milli Hasıla
ISI :	İthal İkameci Politikalar
NPI:	Ağ Kutuplaşma Endeksi
PPF :	Üretim Olanakları Eğrisi
WTO:	Dünya Ticaret Örgütü
Bknz. :	bakınız
S. :	sayfa numarası
t.y. :	tarih yok
v.d.:	ve diğerleri
y.y.:	yüzyıl

1. GİRİŞ

Özellikle son yüzyılda artış gösteren matematik, fizik ve biyoloji gibi deneysel bilgiye dayalı bilimlere ait teorilerin diğer bilim dalları üzerine etki etmesi, Adam Smith'in temsilcisi olduğu klasik iktisat düşüncesi varsayımlarının eleştirisi ile birleştiğinde iktisat bilimi içerisinde yeni bir çalışma alanının doğması ile sonuçlanmıştır. O güne kadar kabul görmüş olan klasik iktisadın varsayımlarından uzaklaşılması ile birlikte ortaya çıkan yeni iktisat bugün gelinen noktada artan çalışmaları ile birlikte ana akım düşünce halini almıştır. Bu bağlamda iktisat içerisinde o güne kadar kabul görmüş klasik ve neoklasik iktisat görüşleri bugün ortodoks olarak nitelendirilirken, yeni iktisat fikirlerini ifade eden çalışmalar heterodoks olarak adlandırılmaktadır. Heterodoks iktisatta kendi içinde Colander, Holt ve Rosser (2003), Davis (2006) ve Eren (2013) tarafından yapılan ayrıma göre, neoklasik iktisat ekseninden kopmadan yalnızca varsayımların eleştirisini yapması bakımından heterodoks kalan çalışmaları yerleşik heterodoks iktisat, temellerini diğer bilimlerden alan ve tamamen yenilikçi yaklaşımlar için çalışmaları ise yeni heterodoks iktisat olarak adlandırmaktadır. Evrimsel Oyun teorisi, Davranışsal İktisat, Deneysel İktisat ve Nöro İktisat gibi alanlarda yeni heterodoks iktisat düşüncesi kapsamında gelişim gösteren okullardır.

Yeni heterodoks iktisat bağlamında, fizik biliminin diğer bilimleri etkileme sürecinde önemli rol oynayan kaos ve kompleksite kavramlarının iktisattaki karmaşık ilişkileri açıklama konusunda kullanılmaya başlanması, kompleksite iktisadi çalışmaları kapsamında iktisadi konular için kompleks uyarlanabilir sistemlerin geliştirilip, analiz edilmesini sağlamıştır. Bu bağlamda kompleks uyarlanabilir sistemlerin içerdiği kompleksite ve evrim düşüncesini modellemek için hesaplanabilir bir yöntem sunan ajan-temelli modelleme çalışmaları da hız kazanmıştır. Ajan-temelli modelleme kompleks uyarlanabilir sistemlerin içerdiği evrim düşüncesini modele yansıtmak için evrimsel özellik gösteren davranış kuralları benimsemektedir.

Kompleks uyarlanabilir sistemlerin içerdği evrim düşüncesinin ajan-temelli modele yansıtılmasında kullanılan davranış kurallarından birisi de yine yeni heterodoks iktisat düşünce okulları kapsamında gelişim gösteren evrimsel oyun teorisidir. John Von Neumann ve Oscar Morgenstern (1944) tarafından ortaya atılan ve özellikle John Nash (1950a, 1950b, 1950c) tarafından yapılan çalışmalarla gelişen oyun teorisi, temellerini iktisattan alan rasyonel ve tam bilgili homojen birey varsayımları nedeniyle iktisatla eş zamanlı olarak eleştirel çalışmaların konusu olmuştur (Krugman, 1991; Fisher, 1989; Shapiro, 1989; Harsanyi, 1967). Oyun teorisine getirilen eleştiriler doğrultusunda temellerini evrimsel biyolojiden alarak gelişim gösteren evrimsel oyun teorisi, klasik oyun teorisinde pür rasyonel sayılan bireylere sınırlı rasyonel ve heterojen olma özelliği kazandırması ve barındırdığı stratejilere öğrenme kavramını dâhil etmesi ile yeni heterodoks iktisat okulları için tamamlayıcı uygulamalar sunabilmeyi başarmıştır. Bu bağlamda yeni heterodoks iktisat okullarının ortaya çıkışı ile yeniden şekillenen oyun teorisi, evrimsel oyun teorisi halini alarak kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizi gibi yeni heterodoks iktisat okullarının evrim düşüncesi içeren yapılarının analizinde kullanılan bir araç halini almıştır.

Bu bağlamda çalışmanın temel iktisadi konusunu oluşturan uluslararası ticarete ülkeler arası gelişmişlik farklarının etkisi, ticaret ilişkilerinin oluşturduğu kompleks yapı ve ülkelerin her yeni ticaret dönemi için yeniden uyarladıkları ticaret stratejileri nedeniyle evrimsel oyun teorisi ve ajan-temelli modelleme kullanılarak incelenecektir. Bunun için kullanılacak ajan-temelli modelde ajanların yerleşimi için seçilen ağ topolojisi sonucu ortaya çıkacak ajan-temelli ağ modelinde ajanların davranış kurallarını evrimsel oyun teorisi stratejisi olan kısasa kısas stratejisi belirleyecektir. Bu noktada çalışmanın öncelikli amacı, evrimsel stratejileri davranış kuralı olarak benimseyen Alexander (2007) ve Oh (2015)'un çalışmalarından hareketle, ajan-temelli ağ modelini oluşturarak, uluslararası ticaretin analizi için alternatif bir yöntem geliştirebilmektir. Analiz bu noktadan sonra ajan-temelli ağ modelinde, gerçek dünyadaki kompleks ilişkileri en iyi şekilde yansıttığı düşünülen kompleks ağ modeli olan küçük dünya ağı ortaya çıkarana kadar ticaret ilişkilerini ifade eden yeni bağlantılar eklenmesi ile devam edecektir. Bu şekilde elde edilecek küçük dünya ağının

gerçek dünyadaki ticaret ilişkilerini ifade ettiği düşünülerek ticaret ilişkileri için çıkarımlar yapılabilmesine imkân sağlanmış olacaktır.

Oluşturulacak ajan-temelli ağ modeli ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretin incelenmesinde, yerleşik heterodoks iktisat içerisinde yer alan yapısalcı okulun gelişim ve kalkınma üzerinde görüşünün simgesi olan Prebisch-Singer hipotezi (Prebisch, 1950; Singer, 1950) kullanılacaktır. Prebisch-Singer hipotezi temel olarak, uzun dönemde ticaret hadlerinin ilksel mal üreten gelişmekte olan ülkelerin aleyhine işlerken, imalat sanayi üretimi yapan gelişmiş ülkelerin lehine işleyeceğini belirtmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretten gelişmiş ülkeler her zaman daha çok karlı çıkmaktadırlar. Prebisch-Singer hipotezi bu sorunun aşılması için gelişmekte olan ülkelere ithal ikameci politikalar ile ilksel mal üretimi yapısının değiştirilerek bu ülkelerin kendilerine özel ihracat politikaları benimsemelerini önermektedir. Hipotez üzerine yapılan bazı çalışmalar, özellikle II. Dünya Savaşından sonra bağımsızlığını ilan eden azgelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ticaret ağına dâhil olmasının etkisi ile ilgili dönemde geçerli olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlasa da (Aslan ve Yörük, 2008), özellikle 1980’lerden sonraki finansal liberalizasyon süreci ile geçerliliği tartışılan bir konu haline almıştır. Ancak günümüzde 1980’lerden sonraki finansal liberalizasyon süreci ile değişen ticaret yapıları içinde, gelişmiş ülkelerin ticaret hadlerinin düşmesi ve *yükselen piyasalar* gibi gelişmekte olan ülkelerin ortaya çıkması ile hipotezin şekil değiştirip geçerliliğini koruduğu tartışmaları da mevcuttur. Çalışma ikinci olarak elde edeceği bulgular ile Prebisch-Singer hipotezinin güncel tartışmalarına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Son olarak çalışmanın, yöntemsel anlamda evrimsel stratejiler ile ajan-temelli ağ modellemesini bir arada kullanarak ticaret dışında farklı konuların analiz edilebilmesi ya da mahkûm ikilemi dışındaki oyunlar ile kurgulanan konuların incelenmesinde alternatif bir yöntem teşkil etmesi bakımından kendinden sonra gelecek çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın kavramsal çerçevesinin anlaşılabilmesi amacıyla uygun olarak, devam eden bölümde bilimler arası etkileşimler ve bu doğrultuda yeni heterodoks iktisat düşünce okullarının ortaya çıkış süreçleri ele alınacaktır. Bu düşünce okullarından

kompleksite iktisadı, unsurları ve ortaya çıkardığı kompleks uyarlanabilir sistemler çerçevesinde, çalışmanın uygulama bölümünde yer alacak iktisadi konunun analizi için oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sisteme yönelik olarak incelenecektir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ortodoks iktisattan heterodoks iktisada geçiş sürecinin bir yansıması olarak klasik oyun teorisinden evrimsel oyun teorisine geçiş süreci ele alınacaktır. Burada temel amaç, yeni heterodoks iktisat okulları kapsamında yeniden şekillenerek evrimsel oyun teorisi haline gelen klasik oyun teorisinin bu süreçte nasıl değişime uğradığının gözlemlenebilmesidir. Sonuç olarak yeni heterodoks iktisat kapsamında gelişim gösteren evrimsel oyun teorisi, kompleks uyarlanabilir sistemlerin içerdiği evrim düşüncesinin ajan-temelli modellerde ifadesi için bir araç olarak kullanılabilir. Bölümde son olarak, çalışmanın uygulama bölümünde ele alınacak iktisadi konunun ajan-temelli ağ modeli ile ifadesinde, ajanlara ilişkin davranış kurallarının evrimsel stratejili mahkûm ikilemi oyunu tarafından belirlenecek olmasından kaynakla mahkûm ikilemi oyunu ve denge durumunu belirten evrimsel kararlı stratejiler ele alınacaktır.

Çalışmanın dördüncü ve beşinci bölümlerinde ise uygulamaya yönelik olarak model yapısını oluşturacak teorik çerçeve ve uygulama sonuçları sunulacaktır. Bu bağlamda dördüncü bölümde yeni heterodoks iktisadın hesaplanabilir yöntemlerini oluşturan ajan-temelli modelleme ve ağ modellerinin kavramsal yapısı ele alınacaktır. Beşinci bölümde ise, öncelikle çalışmanın temel konusunu oluşturan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası uluslararası ticareti açıklamak için kullanılan, yerleşik heterodoks iktisat okulları içerisinde yer alan yapısalcı okulun kalkınma anlayışının simgesi olan Prebisch-Singer hipotezi iddiası ele alınacaktır. Daha sonra, uluslararası ticarete ilişkin, sırası ile ülkeler arası gelişim farklarının olmadığı klasik iktisat görüşü ve gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için Prebisch-Singer hipotezinin iddiası için Python programlama dilinde yazılan kodlar aracılığı ile yapılan ajan-temelli ağ modeli simülasyon sonuçları sunulacaktır.

Son bölüm olan sonuç bölümü ise yapılan çalışmadan elde edilen bulguların daha genel anlamda yorumlanması ve gelecek çalışmalar için sunulacak önerilere ayrılmıştır.

2. YENİ HETERODOKS İKTİSAT OKULLARI VE KLASİK İKTİSATTAN KOMPLEKSİTE İKTİSADINA GEÇİŞ

Eski çağlardan beri varlığını sürdüren, matematik, felsefe gibi kadim bilimler, özellikle 21.yy'da enformatik ve teknolojinin gelişmesi ile yeni kuramların açıklanmasını mümkün hale getirmiştir. Bu noktada, kendi alanındaki yeni kuramları açıklamaktan öte, diğer bilimlerle ilişkileri arttığı ölçüde onlara ilişkin kuramların açıklanmasına da katkıda bulunma özelliği kazanmıştır. Özellikle sosyal bilimler son yıllarda, barındırdıkları fenomenlere yeni açıklamalar kazandırabilmek için farklı bilim dallarının bakış açılarından beslenmektedir. Bu bağlamda, fen bilimlerinde enformatik ve teknolojinin ilerlemesi ile yaşanan yeni gelişmeler özellikle sosyal bilimlerde kısır döngü içine girmiş bazı alanlarda yeni kırılmaların yaşanmasına katkı sağlamıştır. Bu noktada, İktisat biliminin son yıllarda özellikle Matematik, Fizik ve Biyoloji gibi bilimlerin mevcut teorilerini kullanarak fenomenlerine açıklamalar getirmeye çalışması, kompleksite kavramının iktisadi yazında yer almaya başlamasını sağlamıştır.

Bu bağlamda iktisat alanında fen bilimleri temelli yapılan çalışmalar ortodoks yani geleneklerine bağlı ve genel kabul görmüş gerçeklere sahip olan iktisat anlayışının alternatifi olarak *Heterodoks İktisat* anlayışını geliştirmiş ve bünyesinde gelişen düşünce okullarının giderek genişlemesine katkı sağlamıştır. Her ne kadar daha öncesinde ortodoks iktisadın varsayımlarını kısmen reddeden iktisadi düşünce okulları da yer alsada, Eren (2013) bu okulları yerleşik iktisat anlayışının içindeki heterodoks okullar olarak değerlendirip eleştirel çalışmalar ürettiklerini belirtmektedir. Yeni heterodoks iktisat ise ortodoks iktisat anlayışından tamamen kopuk, yeni çalışmalar üretmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle bilimler arası ilişkilerin yarattığı *yeni iktisat* anlayışı ve bu çerçevede ortaya çıkan heterodoks iktisat ile heterodoks iktisadın okulları ele alınacaktır. Daha sonra heterodoks iktisadın okullarından olan kompleksite

iktisadı, temel kavramları ile açıklanarak klasik iktisattan kompleksite iktisadına geçiş, bir süreç olarak ele alınacaktır. Son olarak kompleksite iktisadının daha iyi anlaşılabilmesi için, unsurlarına değinilecektir.

2. 1. Bilimler Arası İlişkiler ve Yeni İktisat

Matematik bilimi ilk olarak Mezopotamya bölgesinde günlük yaşama ilişkin pratik ihtiyaçlar temelinden başlamak üzere zaman içinde değişim ve gelişim göstermiştir. Filozoflar ve bilim adamları yaşamda karşılaştıkları çeşitli bilimsel ve toplumsal sorunlar üzerine çözümler üretmeye çalışırken matematikten oldukça büyük oranda faydalanmışlardır. Bugün geline nokta kabul görmüş birçok bilim alanı yöntemsel olarak matematik biliminden faydalanmaktadır.

Galileo (1623) *Il Saggiatore* isimli eserinde bu görüşünü *Sürekli biçimde gözlerimizin önünde açık duran bu eşsiz kitap (evren) geçmiş ve gelecek tüm felsefeyi içerir, ama onu anlamak için önce dilini öğrenmek alfabesini tanımak zorundayız. Dili matematiğin dilidir, alfabesinin harfleri ise üçgenler, daireler ve diğer geometrik şekillerdir* biçiminde dile getirmektedir. (Aktaran; Ruelle, 2014, s.223). Bu noktadan yola çıkarak matematik, diğer bilimleri ifade etmede kullanılan bilim dili olarak görülebilir. Antik çağlardan beri yaşamış en büyük matematikçi olarak kabul edilen Carl Friedrich Gauss, *Matematik bilimlerin kraliçesidir* demiştir. (Aktaran; Sertöz, 2011, s.83). Gauss'un matematiği, dişi olarak karakterize etmiş olması benzer şekilde bu *ana* imgesi üzerinden diğer bilimlerle birlikte kullanıldığında yeni bakış açıları doğurabilecek olması şeklinde yorumlanabilir.

Tarihsel süreçte matematik bilimine katkıda bulunmuş birçok düşünürün aynı zamanda fizik alanında da buluşlar yapmış oldukları dikkat çekmektedir. Birbirine paralel olarak gelişim gösteren bu iki bilim alanında araştırmacıların bu bilimlerin birbirinden beslenip beslenmediği konusunda sıklıkla anlaşmazlığa düşmesinin yanında, aslında bu bilimlerin karşılıklı olarak etkileşim gösterdikleri söylenebilir. Tüm bu tartışmaların yanı sıra, fiziğin matematikle ifade edilen teorilerinin zaman içerisinde neredeyse matematik kadar diğer bilimleri etkilediği de görülmüştür.

Bilimler arası ilişkiler konusunun bu çalışma bağlamında önemi, fiziğin matematik ile ifade edilen teorilerinin öncelikli olarak iktisat bilimine olan etkisi noktasında ön plana çıkmaktadır. Birner (2002), bu etkinin ilk olarak klasik politik iktisatçıların kendi bilim dallarını bilinçli olarak fizik metotları ile tümdengelim yöntemi kullanarak kurgulamayı düşünmeleri ile başladığını iddia etmektedir. Bunun için temel olarak Öklidyen Geometri ve Newton Fiziği kullanılmıştır. Halévy (1972)'ye göre, James Mill 1809 yılında Edinburgh Review'de Öklidyen metaforu iktisada uygulayan ilk kişidir. Fransız iktisatçı Jean Baptiste Say, benzer bir kanıtla klasik iktisadın sistematüğini geliştirmiştir. Bu doğrultuda, *Traité d'Économie Politique* (Ekonomi Politüğın Ders Kitabı) (1803) isimli kitabında özellikle iktisadi bilgiyi tek bir sistem içinde bir araya getirmek amacı ile Newton Fiziğini kullanma isteğinde olmuştur. Say'ın bu eserinde, Newton etkisinin terminolojisine de yansımış olduğu görölmektedir. Ricardo ise, 1817 yılında *Principles of Political Economy* (Politik Ekonominin İlkeleri) isimli eserinde Say'ın sözü geçen eserine olan hayranlığını ve iktisatta Newton Fiziği kullanılarak elde edilen bu yeni yöntemin, kendine kalıcı bir yer edinmiş olduğunu belirtmiştir (Birner, 2002, s.68).

Buradan hareketle, klasik iktisadın devamında ortaya çıkan neoklasik iktisadın da klasik fiziğın ve termodinamiğın iktisada uyarlanmasından etkilendiğı söylenmektedir. Neoklasik iktisat bu bağlamda mühendisçi iktisat geleneğinin başlangıcı olarak görölmektedir. Termodinamiğın 1. yasası olan *Hiçbir enerji yoktan var edilemez; varsa yok edilemez* kuralını Fisher ve Walras *kıtlık kavramı* ve *miktar kuramı* üzerine uygulamışlardır. Daha sonra ortaya çıkan 0., 2. ve 3. yasalar ise bu çalışmanın devam eden kısımlarının konusunu teşkil eden kompleksite iktisadını içinde barındıran “yeni” iktisat üzerinde etkiler yaratmıştır (Eren, 2009, s.3).

Nicholas Georgescu-Roegen tarafından 1971 yılında yazılan *The Entropy Law and the Economic Process* (Entropi Yasası ve İktisadi Süreçler) isimli kitapta termodinamiğın 2. yasasını iktisada uyarlayarak fiziki evrenin geri döndürülemez bir

şekilde kaosa doğru gittiği ve bunun da en büyük sebebinin iktisadi süreçlerin entropik* doğası (iktisadi kaynakların doğası gereği azalması) olduğunu belirtilmektedir. Eğer insanlar türünün devamını arzu ediyorsa ellerinde bulunan iktisadi kaynakları tedbirli kullanmak zorundadır (Yalçıntaş, 2010, s.4). İktisat ve fizik alanındaki bu karşılıklı etkileşimlerin incelendiği *ekonofizik* alanı günümüzde güncel çalışmalar ile kendisine oldukça geniş yer bulmaktadır.

İktisadın matematik ve fizik gibi diğer bilimlerde etkileşim yaşaması *yeni iktisat* alanını yaratmış ve bu alanın altında çeşitli düşünce okullarının oluşmasına katkıda bulunmuştur. Temelde iktisat ve diğer bilimler arası etkileşimi konu edinen yeni iktisat, gelişimi son 20-30 yılda hız kazanan kompleksite iktisadını da içerisinde barındırmaktadır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde değinilecek yeni iktisadın kapsam ve alt alanlarından bahsetmeden önce bu tezin konusu itibariyle önem taşıyan ve yeni iktisadın bir diğer alt alanı olan evrimsel iktisattan bahsetmekte yarar vardır. İktisat ve biyoloji arasındaki etkileşimden doğan evrimsel iktisat, özellikle evrimsel oyun teorisi uygulamalarıyla günümüz yazınında artan çalışmalar ile göze çarpan bir alandır. Biyoloji biliminin temel konularından birisi olan evrim teorisinin en önemli eserlerinden olan Charles Darwin' in *Origin of Species* (Türlerin Kökeni) (1859) isimli eserini yazmadan önce ünlü iktisatçı Thomas Malthus'un *An Essay of the Principle of Population* (Nüfus Üzerine) (1798) isimli eserini okuduğu da bilinmektedir (Aktaran; Gould 2013, s.22). İktisat ve biyoloji arasındaki bu etkileşim 19. yy'da Thorstein Veblen'in (1898) ve Alfred Marshall'ın (1898) çalışmaları ile genişlemiştir. Daha sonra Schumpeter (1954) iktisat bilimine evrim meselesinin uyarlanması konusunda çalışmalar yapmıştır. 1980'li yıllardan sonra evrimsel iktisada olan ilginin artması bu alanın temel ilkelerinin çizilmesine ve alanın gelişmesine neden olmuştur (Yalçıntaş, 2010, s.5). Bu noktada evrim düşüncesi temelde ortak olmakla beraber, Marx için evirilen tarih ve toplum iken, Veblen ve ardından gelen kurumsal iktisat için kurumlar,

* Termodinamiğin 2. yasasında sözü edilen entropi kavramı *bozulma* anlamına gelmektedir ve sistemdeki düzensizliğin ölçüsüdür. İlgili termodinamik yasası entropiyi şu şekilde ifade eder: Hiçbir enerji kayba uğramadan cins değiştiremez. Bu yasada kaybolan enerji, entropiyi ifade etmektedir (Eren, 2011, s. 25).

Schumpeter ve evrimsel iktisatçılar için kapitalizm, firmalar, teknoloji ve bilgi ya da bunların hepsi olarak görülmektedir (Güzel ve Özel, 2011, s.8). Son yıllarda ise bu ilginin sayısal olarak en üst seviyeyi yakaladığı yapılan çalışmalarca da ispatlanmaktadır (Yalçıntaş, 2010).

Matematik, fizik, biyoloji gibi doğa bilimlerinin kendi aralarında etkileşimleri ile başlayan süreç, bu bilim alanlarının sosyal bilimlerle karşılıklı etkileşim yaşaması şeklinde devam etmiştir. Bir sosyal bilim olarak iktisatta bu etkileşimden payını almış, hatta bu etkileşimler daha büyük boyutlara erişerek günümüzde *yeni iktisat* adı altında bir alanın doğmasını sağlamıştır.* Yeni iktisat okulları arasında bulunan evrimsel iktisat, kompleksite iktisadı, davranışsal iktisat, deneysel iktisat ve ajan-temelli hesaplanabilir iktisat gibi alanların her biri orijinlerini iktisat dışındaki bilimlerden alarak gelişim göstermişlerdir (Eren, 2013). Bu çalışma bağlamında sözü edilecek teorik yaklaşımlar ve uygulama yöntemlerinin tümü iktisat bilimi içerisindeki gelişimini yeni iktisat okulları çatısı altında göstermiştir.

2. 2. Yeni Heterodoks İktisadın Okulları

İktisadın diğer bilimlerden etkilenmesi süreci ile ortaya çıkan yeni iktisat özellikle 1980 sonrası hızla gelişim göstermiştir. Bu gelişme ile ortaya çıkan çalışmaların o zamana kadar yapılmış çalışmalardan farklı olmakla birlikte, genel kabul gören kuralların eleştirisi ve reddi üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu farklılık yeni iktisat çatısı altında yapılan bu çalışmaların *heterodoks iktisat* anlayışı olarak da anılmasına neden olmuştur.

İktisat alanında geleneklere bağlı ve genel kabul görmüş görüşler için Yunancada *orthos* (doğru) ve *doxa* (inanç, öğreti) sözcüklerinin birleşiminden oluşan ve doğru inanç anlamına gelen *ortodoks İktisat* terimi kullanılmaktadır. Bu terimin aksi olarak Yunanca *heteros* (farklı) ve *doxa* sözcüklerinin birleşiminden oluşan heterodoks

* Bilimler arası ilişkiler söz konusu olduğunda, matematik ve iktisat arasındaki ilişkinin genellikle matematikten iktisat yönüne doğru olduğu düşünülmektedir. Ancak bu ilişki yönünü destekleyen iktisatçılar olduğu kadar, eleştiri getirenlerde olmuştur. Konuyla ilgili detaylı açıklama için bkz: Yay, T. (2005). İktisadın Kapsamı ve Yöntemi Üzerine. *Ekonomik Yaklaşım*. 16. 57,1-33.

kelimesi ise, geleneksel görüş ve yaklaşımların dışındaki görüş ve yaklaşımları kapsayan *Heterodoks İktisadi* oluşturmaktadır (Eğilmez, 2013). Bu durum, ortodoks iktisat anlayışının koşulsuz olarak doğru olan durumları nitelendirdiğinde, heterodoks iktisadi düşüncelerin doğru olmadığı gibi yanlış bir yargıya varılmasına neden olabilir. Böyle bir yanılgıdan uzaklaşılması için ortodoks iktisat teriminin Sovyetler Birliği dağılıncaya kadar batı ülkelerinde okutulan iktisat teorisini anlatmada kullanıldığını belirtmekte yarar görülmektedir. Bu yönüyle ortodoks iktisat teorisi varsayımları ve iktisadi tanımlama şekli ile üretim faktörleri donanımı, milli gelirin bölüşümü, ekonomik istikrar ve büyüme gibi temel konular üzerinden gelişip makro ve mikro iktisat ayrımını yaratarak bu alanda çalışan bilim adamları için belirli keskin çizgiler sunmuştur (Güngör, 2014).

Her ne kadar iktisatta sadece heterodoks ve ortodoks ayrımı yapmanın doğru olmadığı bilinse de bu çalışma kapsamında iktisadi öncelikle bu türden iki alt gruba ayırmamız yerinde olacaktır. Bu ayrım da heterodoks yaklaşımların ortaya çıkmasının sebeplerini Davis (2006), Davis ve Sent (2006) 'in çalışmasından şu şekilde aktarmıştır;

1. Plüralizm* sürecinden sonraki dönemde, ortodoks kalmada başarısız olma.
2. Yeni ortodoks yaklaşımın ortaya çıkması ile ortodoks yaklaşımın statüsünü kaybetmesi.
3. Ortodoks yaklaşımları ortodoks harici yaklaşımlara yönlendirmede başarısız olma.
4. Ortodoks yaklaşımları ortodoks dâhili yaklaşımlara yönlendirmede başarısız olma.

Colander, Holt ve Rosser (2003)' e göre ortodoks terimi, yakın geçmişte baskın olan düşünce okullarını ifade etmekte kullanılır. Bugün için düşünüldüğünde yakın geçmişte baskın olan neoklasik iktisat düşünülebilir. Ancak aynı zamanda, modern ana

* Felsefe'de çoğulculuk anlamına gelen terim. İktisatta plüralizm hakkında detaylı bilgi için bkz: Colander, D. (2009). Moving Beyond the Rhetoric of Pluralism: Suggestion for an "Inside-the-Mainstream" *Heterodoxy*. *Middlebury College Economics Discussion Paper*, No:09-15.

akım iktisadın, günümüzde ortodoks olarak görülen neoklasik anlayıştan biraz farklı olduğunu da belirtmektedirler. Bu noktada ana akım iktisat Colander, Holt ve Rosser (2003) tarafından, içinde bulunulan zaman diliminde akademik enstitü, organizasyon ve dergilere ama özellikle de araştırma enstitülerine önderlik eden akademik elitlerce benimsenen fikirlerin oluşturduğu iktisat olarak tanımlanmıştır. Ana akım ve ortodoks iktisat terimlerinin ise zamanlar arası bir karşılaştırma yapabilmek adına önemli olduğunu savunmaktadır. Colander, Holt ve Rosser (2003) savundukları bu iddiayı dile getirirken ortodoks iktisadı temsilen neoklasik iktisat, ana akım iktisadı temsilen ise günümüzde *yeni iktisat* çatısı altında gelişen heterodoks iktisadın anlaşılması gerektiğini düşünmektedirler. Ancak Colander, Holt ve Rosser (2003)'e göre birçok neoklasik iktisatçı günümüzde ana akım halini alan çalışmalarında hali hazırda zaten ortodoks iktisadın önemli yönlerini kabul etmediği için heterodoks iktisatçı sayılabileceğinden, yeni iktisat okulu altındaki heterodoks iktisatçıları ayırmak için ilave özelliklere ihtiyaç olduğunu belirtmektedirler. Bu ayrımı, heterodoks iktisatçıların ana akım iktisat çerçevesi ile çalışmayı kullandıkları modelin doğası ya da vurgulanan varsayımların gereği olmadıkça reddetmeleri olarak kabul etmektedirler (Colander, Holt ve Rosser 2003, s.5-6). Böylece bu ayrımın gereğini yerine getirmeyen ancak ortodoks iktisadın da önemli yönlerini kabul etmeyen ana akım iktisatçıları Colander, Holt ve Rosser (2003) ana akım heterodoks iktisatçılardan fiili olarak ayırmaktadır.

Devam eden yıllarda, ana akım iktisadın içinde yer alan ve ortodoks iktisadın önemli yönlerini kabul etmeyen düşünce yapısı ile temellerini diğer bilimlerden alan çalışmaları konu edinen heterodoks iktisadı birbirinden ayırmak için, Colander, Holt ve Rosser (2003)'e ek başka çalışmalarda yapılmıştır. Bu bağlamda Davis (2006), 1980'lerden sonraki yaklaşık otuz yıllık süreçte heterodoks iktisadın içindeki araştırmaların sınırlarının, geleneksel neoklasik varsayımların eleştirisini yapan birçok araştırmacı yanında temellerini diğer bilimlerden alan yeni araştırma yöntemlerinin ortaya çıkması ile de ilintili olarak önemli ölçüde değişime uğradığını belirtmektedir. Bu anlamda heterodoks iktisat teriminin birçok iktisatçının anladığından epey farklı olduğunu iddia etmektedir (Davis, 2006, s.2). Davis, heterodoks yaklaşımların bizleri ortodoks yaklaşımın çekirdeğinde yer alan konuları yeniden ele almaya ya da iktisadın diğer bilimlerle teması ile ortaya çıkan sınır bölgelerinde çalışmaya yönlendirdiğini

söylemektedir. Özellikle 1980 sonrasında ortaya çıkan oyun teorisi, davranışsal iktisat, deneysel iktisat, evrimsel iktisat, nöro iktisat ve kompleksite bilimi gibi iktisat için önemli görülen araştırma alanlarını ele aldığımızda, iktisadın 1980 sonrası karmaşıklaşan yapısının, açıkça birbirinden farklı olan iki çalışma türünden oluştuğunu görmek mümkündür (Davis, 2006). Bu noktadan yola çıkarak Davis (2006), diğer bilimlerden ithal edilerek oluşturulmuş geleneksel heterodoks iktisat yöntemlerini *yeni heterodoks* olarak adlandırmıştır. Yani Colander, Holt ve Rosser'in 2003 yılında Ortodoks iktisadın eleştirisini konu alan çalışmaları ana akım içindeki heterodoks iktisat olarak adlandırması ile başlayan heterodoks iktisat içindeki ikiye ayrılış süreci, Davis (2006)'ın kökenlerini diğer bilimlerden alan çalışmalara yönelik olarak yaptığı yeni heterodoks iktisat adlandırması ile devam etmiştir. Böylece yeni iktisat çatısı altında gelişen heterodoks iktisat 2000'li yıllara gelindiğinde ana akım içindeki heterodoks iktisat ve yeni heterodoks iktisat olarak ikiye ayrılmıştır.

Eren (2013), Davis (2006)'i destekler nitelikte yeni iktisadın içinde yer alan heterodoks iktisadı, yeni heterodoks iktisat ve yerleşik heterodoks iktisat olarak ikiye ayırmaktadır. Bu ayrımı, Colander, Holt ve Rosser (2003)'in ana akımın içindeki eleştirel çalışmalardan oluşan heterodoks iktisada *yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat* ve temellerini diğer bilimlerden alan çalışmaları konu edinen heterodoks iktisadı ise *yerleşik iktisat dışında heterodoks iktisat* şeklinde adlandırarak yapmaktadır. Eren (2013)'de Colander, Holt ve Rosser (2003) ve Davis (2006) gibi yerleşik iktisadın içindeki heterodoks iktisadın, ortodoks iktisadın bir takım varsayımlarını kabul etmeden ana akım halini almış eleştirel çalışmalar üretmekte olduğunu belirtmektedir. Yapısalcı İktisat, Kurumsalcı İktisat, Marksist İktisat, Post-Keynesci İktisat, Neo-Ricardocu İktisat, Sosyal Ekonomi, Avusturya Okulu, Feminist İktisat, Eleştirel Gerçekçilik, Post Modernist İktisat gibi okullar yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat okullarına örnek oluşturmaktadırlar. Evrimci Oyun Teorisi, Klasik Oyun Teorisi, Davranışsal Oyun Teorisi, Evrimci İktisat, Davranışsal İktisat, Deneysel İktisat, Nöro İktisat, Ajan-Temelli Kompleksite İktisadı gibi okullar ise yerleşik iktisadın dışında kalan yeni heterodoks iktisat okullarına örnektir (Eren, 2013, s.14).

Ancak alan yazında bu çalışmaların dışında yeni iktisat altında gelişen heterodoks iktisada ilişkin ayırım yapmayan çalışmalar da mevcuttur. Bu bağlamda, Lawson (2006) heterodoks iktisadı farklı yaklaşım, okul ve gelenekleri kapsayan (kapsayıcı terim) *şemsiye terim* olarak görmektedir. Lawson, heterodoks iktisadı reddiyeleri ve sosyal gerçeklikleri konu alan ontolojik analizlere bağımlılığı ile bir bütün olarak ortodoks iktisattan ayırmaktadır. Yani Colander, Holt ve Rosser (2003), Davis (2006) ve Eren (2013) 'in yaptığı gibi heterodoks iktisadı da kendi içinde ikiye bölmektense, tekil olarak ortodoks ve heterodoks iktisat ayırımı yapmayı tercih etmiştir. Bu anlamda heterodoks iktisat teriminin birçok iktisatçının anladığından epey farklı olduğunu iddia etmektedir (Davis, 2006, s.2).

Yeni heterodoks iktisat okulları temellerini iktisat dışındaki bilimlerden alarak oluşan iktisat okulları olmaları sebebiyle bu alanda bir sınıflama yaparken çizgileri çok keskin belirlemek doğru olmayacaktır. Kaldı ki burada belirtilen okullar farklı bilimler temelinde ortaya çıkmış olsalar da gelişim sürecinde birbirleri ile etkileşim halinde olmuşlardır. Örneğin, Evrimci İktisat konusu itibariyle evrimci oyun teorisi sınırlarına giren çalışmalar içerirken, evrimci oyun kuramının iddialarının iktisat kuramlarını deneyler ile ispatlama konusunda çalışmalar içeren deneysel iktisat, evrimci oyun teorisinin varsayımlarını deneylerle doğrulamıştır. Diğer yandan davranışsal iktisat bireylerin karar alma süreçlerini incelerken, nöro iktisat bu sürece beyin nöronlarının incelenmesini dâhil ederek bireylerin düşüncesinin tam ölçümünü yapma üzerinde çalışmaktadır (Eren, 2009, s.24-29). Bu sebeple tekil olarak bu düşünce okullarının belirli bir sınıflandırma altında listelenmesi yerine, sınıflandırmanın genel özelliklerini tanımlamak her zaman daha yerinde olacaktır.

Bu çalışma, yeni iktisat çerçevesi içinde, ana akım içinden reddiyelerle ortaya çıkan eleştirel çalışmaları kapsayan *yerleşik heterodoks iktisadın* okulları kapsamında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaret üzerine ortaya çıkan teorilerden olan Prebisch-Singer hipotezini, temellerini diğer bilim dallarından alarak gelişen *yeni heterodoks iktisadın* analiz yöntemleri ele almayı hedeflemektedir. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünden sonra, ortodoks iktisat terimi neoklasik iktisat/klasik iktisadı ifade edecektir. Heterodoks iktisat ise, çalışma bağlamında ele alınacak teori ve

yöntemler kapsamında yeni heterodoks iktisat ve yerleşik heterodoks iktisat ayrımı yapılarak kullanılacaktır. Bu açıdan çalışmanın, Colander, Holt ve Rosser (2003), Davis (2006) ve Eren (2013)'ün yaptığı gibi bir ayrımı benimsediği söylenebilir.

2. 2. 1. Kompleksite İktisadı

Yeni Heterodoks iktisadın düşünce okulları kapsamında gelişen kompleksite iktisadı temellerini fizikteki kompleks yapılar ve kompleks olma özelliklerinin iktisada uyarlanmasından almaktadır. Bu yönüyle fizik biliminin iktisadı etkilemesi ile ortaya çıkan önemli bir düşünce okulu olmasının yanı sıra, yeni heterodoks iktisadın da gelişim göstermesine öncülük etmiştir. Dahası her ne kadar günümüzde yeni heterodoks iktisat okulları altında yer alsa dahi, esasen yeni heterodoks iktisat okullarının gelişimi kompleksite iktisadının gelişimi ile birlikte gerçekleşmiştir. Bu nedenle devam eden bölümde klasik iktisadın varsayımlarını reddetmesi ve yeni heterodoks iktisat okullarının ortaya çıkışını beslemesi bakımından kompleksite iktisadının oluşum süreci ve ortodoks iktisadı temsilen neoklasik iktisattan farklarına da değinilecektir. Ancak yeni heterodoks iktisat okulları kapsamında ele alınan bu okulun ortaya çıkmasındaki temel güdünün, kompleks yapıdaki iktisadi süreçlerin incelenmek istenmesi olması nedeniyle öncelikle kompleksite ve kompleks sistem kavramının tanımı ile kompleksite iktisadına değinmeye ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Kompleksite kavramının iktisat bilimindeki karşılığının iyi anlaşılması, bu tezin uygulama bölümünde yer alan iktisadi yapının aynı zamanda kompleks bir sistem özelliği göstermesi nedeni ile önem arz etmektedir. Bu önem aynı zamanda bu bölümün yazılış amacını da ifade etmektedir. Dolayısıyla son olarak kompleks sistemlerden söz edilebilmesi için gereken unsurlara da değinilecektir.

2. 2. 1. 1. Kompleksite Tanımı

Israel (2005), yaptığı çalışmada bilimsel terimlerin iki kategoriye bölünebileceğini söylemektedir. Bunların ilki, birçoğu matematiksel terimler içeren kesinlik taşıyan resmi tanımlamalar, diğeri ise bu tartışmasız tanımı elde etmemizi sağlayan günlük konuşma dilinden yola çıkarak yapılan tanımlamalardır. Israel (2005) Latince, *complecti* yani anlamak, kavramak, idrak etmek kökünden gelen kompleksite

(karmaşıklık) kelimesini ikinci kategoride görmektedir. Çoğunlukla, yine Latince bir kökten gelen *complicare* yani bükmek, kapatmak anlamı taşıyan komplikelik (karışıklık) kelimesi ile karıştırılmaktadır. Bunun nedeni her iki kelimenin de temelde basit kelimesinin anlamca zıttı olarak kullanılmasıdır (Israel, 2005, s.479).

Bu noktada oyun teorisinin yaratıcısı ve aynı zamanda kompleksite bilimi alanında da çalışmaları olan John Von Neumann'ın komplikelik kavramını basite indirgemesi zor olan fakat imkânsız olmayan ilişki ağları olarak, kompleks kavramını ise basite indirgemenin doğası gereği imkânsız olan durumlar olarak ifade ederek ayırdığı görülmektedir (Israel, 2005, s.480).

Kelimenin Latince kökeninden türeyen bir başka Latince ifade olan *complexus* kelimesindeki *plexus* ise örülmüş, dolaşık gibi anlamlar içermektedir. Bu nedenle kompleksite sistem içi ve sistemle çevre arasındaki karmaşık sarmallar ya da ilişkiler ile bağdaştırılmaktadır (Chan, 2001, s.1). Murray Gell-Man bu noktadan yola çıkarak kompleksitenin, sistem içi elemanların kendi arasındaki ilişkiler, eylemler ve bağlantılar ile bu elemanların çevre ile arasındaki ilişkiler, eylemler ve bağlantılarından ortaya çıkmakta olduğunu belirtmiştir (Gell-Man, 1996).

Valle (2000)'ye göre kompleks sistem, sayısız bağımsız elemanın sürekli etkileşimi ve kendini zaman içinde git gide daha ayrıntılı yapılara anlık olarak yeniden düzenlemesidir. Kompleksite bir takım özellikleri taşıması üzerinden tanımlanır. Bu özelliklerin ilk ikisi, büyük sayılarda benzer fakat bağımsız eleman ya da ajanlara sahip olması, bu elemanların diğer ajanlara ısrarcı hareket ve cevapları ile sistemin hayatta kalmasını garanti edebilecek yeni duruma uyarlanabilirliğinin mevcut olmasıdır. Ayrıca kendi kendini düzenleyebilme özelliği, her ajana uygulanan yerel kurallar, zaman içinde sistemin büyümesi ve karmaşıklaşmasını sağlayacak şekilde işleyen kompleksitenin devamlılığı özellikleri de mevcuttur (Valle, 2000, s.4). Eğer bu özellikleri taşıyan kompleks bir sistem söz konusu ise, kompleks ortak davranış, sinyal verme, bilgi işleme ve adaptasyon gibi özellikler gözlemlenecek ve çözümü doğrusal olmayan bir sistem ile mümkün olacaktır (yani tek bir deterministik çözüm söz konusu olmayacaktır.) (Soyyigit Kaya, 2015).

Rosser (2009) bir bütün olarak kompleksite konusunu ele alırken, meta-kompleksite, dinamik kompleksite ve ajan-temelli kompleksite olmak üzere 3 ayrı düzey belirlemiştir. Meta-kompleksite konuya daha çok kompleksite tanımları ve kapsamaları olarak yaklaşmaktadır. Dinamik kompleksite ise ilişkili oldukları fenomenlerin dinamik yapıları üzerinden tanımlanan kompleksite tiplerinin altını çizmektedir. Son olarak ajan-temelli kompleksite Valle (2000)'nin altını çizdiği özellikleri barındıran kompleks bir sistemde yine Valle (2000)'nin yukarıda verilen kompleksite tanımı gereği heterojen ajanlar arasında var olan yerel etkileşimlerini konu almaktadır (Rosser, 2009).

Kompleksite ve kompleksitenin yer edindiği ilk akla gelen bilimler olan sosyoloji, bilgisayar bilimleri, nörobiyoloji, antropoloji ve iktisat gibi alanlarda kavramın anlamına ilişkin oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Çalışmalar ilk adımda kompleksiteye kesin bir tanımlama getirmeyi hedeflerken, ne yazık ki ortak bir tanım bulunamamıştır. Fizikçi Seth Miller'a göre kompleksitenin 45 farklı tanımı bulunmaktadır ve her birinin bu alanda çalışan araştırmacılar tarafından bilinen ve ayırt edilen özellikleri vardır (Martinico, 2013, s.37). Bu durum çeşitli bilim dallarında kompleksite çalışması yapanlar tarafından ön kabul olarak alınmıştır. Talbott (2001, s.16) bu durumu, *kompleksite çalışmaları kapsamında genel kabul görmüş bir tanım bulunmamasına rağmen araştırmacılar en azından ne yaptıklarını biçimselleştirmekten çok ana fikir üzerinde uzlaşmış görünmektedirler* şeklinde dile getirmektedir. Bu nedenle yukarıda sözü geçen genel tanımlamalardan çok çalışıldığı bilim dalı için ifade ettiği anlam önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında düşünüldüğünde ise bu önem, kompleksitenin iktisatta nasıl tanımlandığı üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2. 2. 1. 2. İktisatta Kompleksitenin Tanımlanması

Tarihsel süreçte klasik fizikten kuantum mekaniğine, termodinamiğe ve kaos, klasik matematikten ise oyun kuramı, doğrusal olmayan matematik gibi alanlara giden bir bilimsel gelişim ve değişim süreci yaşanmıştır. Her iki bilim alanındaki bu gelişmeler kompleks yapıların teknik anlamda incelenmesi konusuna uygun bir zemin hazırlamıştır. Bir bilim olarak kompleksite geniş bir uygulama alanına sahip olmakla birlikte, özellikle biyoloji ve sosyal bilimler alanlarındaki uygulamalar, sayısal

modellerin davranış biçimlerini inceleyerek, bu davranış biçimleri hakkında fikir sahibi olmaya çalışan çok disiplinli bir alandır.* Bu süreçte ise, matematik ve fizik alanında yaşanan ve yukarıda sözü edilen bilimsel gelişmeleri temel alarak modellemeler üretmektedir (Complexity Science Focus, 2016).

Özellikle iktisat bilimindeki analizlerde ihtiyaç duyulan matematiksel teknikler, bu yeni gelişmelerin ortaya çıkardığı yeni yöntemlerle ile değişim göstermiştir. Yaşanan teknolojik gelişmeler ile bilgisayar biliminin bu tekniklere ilişkin çözümler geliştirme konusundaki başarısı ve yeni iktisat okulunun doğuşu, kompleksite kavramının iktisat biliminin konusu olmasına dolaylı yoldan neden olmuştur. Colander (2008) çalışmasında bu iddiayı *önceden iktisat ile ilişkilendirilecek uygulanabilir bir matematiksel yaklaşımın olmadığı söylenebilirdi ancak son dönemlerde bu durum değişti* şeklinde dile getirmektedir. Colander (2008)'e göre bilgisayar bilimindeki gelişmelerin önceden uğraşılardan çok daha karmaşık modellerle uğraşılabilmesini olanaklı hale getirmesi, araştırmacıların analitik bir çözüm olmaksızın ezbere bilgisayar gücü vasıtası ile simülasyon yaparak iç görü sahibi olabilmesine imkân sağlanmış olmaktadır. Böylece bilgisayarlar ve simülasyonlar kompleksite yaklaşımının temel dayanağı haline almış olmaktadır. Ancak elbette simülasyonlar aracılığı ile bulabileceklerimiz sınırlıdır ve öncesinde birçok yöntemsel çalışmanın yapılmasını gerektirmektedir. (Colander, 2008, s.6).

İktisatta kompleksite ve kompleks sistemler kavramlarının kullanılması ilk kez Santa Fe Enstitüsünün çalışmalarında karşımıza çıkmaktadır. 1980'lerin başında, Los Alamos Ulusal Laboratuvarlarına bağlı olarak çalışan bir grup üst düzey bilim adamı müspet bilimlerdeki uzmanlaşmanın bir sonucu olarak miyopluğun getirdiği hayal kırıklığı ve yükselen bilgisayar bilimleri, doğrusal olmayan dinamikler gibi alanların heyecanı ile içinde bulunduğumuz doğal, kültürel ve sosyal dünyanın kompleksitesini ortaya çıkartacak bir enstitü oluşturmuşlardır. Günümüzde dünya çapında kompleksite

* Yeni heterodoks iktisadın okullarından olan kompleksite çalışmalarını nitelendirmede birden fazla disiplin içermesinden dolayı çok disiplinli (multi disipliner) ve disiplinler ötesi (trans disipliner) terimlerinden hangisinin kullanılacağı konusunda bir tartışma söz konusudur. Trans disipliner disiplinler arası çok daha kusursuz ve derin ilişkileri belirterek yeni sentezlere öncülük eden gelişmeleri tanımlamada kullanılmaktadır (Colander, Holt ve Rosser 2003, s.10).

alışmaları merkezi olarak tanınan Santa Fe Enstitüsü bu şekilde kurulmuştur (Dillon, 2001, s.2). Santa Fe Enstitüsünün 1984'te kurulması, iktisattaki kompleksite teorisine önemli katkılar sağlarken diğeryandan da kompleks sistemlerin disiplinler arası çalışmaları üzerine eğildiğı görölmektedir. Bu bağlamda fizik, matematik, biyoloji, bilgisayar bilimleri gibi alanlarda çalışan bilim adamlarının çalışmaları kompleksite teorisinin yanı sıra kompleks ağlar, genetik algoritma, kaos teorisi gibi alanlara da yönelmiştir.

Başlarda, bazı önemli kompleksite çalışmaları, ana akım iktisat rotasından ayrılan bir kompleksite görüşünü kabul etmekte noktasında çekimser kalmışlardır. Bu durum Santa Fe Enstitüsü tarafından kompleksite bilimi çalışmaları kapsamında *The Economy as an Evolving System* (Gelişen Bir Sistem Olarak İktisat) başlığı ile üç cilt olarak yayınlanan çalışmalarda açıkça görölmektedir. Çalışmanın birinci cildinde (Anderson, Arrow ve Pines, 1988), Anderson kompleksite biliminin ığıır açan gelişmelerinde ısrarcı iken, Arrow, kompleksitenin geleneksel iktisadi düşünceler potasında eritilebileceğini iddia etmektedir. İkinci cildinde ise, Arthur, Durlauf ve Lane (1997), bu yeni bakış açısının çalışılan problemlerin ve aranan çözümlerin ne olduğuna dair tanımlamaların yapılmasına ihtiyaç duyulduğunu itiraf etmektedirler. Üçüncü ciltte ise, Blume ve Durlauf (2001) kompleksite yaklaşımının bazı özel ve belirli koşullar altında analizleri basitleştirme yeteneğinin sağladığı faydalarla bilimsel araştırmaların tek dili olmasından sonra artık metodu üzerinde tartışmanın gereksiz olduğunu belirtmektedirler. Editörler bu kitabı *burada sunulan modeller neoklasik iktisadın reddinin herhangi bir özeti değildir [...] başlıca doğasını değiştirmeden Santa Fe Enstitüsü tipi ilerlemenin özümsemesidir* diyen ve Santa Fe Enstitüsünün fikir babası olan Kenneth Arrow'a ithaf etmişlerdir (Fontana, 2008, s.2-3).

Santa Fe Enstitüsü çalışmalarına önemli katkıları bulunan Brian Arthur (1999) diğerybilim dalları ve iktisattaki kompleksite kavramlarını karşılaştırırken önemli bir vurgu yapmaktadır. Kompleksite üzerine genel bilimsel çalışmalar çeşitli elemanlardan oluşan sistemlerin, bu elemanların kendilerinin oluşturduğu yapılara adapte olması ve tepki göstermesi çerçevesinde oluşmaktadır. Bu elemanlar hücreler, hücresel otomasyon, spin camı içindeki iyonlar ya da bağışıklık sistemindeki hücreler olabilir.

İktisatta ise bu elemanlar iktisadi ajanlar, bankalar, tüketiciler, firmalar ya da yatırımcılardır. Ancak Arthur'a göre iktisatta farklı olan bu iktisadi elemanların insan-ajan olduklarında tercih edebilecekleri davranışın sonuçlarına göre elde edecekleri çıktıları değerlendirerek strateji ve öngörülerle tepki vermeleridir. Bu durum iktisada doğa bilimlerinin tecrübe edemeyeceği bir kat karışıklık daha eklemektedir (Arthur, 1999, s.1). Bu karışıklık günümüzde bu çalışma kapsamında da yapılacağı gibi, evrimsel algoritmalar kullanarak strateji ve öngörü oluşturma çabası ile büyük ölçüde giderilmeye çalışılmaktadır.

Özellikle iktisattaki bu çalışmaların geliştirici etkileri neticesinde son yirmi yıldır kompleksite iktisadı adı verilen farklı bir yaklaşım doğup, yavaşça gelişmiştir. Yaklaşım geniş ölçüde 80'lerin sonunda Santa Fe Enstitüsü çalışmaları ile başlamış olsa da günümüzde çoğalan uygulamaları ve artan soruları ile alan yazında genişleyerek yer almaktadır. Kompleksite iktisadında Rosser (2009)'in heterojen ajanlar arasındaki etkileşimleri konu alan ajan-temelli kompleksite yaklaşımı bağlamında, etkileşimli-ajan iktisadı, ajan-temelli hesaplanabilir iktisat konular ön plana çıkmaktadır (Arthur, 2013, s.1).

2. 2. 1. 3. Klasik İktisattan Kompleksite İktisadına Geçiş Süreci

Özellikle kompleksite kavramının iktisat bilimine girmesi ve bu alanda yapılan çalışmaların artması sayesinde yeni heterodoks iktisat okullarının çeşitlenerek artış göstermesi sürecinde düşünsel arka plan oldukça önem taşımaktadır. Bu önemin sebebi aynı zamanda 1980'lerden sonra iktisatta meydana gelen düşünsel dönüşümü de içermesidir. Bu noktada süreç her ne kadar ortodoks iktisadi temsilen klasik/neoklasik iktisattan heterodoks iktisadı temsilen yeni heterodoks iktisada geçiş süreci olsa da, kompleksite iktisadının yeni heterodoks iktisat anlayışının bir simgesi haline gelmesi sebebiyle klasik iktisattan kompleksite iktisadına geçiş şeklinde incelenmesi daha yerinde olacaktır.

Bu düşünsel süreç temelde iki farklı akımdan beslenmektedir. Birincisi bugünün kompleksite iktisadı fikirlerini temsil eden Avusturya Okulu ve neoklasik çerçevede Walrasgil iktisadın tartışması, diğeri ise evrimsel iktisadın üzerinden

şekillenen kurumsalcı iktisat tartışmalarıdır. Bu bağlamda, hem Avusturya okulu hem de evrimsel iktisat üzerinden devam eden süreç günümüzde kompleks uyarlanabilir sistemlerin ortaya çıkışına değin devam etmektedir. Tarih çizgisinde ilerlerken de bazı noktalarda kesişen bu iki ekolün, gelişim sürecinde ortaya çıkan yeni düşünceler bugün kullanılan anlamıyla kompleksite iktisadının düşünsel temellerini oluşturmaktadır. Özellikle Avusturya Okulu ve neoklasik iktisat tartışmalarını konu edinen alanda bazı çalışmaların bu süreci, yine ortodoks heterodoks iktisat ayrımı yaparak ele aldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda bu ayrımın ortaya çıkmasına neden olan düşünürlerin görüşleri değerlendirildikten sonra söz konusu görüşün hangi okula dâhil olduğu belirtmek şeklinde bir yöntem benimsendiği görülmektedir*. Burada klasik iktisadın babası olarak bilinen Adam Smith'ten başlayarak günümüze gelen süreç, katkısı olan düşünürlerin görüşleri üzerinden ikinci tip değerlendirme şekline sadık kalınarak kısaca ele alınacaktır.

Klasik iktisatçıların temsilcisi olan Adam Smith' in *görünmez el kuramı* ile ilk kez sistematik bir hal almaya başlayan iktisat bilimi, kendisini 'değer' kavramı üzerinden tanımlamaktadır. Colander (2008)'e göre Adam Smith artan getiriler iddiası ile kompleks perspektifin içinde yükselen bir fikrin savunucusudur. Bu yönüyle Smith' in, -her ne kadar bugünkü klasik iktisat düşünme tarzının belirleyicisi olarak tanınsa da- tutarsızlık barındıran bulanık düşüncelerinin olduğunu söylenebilmektedir. Değer üzerine olan çeşitli teorilerinde olduğu gibi fiyat seviyesi ve belirsiz piyasa reçetelerinin gösteriminde de benzer düşünceleri mevcuttur. Bu nedenle daha sonra gelen Ricardo ve Mill gibi klasik iktisatçıları Smith' in görüşlerinden yola çıkarak, tüm maliyetlerde ya da sadece işgücü üzerinde değer tabanlı olarak kabul edilebilir net bir görüş yaratmaya çalışmışlardır. İktisatçıları kompleksiteye bakış açılarına göre değerlendiren Colander (2008) çalışmasında, Smith'in kompleksite perspektifini destekleyen düşünceleri olmasına rağmen kendisini bu konuda istikrarsız bulduğunu, ancak bu istikrarsızlığın Smith'in önemli gördüğü konuların geliştirilmesinde gerekli olan matematiksel

* Süreci heterodoks ve ortodoks iktisat ayrımı üzerinden değerlendiren çalışmalar için bkz: Hands (2015), Lee (2008), Shadmehri, Khadem ve Ghadami (2014), Erkan (2016)

Süreci iktisadi düşünürler üzerinden değerlendiren çalışmalar, için bkz: Colander (2008), Arthur (2013), Eren (2013), Montgomery (1999).

tekniklerin henüz yeterli derecede gelişmemiş olmamasına bağlanabileceğini söylemektedir.

Ricardo ve Mill tarafından geliştirilen görüşler bugün her ne kadar başarısız addediliyor olsa da yaratmış oldukları düşünce akımından yola çıkan ve bu düşünceyi geliştirip çeşitlendiren, günümüzde neoklasik olarak tanımlanan iktisatçıların değer kavramını arz ve talebe ilişkin teoriler ile açıklamaya çalışmasına vesile olmuştur. Arz ve talebin değeri belirlemede beraber dikkate alındığı bu yaklaşım, Walras'ın katkıları ile daha genel bir teorisinin –genel denge teorisinin- ortaya çıkması ile sonuçlanmıştır. Hick ve Samuelson tarafından yapılan genel denge analizleri, Arrow ve Debreu'nun *genel denge analizinin* çözümüne ilişkin çalışmaları ile tepe noktasına ulaşmıştır. Ancak ortodoks iktisattaki tüm bu gelişmelere paralel olarak ilerleyen diğer anlamda 'yan yollar' da gelişim göstermeye devam etmiştir. Halen iktisadi analizlerde hâkim ve baskın olan genel denge analizi, dengenin varlığını oldukça kısıtlayıcı varsayımlara dayandırmaktadır. Bu nedenle zaman içinde bunların gevşetilmesi ve daha gerçekçi olanların ikame edilmesi gerekliliğinin ortaya çıkması sebebi ile bugün heterodoks iktisat anlayışının temsil ettiği alternatif bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur (Kara, 2011, s.89). Bugünkü heterodoks iktisat okulları görüşlerinin geçmişteki temsilcileri olan Malthus, Marx, Hayek, Veblen gibi düşünürler görüşleri ile iktisadi analizlerin merkezinde bulunan genel denge teorisinden ilk kopmaları başlatmışlardır (Colander, 2008, s.8).

Genel denge analizinin kısıtlayıcı varsayımlarının bir sonucu olarak, kompleksite düşüncesine yakınlaşan ilk iktisatçılar Avusturya Okulu mensupları olmakla beraber özellikle kurucularından Friedrich Hayek (1967) bu düşünsel süreçte önemli katkıları ile günümüzde yeni heterodoks iktisat altında bulunan kompleksite iktisadı içerisinde yer alan ajan-temelli hesaplanabilir iktisadın öncüsü olarak kabul edilmektedir.* Bu anlamda mensubu olduğu Avusturya okulunun temel özellikleri;

* Her ne kadar Avusturya okulu Carl Menger ve Frederick Hayek gibi düşünürlerinin çalışmaları ile kompleksite iktisadını temsil etmiş olsa da, bu okul içinde Eugen von Böhm Baawerk, Friedrich von Wieser gibi karşıt görüşlere meyilli bireysel çalışmalar yapan düşünürler de mevcuttur (Rosser, 2013, s.1).

ölçülemezlik, öznellik, belirsizlik, tündengelimci, yöntemsel ve siyasi bireysellik ve a posteriorist* olmasıdır.

Avusturya okuluna göre iktisat bir miktar bilimi değildir, ölçmez. Toplumdaki sürekli değişiklikler bu değişimin test edilmesine olanak tanımamaktadır. Bu görüşün varlığı, Avusturya okulunun denge noktasının belirlenmesi konusunda o güne kadar var olan durağan denge analizlerine karşı bir tavır aldıklarını göstermektedir. Aynı çıkış noktasıyla denge noktası da sürekli değişimin etkisi altında olacağından belirlenmesi durağan denge analizleri ile söz konusu olmayacaktır. Bugün geldiğimiz noktada özellikle evrimsel iktisat bu değişimin kendisini ve dinamikleri belirleme konusunda Avusturya Okulu düşüncesine uygun olarak analiz yapabilmeyi olanaklı kılmıştır. Bu değişimin ölçülemeyeceği düşüncesini açıklayan en önemli neden Avusturya okuluna göre insan faaliyetlerinin ölçülemeyeceğidir.(Eren, 2013). Hayek'e göre insan faktörünün iktisadın doğasında bulunması da onun ölçülememesi için diğer bir nedendir. Bugün bu neden aynı zamanda iktisadın kompleksite bilimi için uygun olmasını sağlayan özelliğidir. Bu iddiası nedeniyle dolaylı yoldan iktisadı evrimsel terimlerle tanımlamış ve bu şekilde ele alınması gerektiği konusunu da tartışmaya açmıştır (Nell, 2010, s.14). Dolayısıyla, Hayek'in de değindiği ve Avusturya okulunun temel özelliklerinden olan iktisattaki belirsizlik konusu, klasik iktisattan kompleks iktisada giden süreçle paralel olarak şekillenen bir diğer araştırma alanı olan evrimsel iktisat fikirlerinin oluşumunun da tohumlarını atmıştır.

Tuncel (2008), çalışmasında Shackle ve Hayek'in evrimsel iktisada yaklaşan görüşlerinden örnekler vermiştir. Shackle, gelecekle ilgili karar alan ajanların belirsizlikle karşı karşıya olduklarını vurgularken, bu belirsizliğin yapısal bir durum halini almasının değişen çevre şartlarına uyum gösterebilen firmanın hayatta kalmasına neden olabileceğini söylemektedir. Hayek ise, daha iyi kurallar geliştirerek uyum sağlayan grubun, birey sayısının daha hızlı artacağını bunun sonucu olarak da artan işbölümü ile grubun karmaşılaşacağını belirtmektedir. Bu süreçte grup üyelerinin etkileşimi grubun seçimini belirleyeceğini söyleyen Hayek, bu eşgüdümün ancak *kendiliğinden düzen* ile ortaya çıkması mümkün olduğunu iddia etmektedir.

* Sonradan gelen, deneyimle elde edilen bilgiye inanan.

Kendiliğinden düzen fikrini ortaya atması nedeniyle Hayek günümüzde *kompleks uyarlanabilen sistem** yaklaşımının öncülerinden birisi olarak kabul edilmektedir (Tuncel, 2008, s.6). Diğer anlamda klasik iktisattan kompleksite iktisadına geçiş sürecinin, bu çalışma kapsamında da önemli bir yeri olan evrim teorisinin iktisada girişi ile başladığı söylenebilir. Devam eden yıllarda ise evrim düşüncesi iktisattaki bir takım varsayımların değişmesine dolaylı yoldan sebep olması nedeniyle heterodoks iktisat okullarının doğuşu ve kompleksite iktisadına geçişi beraberinde getirmiştir.

Klasik iktisatçılarda olduğu gibi neoklasik iktisatçılar arasında da kompleksite düşüncesine yakın veya bugünün yeni heterodoks iktisat okullarına benzer düşünceler türemiştir. Bunun en tipik örneği yirminci yüzyılda neoklasik iktisat denilmiş olan ‘yerleşik iktisat’ terimini bir anlamda borçlu olduğumuz kişi olan Marshall’dır. Marshall da, statik olan iktisadı dinamik hale getirmek için optimizasyon yöntemini içeren klasik Newton mekaniğini kullanmıştır. Marshall *İktisatçıların Mekke’si ekonomik dinamikten çok ekonomik biyolojidir* diyerek bir fikir olarak iktisadi dinamikleri sadece, teknoloji, piyasa kurumları ve kişisel tercihlerin diğer insanların davranışları doğrultusunda evrimleşmesi bağlamında evrimsel bir süreç olarak tartışmıştır. Ancak bu fikirlerini destekler nitelikte bir teori üretmemiştir (Marshall, 2008). Gowdy (1997), Marshall ve Darwin’in yirminci yüzyılda iktisat ve biyolojide hâkim evrimsel teoriye dair iki ortak fikrin olduğunu iddia etmektedir. Bunlar her ikisinin de rekabet odaklı gelişim göstermesi ve yavaş değişmesidir.

Neoklasik iktisadın bu ismi almasına neden olan Veblen (1900) bu terimi Marshall iktisadının yeni olmadığına, klasik iktisattan bir yöntembilimsel kopma sağlayamadığına, sadece eskinin yeni biçimi olmaktan öteye gidemediğinin vurgusunu yapabilmek adına kullanmıştır. İktisadı ele alış biçimini baştan itibaren ‘evrimsel’ olarak isimlendirmiş ve yerleşik iktisada bu çerçevede bir alternatif aramayı yeğlemiştir. Bu noktada Veblen’in evrimsel analizlerinde vurgusunun en çok yapıldığı kavram teknoloji olarak gözlemlenmektedir. Veblen’e göre teknoloji bir kurumdur ve doğası

* Kompleks uyarlanabilir sistemler kompleksite iktisadı bağlamındaki ajan temelli modellemeyi uygulanabilir hale getiren, ajanların belirli özellikler ve kurallar dahilinde üzerinde bulunduğu sistemlerdir.

gereği hızlı değişmeye yatkındır (Özveren, 2007). Veblen'e göre iktisadı açıklamada yararlanılması gereken Darwin'in evrim düşüncesi, kapitalist ekonomideki teknolojik gelişme sürecini açıklayabilecek yeterliliğe sahip bir süreçtir (Işık, 2014).

Schumpeter de, neoklasik iktisat karşısında kendi gelişme teorisini inşa etmek adına *Theory of Economic Development* (İktisadi Kalkınma Teorisi) isimli kitabında evrimsel iktisadın temel kavramlarının oluşumu adına önemli bir katkı sağlamıştır (Tuncel, 2008). Schumpeter'in yirminci yüzyılın başındaki etkileyici çalışmaları ile ortaya koyduğu, iktisatta var olan uzmanlaşma ve bütünleşme süreçleri kavramları doğrultusunda genişleyen yapılar ve *yaratıcı yıkım* sürecine ilişkin önsezileri bugün modern *kompleks uyarlanabilir sistemler* teorisine de uymaktadır (Foster, 2000).

Tuncel (2008)'in aktardığına göre, Dosi (1990), Schumpeter'in yaklaşımının neoklasik iktisattan ayıran noktaların;

1. Kapitalizmi çözümlerken çıkış noktasının denge değil değişim olması,
2. Sosyal kurumların doğduğu, geliştiği ve yok olduğu tarihsel zamana dayanması,
3. Rasyonel kararlara bağlı olarak optimizasyon faaliyetleri peşinde koşan iktisadi ajana karşı şüphe duyulması olduğunu söylemektedir.

Marshall, Veblen, Schumpeter gibi düşünürler özellikle biyolojideki evrim düşüncesinin iktisada girmesi ve devam eden süreçte heterodoks iktisadın alt dallarının düşünsel anlamda ortaya çıkışında önemli bir etken olmuştur. Bu bağlamda klasik iktisattan yeni heterodoks iktisada giden süreçte, ajan-temelli hesaplanabilir iktisadın uygulama yöntemi olan kompleks uyarlanabilir sistemlerin gelişmesi ve bu sayede kompleksite iktisadına katkıda bulunması da, evrimsel düşüncenin kompleks sistemler içerisine girmesi ile mümkün olmuştur. Bu nedenle kompleksite iktisadının gelişiminde evrimsel düşüncenin iktisada uyarlanması, en az iktisattaki yapıların kompleks olduğunun kabul edilmesi kadar önem taşıdığı söylenebilir.

Kompleksite ve evrim düşüncelerinin birlikte gelişimi çalışma kapsamında bu bölümde ele alınan, ortodoks iktisadı temsilen alınan klasik iktisattan, yeni heterodoks iktisadı temsilen alınan kompleksite iktisadında doğru yaşanan düşünsel değişimin

temel sebebi olmuştur. Bu birlikte gelişim sonucu ortaya çıkan kompleks uyarlanabilir sistemler sayesinde karmaşık ekonomik ve sosyal olayların incelenmesi ajan-temelli yaklaşımlarla analizi edilebilir hale gelmiştir.

2. 2. 1. 4. Neoklasik İktisat ve Kompleksite İktisadı Arasındaki Farklar

Neoklasik iktisadın genel olarak taşıdığı betimsel özellikler bu alanda çalışan iktisatçıların çalışmaları ile sınırları keskin bir şekilde çizilerek belirlenmiştir. Robbins (1935) *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science* (İktisat Biliminin Doğası ve Önemi üzerine bir Makale) isimli çalışmasında iktisadı *insan davranışlarını, alternatif kullanımları olan sonlu ve kıt kaynaklar arasındaki ilişkiler olarak ele alan bilim* olarak tanımlamaktadır (Robbins, 1935, s.15). Tanım gereği bu kaynakların kıt olması insanları alternatif kullanımlarla en yüksek faydayı sağlamaya itmektedir. Bu nedenle, neoklasik iktisadın en tipik özelliği bu kaynaklardan en iyi faydayı sağlama amacı güden bireyin rasyonel olduğudur. Klasik iktisat teorisi rasyonel bireyin çevresine ait konulara ilişkin bakış açıları hakkında tam bilgeye sahip ve bu bilgiyi kullanarak kendi faydasını en iyileyebilecek yetenekte olması beklenmektedir. Adam Smith serbest piyasada her birey kendi çıkarlarını en iyilerken, toplumda düzeni koruduğu gibi refahı da en iyiliyorsa, burada bir ‘görünmez el’ işliyordur derken, Walras ve Pareto gibi neoklasik iktisatçılar statik tam rekabet koşulları altında piyasa ekonomisinin optimal şartlarda olduğunu matematiksel olarak kanıtlamışlardır (Walrasgil Genel Denge) (Kazgan, 2011, s.xii).

Neoklasik analiz bu yönüyle pozitivist* bilim yöntemini izlemektedir. Bu nedenle toplumu oluşturan bireyler ondan kopuk ve pasiftir. Pasif bireyin de detaylı bir davranış incelemesi yapılamayacaktır. Bu sebep de tüm bireylerin rasyonel olduğu varsayımının ön plana çıkması konusunda oldukça önemlidir. Ayrıca bu varsayımlara ek olarak daha önceden bahsedildiği gibi analizlere denge noktasından başlamış olmaları ve iktisadi yapının denge üzerine kuruluyor olması da ayrıntılı bir bireysel davranış incelemesine engel olmaktadır. Çünkü verilen denge durumu için zaten

* Fiziksel ve maddi dünyaya ilişkin gerçeklere dayanan ve onları aynen yansıttığına inanılan bilim anlayışıdır.

rasyonel olan bireyin davranışı her zaman en iyi olacaktır (Kara, 2011, s.93). Tüm bireylerin rasyonel olarak ele alınması ise, doğası gereği otonom (kendi başına hareket eden) heterojen ajanlar, birbirini etkileyen ve birbirinden etkilenen çeşitli değişkenler üzerine kurulu sistemlerden oluşan iktisat bilimi için bu anlamda yetersiz kalmaktadır (Eren, 2013).

Klasik ve neoklasik iktisatta farklı anlamlarla karşımıza çıkan rasyonel birey anlayışı, üzerinde en çok tartışılan ve eleştiri getirilen varsayımlardan birisidir. Bu bağlamda ana akım iktisattan ilk kopuşların da rasyonel birey eleştirileri ile gerçekleştiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Rasyonel birey anlayışı eleştirilere cevaben sınırlı rasyonellik ve uyumcul (uyarlanabilen, adaptif) beklentiler^{*} kavramlarını kendi içinden doğurmuştur. Kompleks uyarlanabilir sistemlerin ortaya çıkmasına en az kompleksite ve evrim düşüncesi kadar sınırlı rasyonellik fikri de etki etmiştir (Eren, 2013).

Neoklasik iktisat, rasyonel bireylerin varlığı ile ortaya çıkardığı en iyileme durumunu tüm insan davranışlarına ve doğaya yayma eğilimini göstermektedir. Özellikle Adam Smith'in 'görünmez el' kavramı iktisatçılara bu anlamda oldukça çekici gelmiştir. Ancak bu yaklaşım da benimsedikleri her zaman uyumlu bir sosyal düzenin mutlaka ortaya çıkacağı görüşünü desteklediği için sorun yaratmaktadır (Özel, 2011, s.147). Ayrıca her ne kadar Smith'in yaşadığı dünya serbest rekabet modeline yakın düşse de, neoklasik iktisatta da analizlerin statik olduğu görülmektedir. Bugünün dünyası artık statik tam rekabetten oldukça farklıdır (Kazgan, 2011, s.xii). Bu tür varsayımlar esnetildiğinde, daha gerçekçi iktisadi analizlere olanak tanıyan, kompleksite iktisadının hesaplanabilir yöntemleri işlevsellik kazanmaktadır.

Kompleksite iktisadının neoklasik iktisattan farkları incelendiğinde ilk olarak tanımı gereği dinamik bir analiz yapabilme olanağı sunması göze çarpmaktadır. Denge durumunda olmayı araştırmaktan çok, denge durumuna gelinmesini sağlayan dinamikleri araştırmayı da önemsemektedir. Bu nedenle, örneğin klasik oyun

* Bireylerin içinde bulundukları döneme ilişkin tahmin ettikleri kazanç ile gerçek kazançları arasındaki farkı değerlendirerek geleceğe ilişkin yeni kazanç beklentisi oluşturmalarıdır.

teorisindeki Nash dengesi başlarda tekil bir denge durumunu ifade ederken, kompleks uyarlanabilir sistemlere ilişkin yöntemlerin gelişmesiyle beraber çoklu denge durumlarını analiz edilebilir hale gelmiştir.

Kompleksite iktisadî kapsamında incelenen kompleks uyarlanabilir sistemlerin çoklu denge analizi yapabilir hale gelmesinde bilgisayar bilimindeki gelişmeler ve özellikle de tekrarlı durumlar için doğrusal olmayan denklemler içeren durumlara ilişkin analiz yapabilen programların kullanılmaya başlanması etken olmuştur. Bu olanak son yıllarda araştırmacıların kullanımında olsa da, çoklu denge kavramını tartışan ancak yeterli teknolojik olanak olmadığından bu tartışmayı ileri götüremeyen iktisatçılar da olmuştur. Bu durumun en sık verilen örneği olarak Schumpeter karşımıza çıkmaktadır. Schumpeter (1954) çoklu dengenin tamamen yararsız olmadığını ancak o dönem için var olan bilimin koşulları altında, analitik olarak çözümü kontrol altında olamayacak olan bir kaosu ifade eden araştırma konusu olduğunu belirtmektedir.

İkinci fark ise, Arthur (1990) tarafından dile getirilen ve *bilgi tabanlı iktisadî faaliyetleri konu alan firmaların araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yapacağı yüksek yatırımların ardından ürettiği her birim üründe maliyeti düşürerek artan getirilere sahip olacağı* düşüncesinde var olan *artan getiriler* durumunun kompleksite iktisadî ile incelenebilmesidir. Arthur (1990) bu durumu, gerçek dünyada aynı zamanda piyasaya giren benzer büyüklükteki birçok firma olması durumunda, şans eseri gelişen olayların zaman içinde hangi firmanın baskın hale geleceğine etkisi olup olmayacağını üzerinden sorgulamıştır. Sözü edilen şans faktörleri geçerli olduğunda artan getirilerin statik olarak modellenemeyeceğini, tesadüfî olaylar veya doğrusal olmayan kalıplara dayanan, deterministik dinamik süreçler olarak modellenebileceğini belirtmektedir. Neoklasik iktisatta azalan getiriler tek denge noktasını ifade ederken, burada sözü edilen, artan getiriler kavramı birçok firma arasından baskın olanın belirlenebilmesi açısından çok sayıda olası denge noktası yaratmaktadır. Özellikle sabit nokta teoremlerinin gelişimi ile çözümü mümkün olmaya başlayan çoklu denge kavramı, artan getirilere ilişkin problemlerin çözümleri de oldukça kolaylaştırmıştır (Arthur, 1990).

Arthur (1990)'un belirttiği yapı içerisinde özellikle ileri teknoloji ürünlerde deneyim kazanan firmalar uluslararası anlamda diğer firmaları çerçeve dışında

bırakabiliyor olması kendini güçlendirme mekanizması olarak adlandırılır. Bu bağlamda kendini güçlendirme mekanizması alan yazında pozitif geri besleme olarak adlandırılan mekanizmayı içermektedir. Kompleksite iktisadının neoklasik iktisattan diğer bir farkı da pozitif geri beslemeyi analize dâhil edebiliyor olmasıdır. Bu bağlamda önem kazanan *pozitif geri besleme* kavramı teknolojinin tipik gelişim sürecinde ona bağlı olan insan sayısı ne kadar artarsa onu üreten firmanın deneyim kazanacağı ve bu deneyimin gelecekteki teknolojik gelişmelere rehber olacağı düşüncesinden oluşmaktadır (Arthur, 1990). Bu durum olumlu bir sonuca sebep olduğunda pozitif geri besleme olarak adlandırılmaktadır.

Pozitif geri besleme ile firmaların durumunun şimdiki koşullarından çok geçmişte elde ettiği çıktılara bağlı olması, *patika bağımlılığı* olarak adlandırılır. Yani firmalara ilişkin bugünkü birçok durum aslında geçmişte yaptıkları seçimlerin bir sonucu olarak vardır ve geçmişte yaptıkları seçim onları bu sonucu elde etme yoluna sokmuştur. Böyle bir durumdayken firmanın atacağı her geri adım, girdiği yoldan geri dönmesi anlamına gelecek ve kendisine maliyet olarak geri dönecektir. Patika bağımlılığı kavramı da pozitif geri besleme ile birlikte neoklasik iktisattan farklı olarak kompleksite iktisadının analizlerine dâhil edebildiği bir diğer mekanizmadır. Neoklasik iktisat patika bağımlılığını benimsemez, ajanlar kararlarını sadece fiyat ve gelir gibi ekonomik faktörleri göz önüne alarak verirler (Al-suwailem, 2011, s.484).

Patika bağımlılığı kavramı kompleksite iktisadı kapsamında uzun yıllar bu alanda çalışan Arthur (1989) ve David (1985)'in çalışmaları ile gündeme gelmiştir. David (1985) patika bağımlılığı için bugün alan yazınında kült hale gelmiş olan ünlü 'Qwerty klavye' örneğini vermektedir. David çalışmasında, bu dizilişten başka birçok alternatif diziliş olabileceğini neden bu dizilişin kullanılageldiğini tarihsel çerçevede anlatmaktadır. Bugün hala kullanılmasını ise *teknolojik kilitlenme* durumuna bağlamaktadır. Çalışma ile beraber *teknolojik kilitlenme*, *öngörülemezlik*, *patika bağımlılığı* gibi kavramlar kompleksite iktisadı kapsamında çalışılır hale gelmiştir. Yalçıntaş (2010) çalışmasında, her ne kadar hem sosyal bilimlerde hem de fen bilimlerinde kullanılan bir terim olsa da patika bağımlılığı çalışmalarının sosyal bilimleri ilgilendiren kısmını ele alarak David (1985) ve Arthur (1989)'un

alışmalarından bugüne artarak devam ettiğini yaptığı sayısal analiz ile göz önüne sermektedir.

Neoklasik iktisadın kompleksite iktisadından diğerk farkı dünyanın (tüketim ve üretim kümelerinin) konveks olduğunu varsaymasıdır. Bu, standart neoklasik iktisadi analizin en önemli varsayımıdır. Kompleksite iktisadı ise tersine, ilk olarak konveks olmama durumunun inkâr edilemez olduğu görüşü ile yola çıkmaktadır. Tercihler kümesinin konveks olmaması çarpıcı bir şekilde farklı özellik ve davranışların ortaya çıkmasına yol açar. Sonuç olarak, konvekslik bu iki yaklaşımın nasıl karşılaştırıldığının netleştirilmesi konusunu düzenleyen önemli bir ilkedir (Al-suwailem, 2011, s.481).

Neoklasik iktisatta yapılan konveksite varsayımına (üretim ve tüketim kümelerinin konveksliği) getirilen eleştiriler genel olarak şunlardır;

- Konveks durumda yenilik ve yaratıcılık eksiktir.
- Uzmanlaşma ve verimlik artışının artan getiri sağlaması yanında, bilgi ve enformasyonun da artan getiri özelliğı vardır. Bilgi birikimi ve öğrenme kavramları neoklasik iktisada yabancıdır.
- Konveks olmama arz ve talep fonksiyonlarının süreksizliğine neden olmaktadır
- Azalan getiri durumunda ise pozitif geri besleme yoktur.
- Pozitif geri beslemenin nihai sonuçları başlangıç koşullarına duyarlı olabilir; seçim patika bağımlıdır. Seçim ayrıca sosyal ve psikolojik faktörlerden etkilenebilir. Neoklasik iktisatta patika bağımlılığı yoktur ve seçim yalnız gelir ve fiyat gibi ekonomik faktörlere bağılıdır. Talep fonksiyonları yalnız tercihlerin konveks olduğu koşulda tümlenebilir olur; Tercihlerin bağımlılığı tümlenebilir olma koşullarını geçersiz kılmaktadır.
- Konveks olmamanın diğerk nedeni bölünmezliktir.
- Sınırlı rasyonellik, öğrenme, icat ve yenilik gerçeğı karşısında ekonomik ilişkiler polinomlar ile değil, diyofantus denklemler ile temsil edilebilir (Eren, 2013).

Bu eleştiriler göz önüne alındığında, neoklasik iktisatta üretim ve tüketim kümelerinin konveks olması varsayımının bulunması baştan bu yana sözü edilen

neoklasik iktisat ile kompleksite iktisadı arasındaki farkların çıkışına neden olan temel durum olarak görülebilir.

Al-suwailem (2011)'e göre kompleksite iktisadı ve neoklasik iktisat arasındaki farkları belirleme, kolaylıkla sübjektifliğe doğru kayabilececek bir konudur. Bu iki yaklaşımı farklılaştırmanın daha kesin ve objektif olan yolu, iktisadi çevreye ilişkin önemli varsayımların varlığı ya da yokluğuna dayandırılarak bu işlemin yapılmasıdır. Al-suwailem tarafından belirtildiği gibi bu standart varsayımların varlığı ya da yokluğu üzerinden bu iki yaklaşıma ilişkin objektif bir ayrım yapabilmek amacıyla Montgomery (1999) ve Al-suwailem (2012)'den yararlanılan Eren (2013), Tablo2. 1. hazırlamıştır.

Tablo 2. 1.
Neoklasik İktisat ve Kompleksite İktisadı Arasındaki Farklar

Neo Klasik İktisat	Kompleksite İktisadı
Lineer	Non-Lineer
Temsili ajan (birey)	Heterojen (somut) ajan
Denge	Dengesizlik/Çoklu denge
Rasyonel beklentiler	Uyarlanabilir, evrimci, tümevarımcı
Azalan getiri	Artan getiri
Kurumlar yok, akıcı	Patika bağımlılığı, adaptif evrim
Serbest (rekabetçi) piyasa	Piyasa başarısızlıkları
Konveks	Konveks değil
Çok sınırlı	Sürekli yenilik
Yalnız azalan getiri	Azalan ve artan getiri
İlişkisiz-patika bağımsız	Bağımlı-patika bağımlı
Maksimizasyon	Yetinmeci

Kaynak: Eren, E. (2013). *Kompleksite İktisadı ve Ajan-Temelli Modelleme: Metodolojik Bir Yaklaşım*. Türkiye Ekonomi Kurumu Yayınları, s.16.

Yukarıda Eren (2013) tarafından tablolaştırılarak verilen özellikler yıllar içerisinde neoklasik iktisat varsayımları üzerinden yola çıkarak kompleksite iktisadı üzerine yapılan çalışmalar arttıkça şekillenmiş ve son halini almıştır. Bu bağlamda, neoklasik iktisat ile kompleksite iktisadı arasındaki farklar aynı zamanda kompleksite iktisadının neden ihtiyaç duyulduğu sorusunun açıklayıcısı olarak da görülebilir.

2. 2. 1. 5. Kompleksite Kuramının Unsurları

Çalışmada buraya kadar olan bölümünde genel hatlarıyla kompleksitenin diğer bilimler ve iktisat içinde nasıl tanımlandığı ve neoklasik iktisat ile kompleksite iktisadı arasındaki farklardan söz edilmiştir. Kompleksitenin tanımının verildiği bölümde anlatıldığı gibi Valle (2000)'nin tanımında yer alan sürekli yerel etkileşimler, anlık yeniden düzenlenme, bağımsız ajanlar, ayarlanabilirlik, kendi kendini düzenleme, yerel kurallar ve devamlılığın sağlanması gibi durumların bir arada olması kompleks bir sistemden söz edilebilmesini sağlamaktadır. Bu özellikler aynı zamanda kompleks sistemin ortak davranış, sinyal verme, bilgi işleme ve uyarlanabilme gibi durumları ortaya koyabilmesi için gereken unsurlardır. Bu unsurlar, Rosser (2013)'in çalışmasında Arthur, Durlauf ve Lane (1997)'in yaptığı çalışmadan aktarırken, kompleksite bakış açısı ile ilişkilendirilerek altı maddede özetlenmiştir.

Bu unsurların ilki, herhangi bir uzayda yerel ölçekte hareket eden heterojen ajanlar arasında dağınık etkileşimlerin var olmasıdır. Diğer anlamıyla sistemin kompleks olma özelliğini taşımasını sağlayacak çok sayıda parçanın karmaşık etkileşimler ağı oluşturması gerektiğini söylemektedir. İkincisi, bazı geniş çaplı etkileşimlerin zayıf olma olasılığına karşı, etkileşimlerden çıkar sağlayan geniş ölçekli denetleme yetkisine sahip bir merkezi otoritenin bulunmamasıdır. Üçüncüsü, sistem içerisinde var olan hiyerarşik örgütlerin eş zamanlı olarak hareket etmeleri ve karmaşık ilişkiler içerisinde olmalarıdır. Dördüncü, git gide gelişen ajanların sürekli uyarlanma ve öğrenme özelliğinin olmasıdır. Beşinci özellik, sürekli yeniliğin yeni pazarlar, teknolojiler, davranışlar ve kurumlar olarak çevre içinde yeni hücreler yaratmasıdır. Bu unsur, Menger (1883, 1923) ve Hayek(1988) tarafından geliştirilen evrimsel görüşü diğer maddelerden daha fazla barındırır. Son unsur ise, denge olmaması veya çoklu denge olması, sınırlı rasyonel, beklenmeyen olaylar ve süreçler içeren bir dünyada, sistemin global optimuma yakın olmasının olasılık dışı olduğu, denge dışı dinamikleri vurgular. (Aktaran; Rosser, 2013, s. 3).

Santa Fe çalışmalarına göre kompleks, dinamik ve uyarlanabilir olan kompleks sistemin içereceği dağınık etkileşim, merkezi kontrol olmaması, eş zamanlı hiyerarşik örgütler, sürekli uyarlanma, sürekli yenilik ve denge dışı dinamiklerden oluşan bu altı

unsur klasik yaklaşıma göre daha başarılı olmasının nedenleridir (Gell-Man, 2008'den aktaran; Soyyiğit Kaya, 2015, s.13).

Chan (2001) çözmesi zor bir problem ile kompleksite yaklaşımı arasında iyi bir ayırım yapabilmek için kompleks uyarlanabilir sistemin nasıl davranışlar sergilediğini değerlendirmenin önemli olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle yukarıda belirtilen altı özelliğin altını çizmekle beraber bir yedincisi olan tezatlık durumunu da eklemiştir. Chan (2001)'e göre bazı kompleks uyarlanabilir sistem çalışmaları, düzen ve kaosun birleştirilerek gösteren dinamiklere sahiptirler. Bu çalışmalar, bir tezatlık durumu olarak belirtilen istikrar ve istikrarsızlık, rekabet ve işbirliği, düzen ve düzensizlik gibi aynı zamanda sınırlı istikrarsızlık ya da kaosu sınırlı fikirlerini de desteklemiş olmaktadır.

Buna bağlı olarak, yukarıdaki unsurları taşıdığı ve kompleks uyarlanabilir bir sistem olduğuna karar verilen bir sistemi modelleyebilmek için Al-suwailem (2011) bir yapı önermektedir. Tüm kompleks uyarlanabilir sistemleri tek bir modelle açıklamak mümkün olmamasına rağmen, oluşturduğu yapıyı genel bir sınıflandırma olarak gördüğünü belirtmiştir. x_i , ($i=1, \dots, n$) n birim içeren, S kompleks sisteminin i biriminin var olan davranışsal özelliğini gösterebilir, bu özellik ajanın konum, hız ya da diğer bir davranışı olabilir. S sistemi kompleks olarak tanımlanmaktadır. Her birim ya da ajanın davranışı iki tip değişkenle açıklanabilmektedir; bağımsız değişken, nispi değişken. Bağımsız değişken, sistem dışında belirlenen tüm birim ve ajanlar için dışsal olan değişkenlerdir. Nispi değişkenler ise diğer birim veya ajanların sistem içinde davranışları ile tanımlanmaktadır. Diğer bir değişle her ajanın yerel komşularının davranışlarıdır. Bu değişken ise içseldir. Böylece Denklem 2.1 yazılabilmektedir.

$$x_{it} = f(z_{i,t-1}, x_{i,t-1}) \quad (2.1)$$

Denklem 2. 1'de t zaman olmak üzere, z_i i ajanını etkileyen bağımsız değişkenler vektörü iken, x_i yerel komşuların i ajanına davranışını simgelemektedir. (-1 ifadesi bu değişkenlerdeki geçmiş dönem davranışlarının, ajanlar üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.) Temelde ajanların bu değişkenlere, belli bir değişkenlik derecesine kadar aynı kurallarla tepki gösterdikleri varsayılmaktadır (Al-suwailem, 2011, s.490).

2.3. Değerlendirme

Sonuç olarak matematik, fizik ve biyoloji gibi bilimlerde zaman içinde yaşanan teorik gelişmeler teknolojinin gelişimi ile birlikte diğer bilim dallarında yeni çalışma alanlarının doğmasına neden olmuştur. Bu durum sosyal bilimlerde özellikle iktisat alanında var olan sınırlayıcı varsayımların eleştirilmesi süreci ile birleştiğinde iktisat biliminin kendi içinde bölünmesine yol açmıştır. Varsayımlardan kopuş ile birlikte başlayan eleştirilerden doğan yeni iktisat bugün geldiğimiz noktada iktisatta ana akım halini almıştır. Diğer bilimlerin etkisi hem de o güne kadar var olan varsayımlara gelen eleştirilerin birleşmesi ile ortaya çıkan yeni iktisat altındaki yeni fikirleri ifade eden düşünce okulları heterodoks iktisat olarak adlandırılırken, klasik ve neoklasik iktisat ise var olan/o güne kadar inanılan görüşü temsilen ortodoks iktisat olarak isimlendirilmeye başlanmıştır. Ancak heterodoks iktisat içinde de temellerini diğer bilimlerden alan çalışmalar olduğu gibi, sadece neoklasik iktisadın varsayımlarını eleştirdiği/kabul etmediği için heterodoks sayılan çalışmalar da mevcuttur. Bu nedenle, Colander, Holt ve Rosser (2003), Davis (2006) ve Eren (2013), temellerini diğer bilimlerden alan heterodoks çalışmaları yeni heterodoks iktisat, var olan varsayımların eleştirisini yapma özelliğinden dolayı heterodoks görülen çalışmaları ise yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat olarak adlandırarak, yeni iktisadı temsil ettiği düşünülen heterodoks iktisadı ikiye ayırmışlardır. Bu noktadan sonra temellerini diğer bilimlerden alan yeni heterodoks iktisat düşüncesi özellikle kompleksite ve evrim düşüncelerinin gelişimi ile birlikte yayılım göstermiştir. Bu bağlamda yeni heterodoks iktisat okulunun yükselişi, alt okulları olan kompleksite iktisadı ve evrimsel iktisadın gelişimi ile birlikte olmuştur.

Kompleksite iktisadı doğrusal olmama, heterojen ajanlara ve çoklu dengeye izin verme, uyumcul ve evrimci yapı ile kendi kendine düzenlenme, tesadüfi olaylar ve doğrusal olmayan kalıplar nedeniyle ortaya çıkacak artan getirileri modelleyebilme, patika bağımlılığını inceleyebilme, tüketim ve üretim kümelerinde konveks olmayan yapılarla izin verme gibi özellikleri ile neoklasik iktisattan farklılaşmaktadır. Aynı zamanda yeni heterodoks iktisat düşüncesinin özelliklerinin tümünü üzerinde taşıdığından, yeni heterodoks iktisat düşüncesinin iyi bir temsilcisi olduğu düşünülmektedir.

Kompleksite iktisadında incelenecek iktisadi konu Arthur, Durlauf ve Lane (1997) tarafından belirlenen altı unsuru sağlayarak kompleks uyarlanabilir bir sistem olarak modellenebilmektedir. Bu unsurlar; yerel ölçekte hareket eden heterojen ajanlar arasında etkileşim olması, geniş çaplı etkileşimlerin zayıf olabilme ihtimaline karşın sistemi denetleme yetkisine sahip bir merkezi otoritenin olmaması, hiyerarşik örgütlerin eş zamanlı hareket etmesi, gelişen ajanların sürekli uyarlanma ve öğrenme özelliği taşıması, sistemdeki sürekli yeniliğin yeni pazarlar, teknolojiler ve kurumlar gibi yeni hücreler yaratması ve denge dışı dinamiklerin var olmasıdır. Chan (2001) bu unsurlara tezatları içinde barındırması özelliğini de eklemiştir.

Sayılan özellikleri taşıyan kompleks uyarlanabilir sistemler Al-suwailem (2011)'in Denklem 2.1'de gösterdiği şekilde modellenebilmektedir. Her ne kadar tüm kompleks sistemlerin tek bir yapı ile modellenmesi mümkün olmasa da oluşturmuş olduğu yapı, genel bir sınıflandırmanın özelliği olarak görülebilir.

Çalışma bu bölümdeki bilgiler ışığında özetlendiğinde, ele alacağı iktisadi konunun içerdiği kompleksite ve evrim unsurlarını yeni heterodoks iktisat okullarından kompleksite iktisadı ve evrimsel iktisadın hesaplanabilir yöntemleri kullanarak analiz edecektir denebilir. Bu analiz için ise öncelikle, ajan-temelli modelle, ağ modellemesi ve evrimsel oyun teorisini birleştirilerek kompleks uyarlanabilir sistemin unsurlarını sağlayan bir yapı oluşturulacaktır. Daha sonra ise iktisadi konu, Al-suwailem (2011)'in Denklem 2.1 ile gösterilen modeline uygun olarak modellenecektir.

3. YENİ HETERODOKS İKTİSAT BAĞLAMINDA OYUN TEORİSİNİ YENİDEN DÜŞÜNMEK: KLASİK OYUN TEORİSİNDEN EVRİMSEL OYUN TEORİSİNE MAHKÛM İKİLEMİ OYUNU

Klasik oyun teorisi pür rasyonellik varsayımı nedeniyle ortodoks iktisada ilişkin analizlerin konusu olmuştur. Teorinin gelişimi ile birlikte çoklu dengeye izin veren Nash dengesi, sınırlı rasyonel birey ve eksik bilgi varsayımlarına yönelik gelişen eleştirel çalışmalar ile birlikte, ortodoks düşünce odağından uzaklaşmaya başlamıştır. Ortodoks iktisat içinde yer alan klasik oyun teorisinin varsayımlarından kopuş süreci, aslında klasik iktisadın varsayımlarından kopuş ile yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat düşüncelerinin gelişmesi süreci ile paralel gerçekleşmiştir.

Oyun teorisinin yeni heterodoks iktisat okulları içinde yer alması ise, evrimsel biyolojideki gelişmeler ve evrim teorisinin oyun teorisine uyarlanması neticesinde ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi ile gerçekleşmiştir. Özellikle Santa Fe Enstitüsü çalışmaları sonrasında ortaya çıkan yeni heterodoks iktisat çalışmalarında evrimsel iktisat ve evrimsel oyun teorisi oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bu anlamda klasik oyun teorisinden evrimsel oyun teorisine geçiş süreci, değişen birey tanımı ve varsayımları, oyunların ele alınış ve çözümleniş biçimleri ve çözüm yöntemlerini uygulamada yararlanılan araçlar bakımından ortodoks iktisat anlayışı ile heterodoks iktisat anlayışı arasındaki ayrımı net bir şekilde görmeyi sağlayan önemli bir örnek teşkil etmektedir. Aynı zamanda bu örnek öncelikle klasik oyun teorisi varsayımlarından kopmalarla yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisada geçiş sürecini, sonrasında ise evrim düşüncesinin teoriye uyarlanması ile yeni heterodoks iktisada geçiş sürecini de örneklendirebilmektedir.

Bu bağlamda bu bölümün yazılış amacı, bir önceki bölümde anlatılan yeni iktisadın ortaya çıkması ile birlikte yaşanan ortodoks iktisat anlayışından heterodoks iktisat anlayışına geçiş sürecini klasik oyun teorisinden evrimsel oyun teorisine geçiş üzerinden tekrar değerlendirmektir. Böylece sürecin yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat düşüncesi ve yeni heterodoks iktisat düşüncesi için nasıl geliştiği tek bir teori üzerinden ele alınmış olup, daha iyi anlaşılacaktır. Ayrıca çalışmanın uygulama bölümü kapsamında ele alınacak iktisadi konuya ilişkin oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sistemin içerdiği evrim düşüncesinin modele evrimsel oyun teorisi ile yansıtılması sırasında ele alınması gereken temel kavramlar da bu bölümde açıklanmış olacaktır. Sözü edilen temel kavramların da açıklanması hedeflendiği için, düşünce okulları arasındaki bu geçiş sürecinin ele alınması heterodoks iktisat okulları düşüncelerine atfedilerek bağlamsal olmaktan çok, oyun teorisine ilişkin varsayımlar, mahkûm ikilemi oyunu ve denge kavramlarının bağımsız olarak incelenmesi şeklinde gerçekleştirilecektir.

Bu bağlamda öncelikle klasik oyun teorisinden evrimsel oyun teorisine geçiş süreci yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat düşüncesi ve yeni heterodoks iktisat düşüncesi bağlamında ele alınacaktır. Daha sonra ise klasik oyun teorisinin tarihsel gelişimi, genel yapısı, yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat düşüncesinin doğmasına neden olan eleştirileri ile klasik oyun teorisinin denge anlayışının simgesi olan Nash dengesi ele alınacaktır. Ardından yeni heterodoks iktisat düşüncesinin ortaya çıkış sürecine paralel olarak ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi yine gelişim süreci, genel yapısı ve yapısına yönelik eleştirileri ile denge anlayışının simgesi olan evrimsel kararlı stratejiler ele alınacaktır. Son olarak bu iki yaklaşımın denge kavramlarının ifadesi olan ve Nash dengesi ve evrimsel kararlı stratejiler oluşum yapıları ile karşılaştırılarak benzer ve farklı noktalarına değinilecektir.

3. 1. Oyun Teorisinin Heterodoks İktisattaki Yeri

Oyun Teorisi özellikle bilimler arası etkileşim süreçlerin hızlanmasından sonra iktisadın matematikselleşmesi sürecine yaptığı katkılarla, ortaya çıkışından itibaren hem klasik iktisadın hem de günümüz yeni heterodoks iktisadının çalışmalarının konusu olmuştur. Teorinin başlangıcı olan John Von Neumann ve Oscar Morgenstern'in 1944

yılında yayımladıkları *The Theory of Games and Economic Behavior* (Oyunlar ve Ekonomik Davranışlar Teorisi) çalışması, bu yönüyle matematiksel iktisadın çağdaş döneminin sembolik başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Yay, 2005, s.19). Teorinin heterodoks iktisat içindeki yeri klasik oyun teorisi varsayımlarından kopmalarla başlayan süreçte yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat kapsamında yapılan çalışmalar ve evrim düşüncesinin teoriye uyarlanması ile yeni heterodoks iktisat içinde yapılan çalışmalar kapsamında ikiye ayrılıp incelenebilir.

Teorinin yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisada mensup olduğu düşünülen çalışmaları genellikle neoklasik iktisat çerçevesinde olup, neoklasik iktisadın sınırlayıcı varsayımlarını kabul etmeyen ve ortodoks olarak düşünülen neoklasik iktisat düşüncelerinden uzaklaşan çalışmalardır. Bu bağlamda neoklasik iktisatta, özellikle genel denge analizinde giderek daha yaygın olarak kullanılmasına rağmen, teorinin aslen heterodoks bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir (Kara, 2011, s.89). Bu bağlamda Arrow ve Debreu (1954) da genel denge teorisini açıklarken Nash (1950a)'ın çalışmasında çok oyunculu oyunlarda denge noktasını bulmak için kullandığı Kakutani Sabit Nokta Teoremini kullanmışlardır.*

Ancak aynı dönemde oyun teorisinin denge kavramına getirdiği çözüm sadece neoklasikleri değil, bugünkü yeni heterodoks iktisadın çıkış noktasında önemli bir yere sahip olan Avusturya Okulunun bazı mensuplarını da etkilemiştir. Özellikle Avusturya Okulu ve oyun teorisi düşünceleri paralel olarak gelişirken metodolojik açıdan bazı kesimlerce farklı bulunsa da benzer piyasa süreçleri ve denge anlayışları oluşturmuştur. Bu noktada Morgenstern'in de bir Avusturya Okulu mensubu olarak Von Neumann'la yaptığı çalışmasını (1944) etkileyen ve bu çalışmadaki tetikleyici sorulara cevap arayan öncül çalışmalarında (1928, 1935a, 1935b) bu ekolün kurucularından olan Hans Meyer'den ilham almış olduğunu söylemek de bu benzerliğin daha iyi anlaşılması açısından yerinde olacaktır. Bu benzerlik özellikle işbirliğine dayanan oyunların denge analizinde kendini göstermektedir (Foss, 2000).

* Kakutani ve Brouwer Sabit Nokta Teoremleri ile ilgili detaylı bilgi için EK 1'e bakınız.

Oyun teorisinin yeni heterodoks iktisat içindeki çalışmalarının başlangıcı ise, biyolojideki evrim düşüncesinin oyun teorisine uyarlanması ile ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi ile olmuştur. Evrimsel oyun teorisinin yeni heterodoks iktisat bağlamında taşıdığı önemin nedeni kompleksite iktisadının temelinde yatan; ajanların uyarlanabilir beklentiler taşımaları ve sürekli yenilik sürecinde öğrenme becerisine sahip olmaları özellikleri ile pozitif geri besleme, patika bağımlılığı gibi kavramlarının kompleks uyarlanabilir sistemde var olduğu varsayımının temelini evrim kavramı üzerine kurulu olmasıdır. Bu bağlamda örnek vermek gerekirse, Tuncel (2008) çalışmasında evrimci iktisadın kaynağını oluşturan düşünce akımları ve düşünürlerin aynı zamanda yeni heterodoks iktisat anlayışın da temellerini attıklarını belirtmektedir. Bu durum bu çalışma kapsamında altı çizildiği gibi, kompleksite düşüncesinin temelinde var olan evrim düşüncesinin yeni heterodoks iktisadın ortaya çıkmasında ne derece büyük önem taşıdığını kanıtlar niteliktedir.

Sonuç olarak heterodoks iktisat bağlamında oyun teorisi, hem yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisatta hem de temellerini diğer bilimlerden alan yeni heterodoks iktisatta kaşıma çıkmaktadır. Ancak yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisattaki çalışmalar daha çok klasik oyun teorisinde var olan neoklasik iktisadın varsayımlarını, sınırlı rasyonel birey, çoklu dengeye izin veren Nash dengesi ve eksik bilgi gibi kavramlar ile eleştiren çalışmalardır. Yeni heterodoks iktisat içinde ise oyun teorisi, evrim düşüncesinin iktisadi konulara girişı ile başlayan kompleksite iktisadındaki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi olarak kaşıma çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın bu bölümünün de başlığını teşkil eden yeni heterodoks iktisat kapsamında oyun teorisini yeniden düşünmek, bizleri evrimsel oyun teorisi sonucuna ulaştırmaktadır.

Ayrıca yeni heterodoks iktisat kapsamında hesaplanabilir çözümler üreten ajan-temelli hesaplanabilir iktisat ve ağ iktisadı gibi okullara ilişkin deneysel yöntemler de bilgisayar bilimi ve teknolojiideki gelişmelerle evrimsel oyun teorisi ile bir arada kullanılabilir hale gelmiştir. Böylece, diğer deneysel yöntemlerle bir arada kullanılmak sureti ile kompleks uyarlanabilir sistemlere ilişkin varsayımları sağlayan evrimsel oyun teorisi, dolaylı yoldan iktisadi meselelerin analizi mümkün hale getirmiş olacaktır.

3. 2. Ortodoks İktisat Bağlamında Klasik Oyun Teorisi

Klasik oyun teorisinin Von Neumann ve Morgenstern(1944) tarafından ortaya konan ilk hali -her ne kadar Von Neumann ilerleyen yıllardaki çalışmaları ile kompleksite iktisadına düşünsel anlamda derin katkılar yapmış olsa da- bünyesinde barındırdığı rasyonel ve tam bilgili birey varsayımları ile döneminin ana akım iktisadi görüşü olan neoklasik iktisat bünyesinden doğmuştur. Bugün geline nokta ortodoks iktisadi anlayışı simgeleyen neoklasik iktisadın varsayımlarına ve ilerleyen yıllarda teorisinin diğer bazı özelliklerine eş zamanlı getirilen eleştiriler ile klasik oyun teorisi yeni çalışmalar üreterek değişmiştir. Üretilen bu yeni çalışmalar, neoklasik iktisat çerçevesinde olup sadece neoklasik iktisadın varsayımlarını, sınırlı rasyonel birey, çoklu dengeye izin veren Nash dengesi ve eksik bilgi gibi kavramları ile eleştiren çalışmalar olmaları nedeniyle aslen ortodoks yerleşik iktisat içinden farklılaşarak oluşan heterodoks iktisat kapsamında değerlendirilmektedir.

Bu noktada klasik oyun teorisi ilk ortaya konan hali, yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat kapsamında görülmesine neden olan eleştirel çalışmaları, denge kavramına bakış açısı ile devam eden bölümde ele alınırken, bu çalışmanın uygulama bölümünde kullanılacak mahkûm ikilemi oyununa ilişkin bilgiler de verilmiş olunacaktır.

3. 2. 1. Klasik Oyun Teorisinin Tarihsel Gelişim Süreci

İnsanlar günlük yaşamlarının hemen hemen her parçasında davranışlarına yön verebilmek için kararlar almak durumundadırlar. Bu kararları alış biçimi yöneylem araştırması bilim dalı çerçevesinde *Karar Teorisi* konusu kapsamında incelenmektedir. Karar teorisi, bireylerin karar alma süreçlerini tek tek incelerken bu sürece etkisi olan etmenleri doğal koşullar olarak tanımlamaktadır. Oyun Teorisi, bir karar alma süreci olarak düşünüldüğüne, stratejik durumlarda karar verme olarak tanımlanabilir. Oyun teorisinde bireylerin karar alma süreçlerinde doğal koşullar yerine, çıkarları çatışan ve birbirine rakip olan bireylerin etkili olduğu düşünülmektedir.

Oyun teorisi bireylerin stratejik durumlar altında karar alması şeklinde tanımlandığında stratejik durumların ne olduğu sorusu önem kazanmaktadır. Latince

yol, çizgi anlamına gelen strateji kelimesi, bir ulusun diğer ulusların da benimsediği politikalara ulaşmaya yönelik kararlar vermesi koşulu altında, ekonomik, politik, askeri ve psikolojik imkânlarını kullanarak benimsediği politikalara ulaşmasını destekleyen, bu politikalara ulaşmayı doğrudan doğruya ilgilendiren her şey olarak ifade edilir (Eren, 1997). Stratejik durum ise, bu stratejiler dâhilinde içinde bulunulan durumdur. Stratejik durum ifadesi, sonrasında birçok bilim dalında terimsel anlamda kullanılır hale gelmiştir. İleride detayınca tanımlanacak olan bu ifade, oyun teorisinin tanımının anlaşılabilmesi için oldukça büyük önem arz etmektedir.

Yukarıda bahsedilen stratejik durumların açıklanması sonrasında bu durumların oyun teorisi tanımına adapte edilmesi ile birlikte oyun teorisine ilişkin genel bir tanım yapılabilir. Bu tanıma göre oyun teorisi, çıkarları çatışan ve birine rakip olan bireylerin, hedeflerine ulaşmaya yönelik yaptıkları seçimlerin, sonucunun başarılı olmasının diğer rakiplerin de seçimlerinden etkilendiği durumlar altında, çözümlere matematiksel yöntemler kullanılarak ulaşılmasıdır.

Oyun teorisi ayrıca, Myerson (1991) tarafından, akıllı ve rasyonel karar alıcılar arasındaki çatışma ve iş birliğinin matematiksel olarak modellenmesi çalışması olarak tanımlanmıştır. Ayrıca iki ya da daha fazla bireyin karar alması, birinin refahının diğerini etkilediği durumların analizine ilişkin genel matematiksel teknikler sağlamaktadır (Myerson, 1991, s.1).

Varoufakis (2001)'de oyun teorisini, *bireyin en iyi stratejisinin rakibinin nasıl hareket edeceğine bağlı olduğu stratejik koşullar altında, rasyonel davranışların analizidir* şeklinde tanımlamıştır (Varoufakis, 2001). Varoufakis'e göre birey olarak kast edilen insanlar, hayvanlar, uluslar, şirketler veya türler olabilir.

Klasik oyun teorisinin temellerinin aslen milattan sonra 3. ve 5. yüzyıllar arasında derlendiği düşünülen, Yahudilerin bir anlamda yazılı hukuk kurallarını oluşturan kutsal metinlerine kadar dayandırılmaktadır. Bu dayandırma ilk kez Aumann ve Maschler (1985) tarafından Talmud ismi verilen bu kitaptaki iflas problemlerini oyun teorisi ile açıklamak üzere yaptıkları çalışmada yapılmış ve zaman içerisinde kabul görmüştür. Tevrat'taki ilkelerin açıklaması olarak tanımlanan Talmud'un kadınlar

başlığı altında, ölen erkeğin 3 mirasçısına miras bırakması konusu oyun teorisi problemi şeklinde anlatılmıştır. Erkek 100 birim bırakırsa paylaşım eşit yapılacaktır; 200 birim bırakırsa (50,75,75) birim şeklinde, 300 birim bırakırsa (50,100,150) birim şeklinde dağıtılacaktır (Aumann ve Maschler, 1985, s.196). Bu durum Aumann ve Maschler tarafından modern işbirlikçi oyun örneği olarak kabul edilmiştir.

Tarihsel süreçte klasik oyun teorisinin araştırmacıların karşısına çıktığı bir diğer nokta Pierre Remond de Montmort'un 1713 tarihinde yayınlanan *Şans Oyunları Üzerine Analiz Metinleri* (Essay d'Analyse sur les Jeux de Hasard) isimli eserinde geçen, kendisinin Daniel Bernoulli'ye yazdığı mektuplarda bahsedilen Waldgrave problemi olmuştur. Montmort, Bernoulli ile yaptığı yazışmalarda belirttiği çözümü, iki kişilik oyunlar için karma strateji çözümünün ilk ifadesi olmuştur (Montmort, 1713, s.318-331).

Bernoulli'nin teori ile olan ilişkisi bununla sınırlı kalmamış, ilerleyen zaman içerisinde teoriye önemli katkılar sağlamıştır. 1738 yılında yapmış olduğu analizde *St. Petersburg Paradoks'u* (oyunu) olarak bilinen yazı tura atma problemine sunduğu çözümle, bugünün beklenen fayda kuramının temellerini atmanın yanı sıra, karar teorisine ve oyun teorisine de fayda fonksiyonu kavramını dâhil etmiştir (Bernoulli 1738, çev. Sommer, 1954).

Daha sonra yine Fransız matematikçi Emile Borel (1921, 1927) tarafından dört farklı not ile ele alınan teoriye Borel'in katkısı, iki kişilik oyunlarda minimum maksimum çözümü bulmada karışık stratejiler üzerine olmuştur. Minimum maksimum teorisinin ispatı tam olarak ise, 1928 yılında John Von Neumann tarafından geliştirilmiştir. John Von Neumann'ın Oskar Morgenstern ile yazdığı ve klasik oyun teorisinin bugün kullandığımız formuna kavuşması için temel kaynak niteliğini taşıyan *Oyunlar ve Ekonomik Davranışlar Teorisi* (Theory of Games and Economic Behavior) kitabı, matematiksel yapıyı ortaya koymanın yanında, teorinin önemli bir parçası olan fayda teorisi ve oyun teorisinin mikro iktisadi uygulamaları hakkında bilgiler sunmaktadır. Eserin ilk baskısı önemli ölçüde, iki kişilik sıfır toplamlı oyunları açıklamakta, ikiden fazla oyuncusu olan oyunlarda kitapta yer almasına rağmen bunlar için belirli bir çözüm sunulmamaktadır. Sıfır toplamlı olmayan oyunları ise, sıfır

Oyun Teorisi, bugünkü teorik çerçevesi kapsamında detaylı olarak incelendiğinde, teorinin üzerine inşa edildiği iki temel nokta gözlerden kaçmamaktadır. Bunların birincisi teorinin gelişim sürecinde buraya kadar anlatılan ve önemi vurgulanan, Emil Borel ve Von Neumann tarafından geliştirilen minimum maksimum teoremidir. Diğeri ise, 1944 yılından sonra teorideki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan ve ünlü matematikçi John Nash tarafından geliştirilen ve bugün *Nash Dengesi* adı ile anılan denge teoremidir.

Klasik oyun teorisi, temel birkaç varsayıma dayalı olarak gelişim göstermekle beraber, bu varsayımlar çalışma kapsamında iki başlık altında incelenebilir. Birincisi bir oyunun varlığından söz edebilmek için gerekli olan varsayımlar. Diğeri ise, oyunun işleyişinde zaman içerisinde değişiklik gösterebilen Neumann ve Morgenstern (1944)'in ortaya atarak modellendirdiği, aynı zamanda sapmaları ile iki kişilik sıfır toplamı oyunların çeşitlenmesine de neden olan (Oyunun sıfır toplamı olması, tam bilgili olması, sonlu stratejili olması ve statik olması gibi) varsayımlardır.

Klasik oyun teorisinde belirtilen diğer varsayımlar sınıfında incelenebilecek olanların en önemlilerinden birisi oyundaki karar alıcının, kendisinin ve diğer oyuncuların tüm stratejilerini bilen ve *rasyonel seçim yapabilen bireyler* olmasıdır. Rasyonelliğin ve sözü edilen stratejilerin uygulanması sonucunda elde edilecek kazanç ya da kayıpların *ortak bilgi* olduğu varsayılır. Bu nedenle oyuncunun, kendisi için en iyi kazancı verecek stratejiyi seçme hedefi vardır.

Rasyonellik kelime anlamı olarak, ön bilgiye kesin güvenilirliği durumunda bireyin akıl kurallarına dayanarak ölçülü davranmasıdır (Büyük Türkçe Sözlük, 2014). Oyuncular bu rasyonellikten hareketle, daima faydalarını en iyilemek için çabalarlar. Rasyonellik, oyuna katılan tüm oyuncular açısından *ortak bilgi* olarak kabul edilir. *Ortak bilgi*, bir oyuncu tarafından bilinen bir bilginin oyundaki tüm oyuncular tarafından bilinmesi ve tüm oyuncuların bu bilgiyi tüm oyuncuların bildiğini bilmesi durumu olarak tanımlanmaktadır* (Aumann, 1976, s.1236). Ayrıca bir oyunun varlığından söz edebilmek için en önemli sınırları çizen *oyunun kurallarına* ilişkin her türlü bilgi de ortak bilgi olarak varsayılmaktadır. Bu kurallar ihlal edilirse oyuna ilişkin tüm işlem sona ermektedir (Von Neumann ve Morgenstern, 1944, s.49). Bu değerlendirme, aynı zamanda, birbirine karıştırılması mümkün olan strateji ve oyunun kuralları kavramları için önemli bir ayrımı da oluşturmaktadır.

A ve B gibi iki oyuncunun bulunduğu bir oyunda, oyuncuların S_1 ve S_2 gibi iki stratejilerinin bulunduğu varsayımı altında u_a ve u_b , oyuncuların fayda fonksiyonlarını gösterirken, stratejik biçimli gösterim Tablo 3. 1.'deki gibi olmaktadır. Böyle bir kazanç tablosunda *baskın strateji*, bir oyuncunun, diğer oyuncular hangi stratejiyi seçerse seçsinler değiştirmek istemeyeceği, en iyi faydayı sağlayan stratejisidir. Oyuncunun stratejilerinden biri diğer tüm stratejilerince elenebilir. Böyle bir durumda bu strateji hiçbir zaman seçilmeyecektir ve iki kişilik sıfır toplamlı oyunların çözümü sırasında oyundan çıkarılmasında bir sakınca yoktur. Bu strateji, baskın stratejinin tam tersi durumu ifade etmekle birlikte, *mahkûm strateji* olarak adlandırılır. Her oyuncunun kendisi için en uygun stratejileri seçeceği varsayımıyla oyun birçok kez tekrarlanırsa kaybeden tarafın kazanan tarafa ödeyeceği miktarın oyun başına düşen kısmı ise *oyun değeri* olarak adlandırılır.

* Ad infinitum: Bu döngünün, sonsuza dek uzanacağı varsayımını belirtmek için kullanılan Latince matematik terimidir.

Tablo 3. 1.
İki Oyunculu Stratejik Biçimli Oyunun Gösterimi

A Oyuncusu	B Oyuncusu		
	Stratejiler	S_1	S_2
	S_1	$u_a(S_1, S_1), u_b(S_1, S_1)$	$u_a(S_1, S_2), u_b(S_1, S_2)$
	S_2	$u_a(S_2, S_1), u_b(S_2, S_1)$	$u_a(S_2, S_2), u_b(S_2, S_2)$

Kaynak: Yılmaz, E. (2012). Oyun Teorisi. İstanbul: Literatür Yayıncılık, s.10'dan yazar tarafından uyarlanmıştır.

1950'li yıllardan sonra teoride görülen gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan yeni kavramlar o güne kadar, Von Neumann ve Morgenstern (1944) tarafından yapılan *sıfır toplamlı* ve ise *sıfır toplamlı olmayan oyunlar* sınıflandırmasına ek olarak yeni sınıflandırmaları beraberinde getirmiştir.* John Nash'in oyun teorisine en büyük katkılarından biri olarak görülen *işbirliğine dayanan* ve *işbirliğine dayanmayan oyunlar* arasındaki farkı ortaya koyması da, işbirliğine dayanan ve işbirliğine dayanmayan oyunlar olarak yeni bir sınıflandırma oluşturmuştur.

Özellikle klasik oyun teorisine ilişkin varsayımlardan kopuşun başlaması ile birlikte yeni sınıflandırmalar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan diğer bir sınıflandırma, oyunlarda oyuncuların strateji seçimlerinin birbiri ardına mı yoksa aynı anda mı yapıldığına ilişkin ayırmadan yola çıkarak yapılmıştır. Bu tür oyunlar oyuncuların stratejilerini aynı anda belirledikleri *statik oyunlar* ve oyuncuların stratejilerini bir önceki oyuncunun stratejisini gördükten sonra belirlediği *dinamik oyunlar* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Yine klasik oyun teorisi varsayımlarından tam bilginin eleştirisi üzerine yapılan çalışmaların bir sonucu olarak Harsanyi (1967) çalışmasında eksik bilgili oyunlar için mükemmel Bayesian dengesini oluşturmuştur. Çalışmada, oyuncuların oyuna ait fayda fonksiyonu, muhtemel stratejiler ve onların sonuçları gibi bazı önemli parametreler hakkında belirsizlik olan ya da bazı oyuncuların oyun hakkında diğerlerinden daha fazla

* Oyunun sonunda rakip oyunculardan kazananın toplam karı, kaybedenin toplam zararına eşitse *sıfır toplamlı*, aksi durum ise *sıfır toplamlı olmayan oyunlar* olarak adlandırılır.

bilgi sahibi olduğu durumları eksik bilgili oyunlar olarak tanımlanmıştır (Harsanyi, 1967, s.159). Buradan hareketle, zaman içerisinde *eksik bilgili* ve *tam bilgili oyunlar* olmak üzere ikiye ayrılan yeni bir sınıflandırma yapılabilir hale gelmiştir. Tam bilgili oyunlar, klasik oyun teorisinde baştan beri bir varsayım olarak bulunan ortak bilginin varlığı durumunda ortaya çıkan oyunlardır.* Oyunu eksik bilgili olması durumu özellikle dinamik oyunlarda karar aşamasında oyuncular için önemli farklara neden olmaktadır. Dinamik oyunların alt sınıflandırması olan *tekrarlanan* ve *tekrarlanmayan* oyunlarda bu fark oldukça belirginleşmektedir.

Tekrarlanan oyunlar kavramı ilk kez Luce ve Raiffa (1957)'nin kitabında tanımlanmıştır. Eğer oyun, eksik bilgili ve tekrarlanan bir oyun ise başlangıçta doğa koşulları sabittir ancak bütün oyuncular tarafından bilinmez. Oyuncular diğerleri hakkında her tekrarda yeni bilgilere sahip olmakta ve diğer oyuncuların geçmişteki eylemleri hakkında bilgisi zamanla değişmektedir (Zamir, 1992, s.110). Zaman içinde, her bir oyuncu, daha önce yarattığı istenmeyen durum (zarar) için diğer oyuncu ya da oyuncuları stratejisini değiştirerek cezalandırma şansına sahiptir (tetikleme stratejisi**). Bu nedenle de, örneğin sıfır toplamı bir oyun tekrarlı bir oyun olması durumunda uzun vadede oyunculara karşılıklı fayda sağlayabilmeyi mümkün kılmaktadır (Dixit ve Skeath, 2004, s.20). Oyuncular stratejilerinden saparak elde edecekleri gelecek karlarının bugünkü değeri ile sapmayarak elde edecekleri gelecek karlarının bugünkü değerini, bu cezalandırmayı da göz önünde bulundurarak karşılaştırırlar. Bu karşılaştırma nedeni ile tekrarlanan oyunlarda klasik oyun teorisi varsayımları gereği

* Örneğin satranç oyunu tam bilgili oyunlara örnektir. Satranç oyununda oyuncuların ardışık olarak strateji seçtiği ve diğer oyuncuların da seçiminin ne olduğunu bildiği bir ortam söz konusudur. Ayrıca oyun belli kurallara sahiptir. Bu noktada tam bilgi oyunun kuralları hakkında tam bilgili olmak anlamına gelmemektedir. Kurallar oyunun dışında belirlenir ve ortak bilgidir. Tam bilgi durumu ise, bu kurallar dâhilinde oynanan oyuna ilişkin alternatif stratejiler ve kazançlara ait bilgilerin tüm oyuncular tarafından bilinmesini ifade eder.

** Tetikleme Stratejisi: İşbirliksiz tekrarlı oynanan oyunlarda bir oyuncunun değeri işbirliksiz davranışı seçene kadar işbirlikli oynaması durumunda, ilk kez işbirliksiz davranış seçen oyuncunun bu hareketinin başından beri işbirlikli olan oyuncuyu rakibini cezalandırmak için harekete geçirmesi yani diğer anlamda tetiklemesidir. Gözlenen işbirliksiz davranışına karşı hassaslık seviyesi ve karşılığında verilen cezanın seviyesi farklı tetikleme stratejilerine göre değişmektedir (Black, Hashimzade ve Gareth, 2009).

rasyonel beklentiler içinde olan oyuncu uyumcul beklentiler* içinde olan oyuncuya dönüşmektedir. (Oligopoller ve Oyun Kuramı, 2014). Bu sebeple tekrarlanan oyun ve tekrarlanmayan oyun ayrımı da klasik oyun teorisi varsayımlarından sapmalar ile ortaya çıkan bir sınıflandırmadır.

3. 2. 3. Klasik Oyun Teorisine Yönelik Eleştiriler

Diğer bilimler ve İktisat bilimindeki neredeyse tüm teori ve uygulamalar gibi oyun teorisine de zaman içinde bir takım eleştiriler yöneltmiştir. Bu bağlamda ilk ve en önemli eleştiri teorisinin rasyonellik varsayımı üzerinedir. Oyun teorisinde rasyonellik eleştirisi temelde iktisat teorisindeki rasyonel iktisadi bireye yöneltilen eleştirilerle paralellik göstermektedir. Bu bağlamda eleştiriler aslen neoklasik iktisada yapılan rasyonel ve tam bilgili birey varsayımlarının eleştirisinin bir yansıması şeklinde gerçekleşmiştir ve ilk şekli ile Von Neumann ve Morgenstern (1944) tarafından açıklanan iki kişilik sıfır toplamli oyunlar olarak tanıdığımız klasik oyun teorisinin varsayımları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Hiçbir teorisinin doğuşu, gelişim süreci ve paralel olarak geliştirdiği düşünce akımları içinde bulunan dünyadaki durum ve gelişmelerden bağımsız olarak düşünülemeyeceği gibi klasik oyun teorisi de doğduğu ve geliştiği yılların siyasal, sosyal, ekonomik ve psikolojik ortamından bağımsız düşünülemez. Özellikle Soğuk Savaş sırasında dünya üzerindeki ülkelerin içinde bulunduğu durumlarla paralel olarak gelişen teori, yine dünyadaki çeşitli fikir akımlarına bağlı olarak değişim göstermiş, her değişim sürecinde de bir önceki kabuller için çeşitli eleştiriler yapılmıştır. Bu nedenle özellikle 60'lı ve 70'li yıllarda yani dünyada bilginin ve rasyonel davranışların sorgulandığı yıllarda rasyonel iktisadi bireye yöneltilen eleştiriler olduğu gibi, oyun teorisinin temelinde yer alan rasyonellik kavramına da eleştiriler yöneltmiştir. İktisat

* Uyumcul Beklentiler: İktisatta bireylerin içinde bulundukları döneme ilişkin tahmin ettikleri kazanç ile gerçek kazançları arasındaki farkı değerlendirerek geleceğe ilişkin yeni kazanç beklentisi oluşturmasını ifade etmektedir.

teorisi bu eleştiriye cevap olarak *sınırlı rasyonel birey** kavramını oluşturmuş ve kavram, oyun teorisyenleri tarafından da kullanılmıştır. Karar alma birimlerinin bu rasyonellik ölçüsünde nasıl davranabileceği ve bu davranışların nasıl modellenebileceği önemli bir tartışma konusu oluşturmuştur. Karar alıcı neye göre rasyonel davranmalıdır? Kendisi için en iyi olan mı yoksa kendi kararından etkilenen diğer birimleri de göz önüne alarak genel için en iyi olan mı rasyoneldir? Bu noktada teori insanlara ait değer ve inançları da analiz dışı bıraktığı için, gerçek hayatta rasyonel karar biriminin yapacağı öngörülmeleyen davranışlarla da karşılaşılması mümkündür. Ayrıca rasyonellik zamana göre de değişen bir yapıya sahip olduğu için belirli bir dönemde, belli bir topluluk için rasyonel olan davranış, zaman içinde gelişen sosyal, teknolojik ve psikolojik yapılar ile başka bir dönemde rasyonelliğini yitirebilir. Oyuncuların rasyonel olması ve stratejileri uygulama konusunda da hata yapmadıklarının varsayılması işte bu nedenlerle oyun teorisinin önemli bir eleştiri noktası olmuştur. Shapiro (1989), tüm bu rasyonellik eleştirilerine oyun teorisince farklı şekillerde kurgulanabilecek oyunlar ile cevap vermiştir. İddiası, söz konusu oyunun daha önceden nasıl oynandığı dikkate alınarak kurgulanan farklı stratejilerin davranışlarla ilgili daha fazla bilgi sunabileceğini söylemektedir. Shapiro bu çalışmasında, hocası olan Fisher (1989) in aynı yıl yapmış olduğu ve oyun teorisinin eleştirilerini içeren çalışmasına cevaben tüm sorularını ele alarak oligopol teorisini oyun teorisi ile incelemiştir.

Rasyonellik eleştirilerinin yanında yer alan tam bilgi konusuna yapılan eleştirilere yönelik ise Harsanyi (1967) çalışmasında Nash'in tam bilgili oyunlar için olan uygulamalarını eksik bilgili oyunlara adapte etmiştir. Eksik bilgili oyunu, oyuncunun diğer oyuncuların hamlelerini tanımadan kendi kararlarını aldığı tam bilgili standart oyuna dönüştürmektedir (Illing'den çev. Gültekin, 1995, s.153-154).

* Karmaşık problemlerde bireyin, bilginin işlenmesi, formülize edilmesi ve çözülmesi sürecinde kişisel deneyimleri sınırında rasyonel olmasıdır. Sınırlı rasyonellik, hem irrasyonellik hem de hiperrasyonellik karşısında söz konusu olan bir iddia olabilir.

Daha fazla bilgi için, Bknz: Simon, H.(1957). A Behavioral Model of Rational Choice. *Models of Man: Social and Rational; Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting* içinde. New York: John Wiley and Sons.

3. 2. 4. Nash Denge Teorisi ve Mahkûm İkilemi Oyunu

Nash doktora eğitimi sırasında danışmanı olan Albert W. Tucker tarafından yazılan ve bugünde oyun teorisini anlamada temel oyunlardan birisi olarak gösterilen *Mahkûm İkilemi* (Prisoner's Dilemma) oyununa ilgi göstermiştir. Temelde teoriye yapmış olduğu büyük katkılardan dolayı oyun teorisi denilince akla gelen ilk isimlerden birisi olan Nash, aslında teoriye ilişkin dört makale yayınlamıştır. Sırası ile 1950 ve 1953 yılları arasında yayınlanan bu makaleler, içerik bakımından denge teoremi, pazarlık problemleri ve işbiriksiz oyunları içermektedir (Nash, 1950a, 1950b, 1951, 1953). Örneğin, 1950 yılında yayınlanan *Pazarlık Problemi* (The Bargaining Problem) makalesi, Nash henüz Cornegie Üniversitesi'nde öğrenci iken almış olduğu seçmeli Uluslararası İktisat dersi sırasında bir fikir olarak oluşmuştur (Nash, 2007, s.7). John Nash'in çalışmalarını o güne kadar yapılan çalışmalardan ayıran en önemli özellik, oyuncuların kendi aralarında işbirliği yaptığı oyunlar ile işbirliği olmayan oyunları ayrı ayrı ele almış olmasıdır. Bu durum teoriyi gerçek hayata yakınlaştırmış ve uygulanabildiği alanları çoğaltmıştır.

Oyun teorisinde önemli bir yere sahip olan *Nash Dengesi* ilk olarak J. F. Nash'in tezinde denge noktasına ulaşmak için Brouwer'in Sabit Nokta Teoremi'nden yararlanılarak ifade edilmiştir. (Ancak Kakutani Teoremi gibi diğer sabit nokta teoremleri ile yapılan ispatlar da bizi Nash dengesine götürmektedir). Nash, bu teorem yardımı ile yaptığı ispat sonucu Nash dengesinin varlığı için temel şart olan her oyuncunun tek taraflı olarak stratejisini değiştirerek daha fazla bir çıkar sağlayamayacağı sonucuna ulaşmıştır (Nash, 1950c, s.6). Bu çalışma, Nash'i işbiriksiz her n oyunculu oyunda, en az bir Nash dengesi noktasının olduğu sonucuna götürmüştür. Bu denge bizi oyuncuların birbirlerinin stratejilerine verdiği en iyi tepki noktasına götürür. Nash dengesinde, diğer oyuncuların var olan stratejilerinde kaldığı bilindiğinde, hiçbir oyuncu stratejisini değiştirmek istemeyecektir. Bu açıdan düşünüldüğünde de Nash dengesinin durağan olduğunu söyleyebiliriz. Nash dengesinin formül sel gösterimi aşağıdaki gibidir.

Stratejik biçimli $G = \{N, (S_i), (U_i)\}$ oyununda, $i=1, \dots, n$, N = oyuncu sayısı, $S_i=i$ oyuncusuna ait stratejiler kümesi, U_i =karşılıklı seçilen strateji ikililerinden i oyuncunun

elde edeceği kazanç, olmak üzere her i oyuncusunun s_i^* stratejisi, diğer $(n-1)$ oyuncunun stratejilerine $(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$ verilecek en iyi tepki ise, $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*)$ strateji profili saf strateji Nash dengesidir. Yani; Bu durumda $s^* \in S$ strateji kümesi olmak üzere, eğer herhangi bir oyuncunun tek taraflı olarak bu stratejiden sapması daha karlı olmuyorsa *Nash Dengesi*'ni oluşturmaktadır. Bu durum Denklem 3. 1'deki ifade ile gösterilebilir.

$$\forall i \in N, \forall s_i \in S_i : U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(s_i, s_{-i}^*) \quad (\text{Yılmaz, 2012, s.22}) \quad (3.1)$$

Eğer bu eşitsizlikteki ifade, herhangi bir oyunda tüm oyuncular ve tüm olası alternatif stratejiler için $>$ olacak olursa, denge *Güçlü Baskın Nash Dengesi*, en az bir s_i^* için eşitlik olur ise, eşitliğin geçerli olduğu s_i^* *Zayıf Baskın Strateji Nash Dengesi* olarak adlandırılır (Osborne, 2000, s.31).

Bu noktada, tüm oyuncuların stratejilerini aynı anda seçtiği varsayımı altında oyuna ait Nash dengesi varsayımı göz önüne alındığında tüm oyuncuların stratejilerinin, karşısındakilerin stratejilerine verdiği en iyi tepki olması durumunun nasıl ortaya çıktığı sorusu akla gelebilir. Henüz olmamış bir şey için en iyi tepki nasıl verilir? Dixit ve Skeath (2004, s.89) eş zamanlı hareket içeren bu türden oyunlarda akla gelen bu sorunun yanıtını iki farklı metot ile açıklamıştır. İlki, deneyim ve gözlemdir. Her seferinde benzer oyuncularla benzer oyunlar oynayan oyuncuların, diğer oyuncuların stratejileri hakkında deney ve gözlemlerine dayanarak fikir oluşturması söz konusu olacaktır. Dixit ve Skeath'e göre, diğer bir yöntem ise, diğer oyuncuların düşüncelerine ilişkin mantıksal süreç üzerine düşünme, diğer bir deyişle kendini onların yerine koymadır. Gözlem veya mantıksal süreçle elde edilen bilgiyi oyun teorisyenleri sıklıkla inanç olarak adlandırırlar. Oyuncuların stratejilerine karar vermesi konusunda bahsedilen tüm bu süreçten hareket ederek, Nash dengesini oluşturan iki önemli birleşenden birincisi, oyuncuların bu inançları doğrultusunda hareket ediyor olması diğeri ise, bu inançların doğru olmasıdır (Osborne, 2000, s.22). Eğer tam bilgili bir oyundaki oyuncuların davranışlarına ilişkin inançlarımız doğrultusuna bir tahmin yapabiliyorsak, tahminimiz Nash dengesi olmalıdır. Eğer tahminimiz Nash dengesi değilse, oyunda en az bir oyuncunun beklenen kazancı, başka herhangi bir sosyal

değişim olmaksızın oyuncuyu en iyi çıkarı doğrultusunda yeniden eğiterek arttırılabilir demektir (Myerson, 1996, s.6).

Nash dengesinin gösteriminde kült bir örnek haline gelen *Mahkûm İkilemi* oyunu (Prisoner's Dilemma) ilk olarak 1950 yılında RAND bünyesinde, oyun teorisi çalışmaları yapan Merrill Flood ve Melvin Dresher'in çatışma ve işbirliği içeren oyunların modellenmesi üzerine yaptıkları deneylerle ortaya çıkmıştır. 1950 yılında ise A.W. Tucker'ın *İki Kişilik İkilem* (A Two Person Dilemma) isimli çalışmasında suçun itirafı ve alınacak ceza kavramları üzerinden kurgulanmasından sonra, zaman içerisinde yapılan çalışmalar ile sıfır toplamı olmayan oyun haline dönüşümü sağlanmıştır. Flood (1952) tarafından raporlaştırılan deneylerde mahkûm ikilemi oyunu için kullanılan temel kurgu aynı kalmak üzere, sıfır toplamı olmayan mahkûm ikilemi oyununun genel bir ifadesi mevcuttur.

Bu genel ifadenin gösterimi, $T > V > Y > Z$ ve $V > (T+Z)/2$ olmak üzere oyuncuların her biri aşağıdaki bilgilere sahipken oluşan ve Tablo 3. 2.'de verilen kazanç matrisidir.

- Eğer biri itiraf eder, diğeri etmezse; itiraf edene Z birim, diğesine T birim ceza verilecektir.

- Eğer ikisi de itiraf ederse, her biri V birim ceza alacaktır.

- Eğer ikisi de itiraf etmezse, ikisi de Y birim ceza alacaktır.

Kazanç matrisi incelendiğinde, öncelikli olarak oyunun sıfır toplamı olmayan iki oyunculu bir oyun olduğu görülmektedir. Matris içerisindeki değerlerden ilk notasyon A oyuncusunun, ikincisi ise B oyuncusunun kazancını göstermektedir. A oyuncusu açısından düşünüldüğünde, eğer B oyuncusunun itiraf edeceğini düşünüyorsa, T birim ceza almaktansa V birim ceza almayı tercih edeceği için en iyi stratejisi itiraf et olacaktır ($T > V$). B oyuncusunun itiraf etmemeyi tercih edeceğini düşünüyorsa, yine en iyi stratejisi itiraf etmek olacaktır. Çünkü Z birim ceza almayı, Y birim ceza almaya tercih edecektir ($Y > Z$). B oyuncusu da rasyonellik varsayımı altında hem kendisi hem de A oyuncusunun tercihlerini göz önünde bulundurduğunda itiraf et stratejisinin

kendisi için en iyi strateji olduğunu görecektir. Çünkü oyuncuların birbirine göre aynı konumda olması ve bu nedenle karşısındaki gibi düşünerek aynı şekilde karar vermesi yani oyunun simetrik olması söz konusudur. Bu durumda oyunun Nash dengesi, itiraf et-itiraf et strateji ikilisinde oluşacak ve oyunculardan her biri $V > Y$ olmasına rağmen V birim ceza alacaklardır.

Tablo 3. 2.
Mahkûm İkilemi Oyununun Kazanç Matrisi Gösterimi

A	B		
		İtiraf et	İtiraf etme
	İtiraf et	V,V	Z,T
	İtiraf etme	T, Z	Y,Y

Tablo 3. 2.'de verilen kazanç matrisi incelendiğinde, oyuncuların rasyonel hareket ederek vardıkları itiraf et-itiraf et Nash dengesi durumunda aldıkları cezanın rasyonel olmayan diğer durumlarda alacakları cezadan her zaman daha iyi olmadığı görülmektedir. Yani eğer oyuncuların iletişim sağlama imkânı bulursa, daha az ceza alacakları itiraf etme-itiraf etme stratejisini seçme yönünde bir anlaşma yaparak daha az ceza almaları mümkündür. Oyunun oluşu ve çözümü itibarıyla olabilecek farklılıklarla (oluş aşamasında mahkûmların iletişim imkânının bulunması ve çözüm aşamasında bu iletişimden kaynaklı olarak daha az cezayı veren dengenin tercih edilmesi gibi) oluşan bu durum oyunda işbirliğinin var olması anlamına gelir. Oyuncular oyun sırasında iletişim imkânı buluyorsa işbirlikçi yönde hareket etmeleri her ikisinin de çıkarına olduğunda, yüksek ihtimal içerir. Ancak, oyuncular arasında herhangi bir iletişim imkânı yoksa itiraf et-itiraf et stratejisi, itiraf etme-itiraf etme stratejisine baskındır. Bu anlamda, mahkûm ikilemi oyunu birden fazla Nash dengesinin ve çatışma ve işbirliğinin aynı anda bulunduğu oyun örneğidir. Yukarıdaki örnekte mahkûmların itiraf et-itiraf et stratejisini kullanması, daha az cezaya çarptırılacakları bir stratejinin var

olması nedeniyle Pareto etkin olmayan* denge olarak adlandırılır. Yukarıdaki tüm açıklamalar göz önüne alındığında mahkûm ikilemi oyununun simetrik, sıfır toplam ve Pareto etkin olmayan, çatışma ve işbirliğini bünyesinde barındıran birden fazla Nash dengesinin bulunduğu bir oyun örneği olduğu söylenebilir.

Mahkûm ikileminden yola çıkılarak, zaman içerisinde teoride her biri farklı durumları temsil eden Cinsiyetler Savaşı, Geyik Avı, Duopol Oyunu, Tavuk Oyunu, Koordinasyon Oyunu ve Eşleşen Paralar Oyunları ortaya çıkmıştır**.

Nash dengesi aşağıda bulunan durumlar baş gösterdiğinde oluşmamaktadır.

- Sınırsız strateji uzayı olması durumu
- Açık strateji kümesi olması durumunda (her zaman daha iyi bir seçenek olacaktır)
- Kesikli strateji uzayı (oyuncunun kesikler arasında bir tercihi söz konusu olamayacaktır, stratejiler kümesi konveks değildir)
- Sürekli olmayan tepki fonksiyonlarının varlığı (dengenin oluşabilmesi için tepki fonksiyonlarının birbirini kesmesi gerekir, sürekli olmayan tepki fonksiyonlarının birbirlerini kesmeme ihtimali söz konusudur) (Yılmaz, 2012, s.60-61).

* Pareto etkin denge: Pareto kelime olarak iyileştirme anlamına gelmektedir. Oyuncunun, pareto etkin denge noktasındayken strateji değiştirerek kazancını, diğer oyuncuların kazancını azaltmaksızın arttıramayacağını belirten iktisadi terimdir. Denge noktasının Pareto etkin olmaması, oyunculardan birinin böyle bir noktadayken strateji değiştirerek, kazancını diğer oyuncuların da kazancını azaltmaksızın arttırabileceğini gösterir.

** Sözü edilen oyunlara ilişkin daha fazla bilgi için, Bknz: Yılmaz, E. (2012). *Oyun Teorisi*. İstanbul: Literatür Yayıncılık. Kısaca Cinsiyetler Savaşı, Mahkûm İkilemi oyununa benzeyen ve ondan türeyen pareto etkin oyun örneği, Geyik Avı, çatışmanın olmadığı oyun örneği, Koordinasyon Oyunu, risk içeren oyun örneği, Tavuk Oyunu, koordinasyonlu şekilde hareket edilen oyunların bir anlamda tam tersi yönlü hareket etmeyi gerektiren anti-koordinasyon oyunu, Eşleşen paralar oyunu ise, oyuncuların çıkarlarının tamamen zıt olduğu, saf strateji Nash dengesi bulunmayan ve durağan olmayan, sıfır toplam, pareto etkin oyun örneğidir.

3. 3. Yeni Heterodoks İktisat Bağlamında Evrimsel Oyun Teorisi

Klasik oyun teorisi varsayımlarına yapılan eleştirel çalışmalar neticesinde şekil değiştirirken, diğer yandan da bu süreçten bağımsız olarak yaşanan bilimler arası etkileşimlerin artması süreci biyolojideki evrim düşüncesinin klasik oyun teorisine uyarlanması ile evrimsel oyun teorisi doğmuştur. Oyun teorisine evrim düşüncesinin girmesi ile en temel eleştiri kaynakları olan rasyonel ve tam bilgili oyunculara o güne kadar sunulmuş çözüm alternatiflerinden farklı olarak evrimsel düşünceden kaynak alan bir alternatif yaratmıştır. Bu alternatifin temellerinin farklı bir bilime dayanması evrimsel oyun teorisinin günümüzde yeni heterodoks iktisat okulları içinde görülmesini sağlamıştır. Bu yönüyle bu bölümün bir üst başlığını da vurgulayan yeni heterodoks iktisat bağlamında oyun teorisini yeniden anlamlandırmak evrimsel oyun teorisi ile mümkündür.

Bu noktada, devam eden bölümde öncelikle ele alınacak olan evrimsel oyun teorisinin tarihsel gelişim süreci, evrimsel oyun teorisinin yeni heterodoks iktisat düşüncesine paralel bağlamda nasıl geliştiğini ortaya koyacaktır. Daha sonra incelenecek; evrimsel oyun teorisinin yapısı, eleştirileri ve denge kavramını ifade eden evrimsel kararlı stratejileri ise yeni heterodoks iktisadın oyun teorisini evrimsel bir düzemde yeniden nasıl anlamlandırmış olduğunu ortaya koymuş olacaktır.

3. 3. 1. Evrimsel Oyun Teorisinin Tarihsel Gelişim Süreci

Evrimsel oyun teorisi temelde biyoloji alanındaki evrim düşüncesinin klasik oyun teorisinin varsayımlara yapılan eleştirilerle birleşerek oyun teorisine eklenmesi ile ortaya çıkmıştır. Klasik oyun teorisinin temelinde var olan ve eleştirin kaynağı olan ortodoks iktisat anlayışına ilişkin varsayımların, evrim teorisi aracılığı ile reddedilerek yeni bir yapı inşa edilmesi sonucunda bugünkü halini almıştır. Evrimsel oyun teorisi alan yazında, iktisat bilimi dışında birçok farklı bilim dalında kullanıldığı gibi yeni heterodoks iktisadın hesaplanabilir yöntemleri dâhilinde de kendine yer bulmuştur. Evrimsel oyun teorisyenleri teoriyi klasik oyun teorisinin varsayımlarının reddiyesi olması açısından önemli bulurken, heterodoks iktisat alanında ise dolaylı yoldan

temellerini diğer bilimlerden alarak gelişim gösteren yeni heterodoks iktisat okulunun ortaya çıkmasını sağlaması bağlamında önemli bulunmaktadır.

Bu anlamda evrimsel oyun teorisinin, klasik oyun teorisinden en büyük farkı öncelikle biyoloji alanındaki evrim düşüncesini oyun teorisine uyarlaması olmasına rağmen, araştırmacılar önceliği klasik oyun teorisi varsayımlarını kabul etmemiş olmasına vermektedir. Buradan hareketle, klasik oyun teorisinin üzerine kurulduğu yapı içindeki en önemli konular olan rasyonel bireyler ve tam bilgi kavramlarına yönelik eleştiriler dikkat çeken çalışma konuları olmuştur. Soytaş (2002) çalışmasında, evrimsel oyun teorisinin amacının rasyonel davranış varsayımına çözüm bulmak olduğunu öne sürerek, Weibull (1995) 'un evrimsel oyun teorisinin standart oyun teorisinin alternatifi değil tamamlayıcısı olarak görülmesi gerektiği görüşünü savunmaktadır. Bu noktadan yola çıkarak evrimsel oyun teorisini klasik oyun teorisinden ayıran en temel noktanın klasik oyun teorisinin rasyonellik varsayımını reddetmesi olduğu söylenebilir.

John Nash, bireylerin kendi çıkarlarını göz etmesi noktasında rasyonellik davranacaklarını varsayarak, böyle bir durumda ortaya çıkacak denge noktalarından söz etmiştir. Evrimsel oyun teorisi ise, dengenin nerede ortaya çıkacağını yanı sıra bu dengeye ulaşılması için var olan etkenlerin araştırılmasını da bünyesinde barındırdığı bir takım araçları kullanarak gerçekleştirmektedir. Bu noktada bireylerin sınırlı rasyonel olduğu varsayımını benimsediği için Nash dengesini sağlayan denge noktaları evrimsel oyun teorisi çerçevesinde incelendiğinde, her zaman denge durumuna karşılık gelen evrimsel kararlılık söz konusu olmayabilir.

Evrimsel oyun teorisi ilk olarak Fisher (1930)'in *Doğal Seçilimin Genetik Teorisi* (The Genetic Theory of Natural Selection) isimli eserinde ortaya atılmıştır. Fisher o yıllarda her ne kadar adına oyun teorisi demiş olmasa da, iddia ettiği sav aslında oyun teorik bir yapı üzerinde şekillenmektedir. Bu noktadan sonra evrimsel oyun teorisi terimsel anlamda, evrim teorisi içerisinde tanımlanıp anlam kazanmış gen, mutasyon, doğal seçim, istila, kopyalama(kalıtım) gibi kavramları oyun teorik bir çerçevede yeniden yorumlamıştır.

Biyolojik anlamda *gen*, Johannsen (1909) tarafından, organizmanın hücre çekirdeğinde tanımlı, açık ve ayrı dolayısıyla da bağımsız olan özel durumlar, temeller ve belirleyiciler gibi birçok karakteristik özelliği olarak tanımlanmıştır. Genin barındırdığı bu özellikler organizmaların gelecek nesillere aktaracağı kalıtsal bilgileri de içermektedir (Aktaran; Holdrege, 2005, s.15). Bu noktadan yola çıkarak Fisher (1930)'in eserinde değinilen doğal seçilimi, Darwin (1859)'in *Türlerin Kökeni* (On the Origin of Species) isimli ünlü eserinde bahsettiği '*en uygunun yaşamda kalması*' düşüncesinden yola çıkarak, yeniden yorumlamıştır. Bunun sonucunda *doğal seçim*, genlerin tüm etkenlere karşı daha dayanıklı olmasının hayatta kalmaları olasılıklarını yükseltmesi, hayatta kalma olasılığı artan genin üreme olasılığı da söz konusu olacağından, çevre koşullarına karşı dayanıklı olan bu genlerin özelliklerinin kalıtım yoluyla yeni gelen nesillere aktarılması olarak tanımlanmaktadır.

Doğal seçim sürecinde çevreye uyum sağlayamayan genler zaman içinde yok olurken, bu süreçte başarılı olan genler tarafından üremeye devam edeceğinden, başarılı olan genin özellikleri kalıtım yolu ile gelecek nesillere aktarılacak, böylece genin ait olduğu tür için yaygın hale gelecektir. Bu durum başarılı olan genin türü istila etmesi, başarısız genlerin ise istilaya uğraması şeklinde adlandırılır. Bununla beraber bu genler, belirli olasılıkla değişime uğrama durumunu da gösterebilirler. Bu değişime genin mutasyona uğraması adı verilirken, mutasyona uğrayan gene de *mutant gen* ismi verilir. Mutasyona uğrayan gen ileride de bahsedileceği üzere çevre koşullarına karşı o güne kadar var olan yerleşik genlere göre uyum sağlamada yetersiz kalıyorsa, yok olma durumu söz konusu olabileceği gibi daha fazla uyum gösteriyorsa, zaman içinde yerleşik genin yerini de alabilir.

1961 yılında, R. C. Lewontin çalışmasında, doğada türlerin yok olma olasılığını en küçükleyen stratejiyi ararken ilk kez bunu doğaya karşı bir oyun olarak resmetmektedir. Daha sonra 1967 yılında Hamilton, *yenilemez strateji* kavramı ile ilk kez oyun teorisi kavramını bu çerçevede kullanmıştır (Maynard Smith, 1982, s.2). 1973'de ise John Maynard Smith ve George Robert Price, Hamilton (1967)'in yenilmez stratejileri ile temelde aynı olan *evrimsel kararlı stratejiler* kavramını geliştirmişlerdir. Daha sonra Maynard Smith (1982) *Evrimsel ve Oyunlar Teorisi* (Evolution and the Theory

of Games) isimli eserindeki, Nash dengesinin evrimsel oyun teorisindeki karşılığı olan evrimsel kararlı stratejiler üzerine düşünceleri ile teorinin tekrar canlanmasını sağlamıştır. Smith (1982)'e göre çevre koşullarına daha az uyum sağlayan genin istilacı konuma gelmesi doğal seçim sayesinde engellenir ve bu durum da dolaylı yoldan bir genin devamlılığını sağlamasının diğer genlerin çevre şartlarına uyum seviyesine de bağlı olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır. Bu yönüyle evrimsel kararlı bir strateji aynı zamanda herkes için en iyi sonuca gitme amacına yönelik olarak herkesin ortak olarak benimsediği strateji olma özelliğini taşır.

John Nash oyunun sonucunun oyundaki herkese bağlı olduğunu savunan ve bu yönüyle işbirlikli oyun kavramını geliştiren görüşü, bencil davranışın bireyleri olabileceğinden daha az kazanca götüreceğini belirtmiştir. Ancak Maynard Smith (1982) çevre koşullarına daha az uyum sağlayan genin istilacı konuma gelmesinin doğal seçim sayesinde engelleneceğini belirtmektedir. Bu nedenle evrimsel kararlı stratejiler üzerine görüşlerin tartışıldığı dönemde rasyonelliğin her zaman geçerli olup olmadığını ve bireylerin her zaman bencil davranışta olması ihtimali tekrar tartışılmaya başlanmıştır. İlgili yıllarda, özellikle evrimsel biyoloji alanında yapılan bilimsel çalışmalar sonucu, 1976 yılında Richard Dawkins tarafından kaleme alınan *Gen Bencilidir* (The Selfish Gene) isimli kitap ile oyuncuların işbirliğine ilişkin görüşlerde de farklılaşmalar meydana gelmiştir. Dawkins' in Bencil Gen Teorisi, özellikle mahkûm ikilemi gibi oyunlarda bireysel kazancı en iyileme ile toplumsal kazancı en iyileme amaçları arasında strateji seçimlerinin değişmesine neden olabilecek önemli bir fark yaratmaktadır (Dawkins, 1976, s.27).

İşbirliği üzerine değişen bu düşüncelerin bir eseri olarak devam eden yıllarda, Axelrod (1984) ünlü eseri *İşbirliğinin Evrimi*'ni (The Evolution of Cooperation) yayımlamış, böylece teoriye yapmış olduğu katkılarla, evrimsel oyun teorisinin sosyal bilimciler ve özelliklede iktisatçıların ilgisini çekmesini sağlamıştır (McKenzie, 2009).

Axelrod (1984), özellikle çalışmasından önceki yıllarda popüler olan bencillerin dünyasında işbirliğinin nasıl olacağına ilişkin düşüncesini: *Benciller dünyasında en iyi strateji nedir?* sorusundan yola çıkarak yapmış olduğu bilgisayar turnuvası yolu ile açıklamaya çalışmıştır. Bu amaçla gerek psikoloji, gerekse ekonomi

gibi birçok önemli sosyal sürecin oyun teorik olarak modellenmesinde işbirliğine dair birçok ilişkiyi açıklamada başarılı bulunan Mahkûm İkilemi oyunu ile yola çıkmıştır (Axelrod, 1984, s.28).

Axelrod (1984)'un kitabı, yaptığı bilgisayar turnuvası sonucu elde ettiği sonuca dayalı olarak evrimsel oyunlar için en iyi sonucu verdiği düşünülen *Tit-for-tat* (kısasa kısas) stratejisinin gözler önüne sermektedir. Bunun yanı sıra Smith (1982)'in evrimsel kararlı stratejiler kavramına karşılık gelen ancak içerisinde kendisine has bir takım özelliklerle farklılaşan *kolektif kararlı stratejiler* kavramını kazandırmasıyla da dikkat çekmektedir. İlerleyen bölümde detaylı olarak anlatılacak olan ve genel kabul gören evrimsel kararlı stratejiyi mutasyona uğramış hiçbir stratejinin yenemeyeceği (istila edemeyeceği) tanımlaması dâhilinde Axelrod ve Maynard Smith'in bu iki kavramı birbirine karşılık gelmektedir. Ancak oyuncular kümesine yeni eklenen ve o zamana kadar olan kazançlardan daha yüksek kazancı sağlayan mutasyona uğramış istilacı stratejiye sahip oyuncunun, diğer oyuncularla olan ilişkilerinden elde edeceği kazançların hesaplanması konusunda farklılık göstererek birbirinden ayırmaktadır.

Özellikle, Axelrod (1984)'un evrimsel oyun teorisine dair en iyi sonucu veren stratejiyi araştırmaya ilişkin çalışmasından sonra biyoloji, psikoloji, siyaset bilimi, matematik, sosyoloji gibi alanlarda evrimsel oyun teorisine ilişkin uygulamalarda artış gözlemlenmektedir. Bununla beraber iktisadi alanda da evrimsel oyun teorisine ilişkin çalışmaların devam eden yıllarda gelişim gösterdiği gözlemlenmektedir. Özellikle; Cowan ve Miller (1990), Binmore ve Samuelson (1991), Friedman (1991, 1998), Samuelson ve Zhang (1992), Fudenberg ve Kreps (1993), Björnerstedt ve Weibull (1993), Vega-Redondo (1996), Gintis (2000) ve Alexander (2007) çalışmalarıyla evrimsel oyun teorisini çeşitli yönleriyle iktisat bilimine adapte etmişlerdir. Weibull (1995)'un çalışması ise, o güne kadar teori üzerine üretilen kavram ve uygulamaları sistematik bir dille aktarması açısından alan yazında önemli bir yer edinmiş, özellikle iktisadi alanda teorinin uygulayıcıları için zaman içinde temel bir kaynak niteliği kazanmıştır.

3. 3. 2. Evrimsel Oyun Teorisi

Friedman (1998) tarafından evrimsel oyun, zaman içindeki stratejik davranışların herhangi bir resmi modeli olarak tanımlanmış ve temelde üç önemli özelliğinden bahsedilmiştir.

a) Yüksek kazanç stratejileri düşük kazanç stratejilerine zaman içinde galip gelir. Burada elemine edilen genleri düşük kazançlı stratejiler temsil etmektedir. Yüksek kazançlı stratejiler ise her zaman tercih edileceklerinden, zaman içinde popülasyonu (oyuncular kümesini) istila edeceklerdir. Bu özellik tam olarak, *en güçlünün hayatta kalması* (survival of the fittest) şeklinde adlandırılmaktadır ve biyolojideki karşılığı Fisher (1930) 'in çalışmasında da ele alınan *doğal seçilimdir*.

b) Oyunda durağanlık mevcuttur. Toplum davranışları birden bire değişmez bu da evrimsel değişikliklerin devrimsel değişikliklerden ayrılacağını gösterir.

c) Oyuncular sistematik olarak diğer oyuncuların gelecekteki davranışlarını etki altında bırakmaya çalışmazlar. Yani oyunun doğa koşullarına karşı oynandığı düşünüldüğünde, bu durum evrimsel oyunları tekrarlı oyunlardan tetikleme stratejisi ile ayırır (Friedman, 1998, s.16).

Sayılan bu özellikler, bir evrimsel oyunun varlığından söz edilebilmesi için gereken özelliklerdir. Bunun yanında temelde evrimsel oyun teorisi, klasik oyun teorisinin yapısını kullanmakla beraber, evrim teorisinin bazı varsayım ve kavramlarını klasik oyun teorisi üzerinden kurgulayarak ortaya çıkarmıştır.

Evrimsel düşüncesinin klasik oyun teorisine uyarlanması sürecine baktığımızda öncelikle biyolojik uygulamalarda yer alan miyopluk, tesadüfi eşleşme ve genetik geçirgenlik varsayımlarının iktisadi uygulamalara aktarıldığı görülmektedir. Bu varsayımlardan arasından evrim mekanizmasının işlemlerini sağlayan genetik geçirgenlik her ne kadar iktisatçılarca kullanılmış olsa da, temelde iktisatta uzun dönemini simgeleyen 10 yıllık süre insan gen havuzunda genetik geçirgenlik gözlenemeyecek kadar kısa bir süredir. Ancak genetik geçirgenlik iktisatçıların kullandığı evrimsel oyun teorisindeki tek evrimsel etken değildir. Farklı tipteki iktisadi

davranışları olan ajanların oyuna girip çıkması, bu farklı tipteki ajanlar arasında her seferinde kaynak dağılımının tekrar yapılması ve ajanların şahsi davranışlarını o zamana kadar öğrenme veya taklit etme yolları ile biriktirdikleri deneyimler doğrultusunda değiştirebilmesi diğer evrimsel etkenlerdir (Friedman, 1998, s.17).

Benzer şekilde evrimsel biyolojide üç temel mekanizma olan doğal seçim, kopyalanma (kalıtım) ve mutasyon da evrimsel oyun teorisinin iktisadi uygulamaları çerçevesinde yeniden uyarlanmıştır. Bu amaçla, doğal seçilimin oyun teorisi çerçevesince yorumu kazançlara dayandırılırken, oyuncuların görece düşük kazançlar içinden tercihen yüksek olanı seçmesi durumunu ifade etmektedir. Kalıtım mekanizması ise yine aynı çerçevede, oyuncular tarafından seçilen stratejilerin gelecek kuşaklara gerektiği gibi aktarılabilmesidir. Mutasyon ise, bir yönüyle doğal seçim ve kalıtım mekanizmalarının birlikte çalışması sonucunda ortaya çıkacak sistemin çeşitliliği azaltma eğiliminin önüne geçmektedir. Mutasyona uğramış stratejilerin olası yüksek getirisi varlığını devam ettirmesine, bu ise farklı stratejilerin ebedi varlığının garanti altına alınmasına neden olmaktadır (Izquierdo, Izquierdo ve Vega-Redondo, 2012, s.1784).

Doğal seçim, kalıtım ve mutasyon mekanizmaları, evrimsel oyun teorisinin iktisadi modellerinde iki farklı evrimsel oyun modelinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunlardan ilki bu süreç içinde herhangi bir stratejinin evrimsel anlamda kararlı olup olmadığını ve bu kararlılığın sürekliliğini kontrol eden statik modellerdir. Statik modeller stratejilerin başka stratejilerce istila edilip edilemeyeceğini, buradan da dolaylı olarak tüm sistemin evrimsel kararlı olup olmadığını incelerken, dinamik modeller ise bu üç mekanizmayı bir arada ele alarak, evrimsel kararlı stratejilerin nasıl ortaya çıktığını, *replikatör* (çoğalma) ve *öğrenme dinamikleri* ile açıklamaktadır.

Bu araçlardan ilki olan replikatör dinamikleri, Taylor ve Jonker (1978)'in replikatör denkleminde yola çıkılarak evrimsel oyun teorisine uyarlanmıştır. Bireylerin sonlu bir kümede saf stratejilerle oynayacağı varsayımı altında, oyuncular kümesinin ortalama kazancından daha fazla kazanç sağlayan stratejilerin kullanımının hızlı bir artış göstermesidir. Bunun bir sonucu olarak replikatör dinamiklerinin sabit noktası, oyuncular kümesinin artık genişlemeyeceği noktada oluşur ve sifıra eşittir (Webb, 2007,

s.165-167). Sonuç olarak replikatör dinamikleri altında incelendiğinde evrimsel kararlı stratejiler aynı zamanda evrimsel dengeyi ifade eder ve yeni katılacak küçük ölçekte hiçbir istilacı oyuncu kümesi bu denge noktasından uzaklaştıramaz (Fisher ve Kakkar, 2004).

Sözü edilen bir diğer araç olan öğrenme dinamikleri, öğrenme yöntemleri* adı altında bugün oyun teorisinin yeni bir alanı olan *Learning Game Theory* (Öğrenimci Oyun Teorisi) kapsamında incelenmektedir**. Bu alan, ajanların oyun sırasındaki stratejilerini etkileyecek birikimin elde edilmesine ilişkin çeşitli teorilerden mürekkep olmakla birlikte bu tez kapsamında ele alınmayacaktır.

Biyolojideki evrim düşüncesinin yukarıda sayılan kavram ve varsayımlarını uyarlayarak ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi, bunu yaparken sözü edildiği gibi eş zamanlı olarak klasik oyun teorisinin temel varsayımlarını da reddetmektedir. Bu sebeple klasik oyun teorisinin varsayımlarının eleştirisi olarak ortaya çıkan ancak evrim düşüncesi içermeyen çalışmalarla da benzerlik gösterdiği konular bulunmaktadır. Söz konusu benzerlikler en çok klasik oyun teorisi kapsamında ele alınan tekrarlı oyunlarda karşımıza çıkmaktadır. Evrimsel oyun teorisinde de evrim düşüncesinin doğası gereği benzer şekilde oyunun birden fazla oynanması söz konusudur. Tekrarlı oyun ve evrimsel oyun yapısındaki bu temel benzerliğin, karışıklığa neden olmaması için evrimsel oyun teorisine ait bir takım farklılıkların altını çizmekte fayda bulunmaktadır.

Sözü edilen farklardan ilki, tekrarlı oyunların da öğrenmeyi barındırması nedeniyle, öğrenme konusu üzerinedir. Bu noktada tekrarlı oyunlar, oyuncuların her oyunda geçmişten öğrendiklerini modele eklemesi anlamında öğrenme kavramına oldukça geniş anlamda yer vermektedirler. Ancak klasik oyun teorisinin varsayımları

* Daha fazla bilgi için, Bknz: Kalai, E. ve E. Lehrer. (1993). Rational Learning Leads to Nash Equilibrium. *Econometrica*. 61.5, 1019-1045.

Kandori M., G.J. Mailath ve R. Rob. (1993). Learning, Mutation and Long Run Equilibria in Games. *Econometrica*. 61.1, 29-56.

Ellison, G. (1993). Learning, Local Interaction and Coordination. *Econometrica*. 61.5, 1047-1071.

** Izquierdo, L.R., S.S. Izquierdo ve F. Vega-Redondo. (2012). Learning and Evolutionary Game Theory. N.M.Seel (Ed.). *Encyclopedia of the Sciences of Learning Part 12*. 1782-1788. New York: Springer

gereği ortak bilgi söz konusu olduğundan, geçmişten gelen bu bilginin analizi yine ortak bilgi olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu varsayım rasyonel beklentilerden ziyade, uyumcul beklentilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Evrimsel oyun teorisi kapsamında dinamik oyunlar başlığı altında yer alan öğrenme kavramı ise, sınırlı rasyonel birey ve ortak bilgi varsayımının yer almaması nedeniyle farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma sınırlı rasyonel bireyin, geçmişteki oyunlarının sadece sınırlı bir kısmını hatırlayabilmesi ve sadece belirli sayıdaki oyuna ilişkin bilgiyi hafızasında tutabilmesi anlamında kendini gösterirken, hata yapmaya elverişli bireylerin ortaya çıkmasına da neden olmaktadır. Bu hatalar evrimsel yaklaşımda mutasyon olarak adlandırılıp, sisteme dâhil edilirler (Aydınolat, 2011).

Ayrıca evrimsel oyun teorisinde, stratejiler oyunun geçmişinde zamanın tüm noktalarındaki olası karşılaşmalara istinaden bulunulan hareketler olarak tanımlandığından, şimdiki cezalandırmayı içerirken, tekrarlı oyunlar ise işbirliğini sürdürmek adına gelecekteki cezalandırmayı içerir. Friedman (1998)'ın da çalışmasında belirttiği evrimsel oyun modellerinin üç özelliğinden biri olan, oyuncuların birbirlerinin gelecekteki davranışlarını etki altında bırakmaya çalışmalarının bir başka ifadesidir. Friedman bu bağlamda, tekrarlı oyunlardaki gelecekteki cezalandırma ile işbirliğini sürdürmenin tetikleme stratejileri ile mümkün olduğunu belirtmiştir. Bu durum tekrarlı oyunlar ile evrimsel oyunlar arasındaki ikinci önemli farktır.

Evrimsel oyun teorisi ile tekrarlı oyunlar arasındaki farklara ilişkin bir diğer nokta ise kazançların hesaplanması konusunda kendisini göstermektedir. Evrimsel oyun teorisi strateji seçim sürecini oyunun tekrarlanma sıklığı içerisinde artan kazançları garanti edecek şekilde ayarlamakta iken, tekrarlı oyunlarda strateji oyun başlamadan hazırlanmış olası planlardan ibarettir (McGinty, 2010, s.253).

3. 3. 3. Evrimsel Oyun Teorisine Yönelik Eleştiriler

Klasik oyun teorisinin varsayımlarının eleştirilmesi ve bilimler arası etkileşimlerin artması sonucunda biyolojideki evrim düşüncesinin oyun teorisine adapte edilmesi ile ortaya çıkan evrimsel oyun teorisi, doğası gereği zaten var olan bir teorinin eleştirisi olarak ortaya çıkmıştır. Ancak bu durum, zaman zaman bazı yönlerinin

eleştirilmesine engel olamamıştır. Bu anlamda eleştiriler evrimci yaklaşımın ortaya çıkışında en güçlü yönü olan rasyonellik varsayımına ihtiyaç duymaması üzerine yoğunlaşmaktadır. Evrimci yaklaşıma göre oyuncular, örneğin ortalamaya göre hareket etmek gibi belirli stratejilere programlıdır. Denge noktaları ise bu ayarlanma sürecinde ortaya çıkan olası durağan noktalar olarak tanımlanır. Ancak bu durum, oyuncuların rasyonelliği varsayımı fazlasıyla göz ardı ettiği için, onları toplumun normlarına göre hareket eden edilgen yapılar olarak tanımlaması açısından eleştirilmektedir (Yılmaz, 2012, s.71).

Ancak yine de zayıf rasyonellik varsayımı söz konusu olduğunda evrimsel oyun teorisinin insan davranışlarını tanımlama ve tahminleme konusunda daha iyi bir kurguya sahip olması, klasik oyun teorisine göre çok daha başarılı sonuçlara ulaşabilmesini sağlamaktadır (The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2009). Aydınonat (2011) çalışmasında bu düşünceyi destekler nitelikte, zayıf rasyonelliğe sahip bireylerin daha başarılı olmak için hem geçmiş bilgiyi hem de ipuçlarını kullanacağından daha kolay çözüm yolları bulabileceğini belirtmektedir. Böylece kısıtlı rasyonelliğe sahip birey, bunu aşmak için çaba sarf etmesi ile kısıtlı rasyonelliği avantaja çevirme imkânına sahiptir. Bunun yanı sıra, evrimsel oyun teorisinde bireylerin benzer problemi başarıyla çözenleri dikkate alarak taklit ve öğrenme yoluyla üretilmiş çözümleri karşılaştıkları probleme uyarlayabilecekleri de iddia edilmektedir. Böylece gerçek insanın, klasik oyun teorisinde söz konusu olan rasyonel bireye göre daha başarılı olması söz konusu olacaktır.

3. 3. 4. Evrimsel Kararlı Stratejiler

Evrimsel Oyun teorisinin temel kavramı olan *evrimsel kararlı stratejiler* (ESS) Maynard Smith ve Price (1973) tarafından *biyolojik anlamda, popülasyon üyelerinin çoğunluğunun benimsediği stratejiden daha yüksek üretkenlikte seçim değerini veren mutasyon stratejisi yoksa benimsenen strateji evrimsel kararlı stratejidir* şeklinde tanımlamaktadırlar. Bu bağlamda, bir stratejini evrimsel kararlı strateji olabilmesi için iki temel koşul özetlemektedirler. Bu koşullar aynı eserde aşağıdaki gibi belirtilmiştir;

$I \neq J$ ve $U(J,I)$, I stratejisine karşı oynanan J stratejisinin beklenen kazancını ifade etmek üzere, I stratejisinin evrimsel kararlı strateji olabilmesi için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

$$1. \quad U(I,I) > U(J,I)$$

$$2. \quad U(I,I) = U(J,I) \text{ ve } U(I,J) > U(J,J) \text{ (Maynard Smith ve Price, 1973, s.17)}$$

Burada 1 numaralı koşul Nash dengesini ifade eder. 2. koşul ise kararlılık stratejisi olarak, J stratejisinin I karşısında yansız iken, I stratejisinin J karşısında her zaman daha avantajlı olduğunu belirtmektedir.

Weibull (1995) çalışmasında, Maynard Smith ve Price (1973)'ın bir stratejinin evrimsel kararlı strateji olması için gerekli koşullarına denk genel bir tanımlama yapmaktadır. Bu tanımlamayı yapabilmek adına öncelikli olarak bazı varsayımlarda bulunmaktadır. Bu varsayımlar oyunun iki oyunculu simetrik bir oyun olduğu, büyük bir popülasyonun var olduğu, bu büyük popülasyonda her bireyin belirli bir stratejiyi oynamaya programlanmış olduğu ve içinde mutasyona (değişim) uğrayan küçük bir popülasyonun yer alacağıdır. Bunun yanı sıra oyuna dair, oyuncuların tesadüfi çiftler halinde eşleşeceği, oyunun tekrarlı ve statik olacağı, söz edilen stratejilerin saf strateji olabileceği gibi karma stratejiler de olabileceği varsayımları da mevcuttur (Weibull, 1995, s.35-38)

Verilen varsayımlar altında, büyük bir popülasyon tarafından benimsenen strateji I , popülasyon içinde mutasyon geçirmiş küçük bir grubun stratejisi ise J iken, mutasyon geçiren grubun tüm popülasyon içindeki oranının ε olduğunu düşünelim. Böylece popülasyonda mutasyona uğramayan kısmın oranı $1-\varepsilon$ olacaktır. Popülasyondaki tüm bireyler eşit olasılıkla diğerleri ile eşleşecektir. Bu durumda ortalama kazanç fonksiyonu $w = \varepsilon J + (1-\varepsilon)I$ olacaktır. Böylece Denklem 3. 2'deki koşulu sağlayan I stratejisi, evrimsel kararlı strateji olacaktır.

$$U[I, \varepsilon J + (1-\varepsilon) I] > U[J, \varepsilon J + (1-\varepsilon) I] \quad (3.2)$$

Yukarıdaki eşitsizlik, benimsenen strateji I olduğunda, $1-\varepsilon$ oranında mutasyona uğramamış kısım tarafından benimsenen I stratejisi ile ε oranında mutasyona uğramış

kısım tarafından benimsenen J strateji karmasının kazandıracığı ortalama getirilerin, mutasyona uğramış J stratejisinin aynı karma karşısında oynandığında kazandıracığı ortalama getiriden büyük olması anlamına gelmektedir. Bu ise, I stratejisi karşısında J stratejisinin zamanla yok olacak olması nedeniyle I 'nın evrimsel kararlı strateji olacağını göstermektedir (Weibull, 1982, s.35). Böylece Maynard Smith ve Price (1973)'ün çalışmalarında belirttikleri iki koşul, mutasyona uğramış stratejinin varlığı durumu için yeniden yorumlanmış olmaktadır.

Evrimsel oyun teorisinin ortaya koyduğu araçlardan biri olan evrimsel kararlı stratejiler Soytaş (2002, s.204)'a göre uygulaması ve yorumlanması zor tekniklerdendir. Soytaş (2002) bu bağlamda, Weibull (1995)'ün evrimsel oyun teorisinin klasik oyun teorisinin tamamlayıcısı olduğuna dair düşüncesini desteklemektedir. Bu düşüncenin temel sebebi, bazı oyunların evrimsel tekniklerle çözümü eğer Nash dengesini veriyorsa, sonucu tahmin etmek için Nash dengesinin kullanılabileceğidir. Bu iddiaya ilişkin olarak devam eden bölümde bu iki denge kavramının yöntemsel anlamdaki ilişkileri ele alınacaktır.

3. 4. Nash Dengesi ve Evrimsel Kararlı Stratejiler Arasındaki İlişkiler

Klasik oyun teorisinin gelişiminde özellikle John Nash tarafından ortaya atılan denge kavramının ifadesinde kullanılan mahkûm ikilemi oyunu, simetrik sıfır toplam ve Pareto etkin olmayan, çatışma ve işbirliğini içeren birden fazla Nash dengesini bünyesinde barındırması özellikleriyle oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle evrimsel tekniklerle çözülen oyunlarda Nash dengesi sonucu ile karşılaşıyorsa, sonuçların tahmini için öncelikle Nash dengesinin kullanılabileceğine ilişkin iddianın incelenmesi konusunda mahkûm ikilemi oyunu önemli bir örnektir.

Nash dengesinde, tüm oyuncuların stratejilerinin karşılardaki oyuncuların stratejilerine verilen en iyi tepki olması durumu söz konusudur ve hiçbir oyuncu strateji değiştirerek daha iyi bir kazanç elde edemez. Bu bilgi ışığında, Tablo 3. 2.'de verilen mahkûm ikilemi oyununda birden fazla Nash dengesinin var olduğundan söz etmiştik. Bu denge noktaları *itiraf et–itiraf et* ve *itiraf etme–itiraf etme* stratejilerinde kendilerini göstermektedirler. Burada mahkûm ikilemi oyununun orijinal stratejileri olan *itiraf et* ve

itiraf etme stratejilerinde, *itiraf et* işbiriksiz olmayı ifade ederken, *itiraf etme* ise işbirlikli olmayı (söz konusu kazancın ceza olması ve az ceza almanın avantajlı olması sebebiyle) simgelemektedir. Oyun ceza yerine kazanç üzerine kurgulandığında da benzer şekilde işbirliği yapma daha fazla kazanç sağlayacaktır.

Bu noktada kazanç üzerinden yeniden kurgulanacak yeni mahkûm ikilemi oyunu kazanç tablosu, Tablo 3. 3.'de görüldüğü gibi olacaktır. $T > V > Y > Z$ olmak üzere, Nash dengesi açıkça belli bir işbirliğinin sonucunda (V,V) noktasında ortaya çıkmakla birlikte evrimsel oyun teorisinin buraya kadar anlatılan özellikleri dâhilinde düşünüldüğünde %100 işbirliği halinde olan, bu türden bir popülasyon söz konusu iken, oyuna dâhil olacak mutasyona uğramış tek bir işbiriksiz stratejiye sahip oyuncu oyunun kazancının (V,V) noktasından (Z,T) veya (T,Z) noktasında kaymasına neden olacaktır. Sonuç bu iki alternatif kazanç değerinden hangisi olursa olsun, Tablo 3. 3.'de verilen kazanç matrisi değerlerine göre işbiriksiz oyuncu, işbirlikli oyuncuya göre daha fazla kazanca sahip olacaktır. Her iki durumda da işbiriksiz olma stratejisi daha fazla kazandıracağı için (T), mutasyona uğrayan işbiriksiz strateji, uğramayan popülasyonun sahip olduğu işbirlikli stratejiden daha fazla kazanç sağlamış olmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da mutasyon geçiren strateji zaman içinde tüm stratejiyi istila edecektir. Bu nedenle işbirlikli-işbirlikli Nash dengesi evrimsel kararlı strateji değildir.

Tablo 3. 3.
Mahkûm İkilemi Oyunu

A	B	
	İşbirlikli	İşbiriksiz
	İşbirlikli	İşbiriksiz
	V,V	Z,T
	T, Z	Y,Y

Bu durumun matematiksel ifadesini Weibull (1982)'un çalışmasında ifade ettiği şekli ile ele almamız gerekirse, İşbirlikli strateji I , işbiriksiz strateji J iken; mutasyon geçiren grubun tüm popülasyon içindeki oranının ε , mutasyona uğramayan kısmın $1-\varepsilon$ olduğu ve popülasyondaki tüm bireylerin eşit olasılıkla diğerleri ile

eşleşeceği varsayımı altında; ortalama kazanç fonksiyonu $w = \varepsilon J + (1-\varepsilon)I$ olacaktır. Yani popülasyondaki yerleşik bireyler $1-\varepsilon$ olasılıkla kendileriyle, ε olasılıkla mutasyona uğrayan popülasyon ile eşleşecektir. Bu durumda mutasyona uğramamış (işbirlikli) oyuncunun getirisi Denklem 3. 3'teki gibi olacaktır.

$$U [I, \varepsilon (J) + 1-\varepsilon (I)] \quad (3. 3)$$

Mutasyona uğramış (işbirliksiz) oyuncunun getirisi ise, Denklem 3. 4'teki gibidir.

$$U [J, \varepsilon (J) + 1-\varepsilon (I)] \quad (3. 4)$$

Böyle bir durumda açık şekilde ($T > Z$) olduğundan mutasyona uğrayan popülasyonun kazancı mutasyona uğramamış popülasyonunkinden fazla olacaktır ve zaman içinde mutasyona uğramış strateji popülasyonda yayılma gösterecektir (mutasyona uğramış strateji olan J =işbirliksiz tüm popülasyona yayılıp kazanç (Y,Y) noktasına düşene kadar). Böylece, Denklem 3. 2'de verilen şart, mutasyona uğramamış popülasyonun stratejisi olan işbirlikli strateji için sağlanmadığından, bu strateji evrimsel kararlı değildir denilebilir.

Bu matematiksel ifade Tablo 3. 3.'deki, bir diğer Nash dengesini ifade eden %100 işbirliksiz stratejide bulunan oyuncuların olduğu bir popülasyonda, oyuna mutasyona uğramış tek bir işbirlikli stratejiye sahip oyuncu dâhil ederek uyarlandığında, oyunun kazancının (Y,Y) noktasından (Z,T) veya (T,Z) noktasına kaymasına neden olduğu görülmektedir. Böyle bir durumda, işbirlikli strateji I , işbirliksiz strateji J iken; yine mutasyon geçiren grubun tüm popülasyon içindeki oranının ε , mutasyona uğramayan kısmın oranının $1-\varepsilon$ olduğu ve popülasyondaki tüm bireylerin eşit olasılıkla diğerleri ile eşleşeceği varsayımı altında; ortalama kazanç fonksiyonu $w = \varepsilon I + (1-\varepsilon)J$ olacaktır. Böylece mutasyona uğramamış (işbirliksiz) oyuncunun getirisi Denklem 3. 5'deki gibi ifade edilecektir.

$$U [J, \varepsilon (I) + 1-\varepsilon (J)] \quad (3. 5)$$

Mutasyona uğramış (işbirlikli) oyuncunun getirisi ise, Denklem 3. 6'deki gibidir.

$$U [I, \varepsilon (I) + 1-\varepsilon (J)] \quad (3.6)$$

Böyle bir durumda ise ($T > Z$) olduğundan, açık şekilde mutasyona uğrayan popülasyonun kazancı mutasyona uğramamış popülasyonunkinden az olacağından, Denklem 3. 2’de verilen şart mutasyona uğramamış popülasyonun stratejisi olan işbirliksiz strateji için sağlandığından, bu strateji evrimsel kararlıdır. Mutasyon geçiren işbirlikli strateji yerleşik stratejiye karşı tutunamayarak zamanla yok olacaktır. Bu yüzden %100 işbirliksiz stratejiyi oynayanlardan oluşan bir popülasyon evrimsel kararlıdır.

Evrimsel kararlı stratejiler ile Nash dengesi arasındaki ilişkiye bakılacak olursa, öncelikli olarak Nash dengesinin Denklem 3. 1’de $\forall_i \in N, \forall s_i \in S_i : U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(s_i, s_{-i}^*)$ verilen ifadesi Tablo 3. 2.’de itiraf et stratejisi I , itiraf etme stratejisi J olacak şekilde Maynard Smith ve Price (1973)’in modelindeki gösterime uyarlanmalıdır. Bu uyarlama sonucunda $S = I \times J$ ve $\forall s_i \in S$ olmak üzere, $U_i(I^*, I^*) \geq U_i(J, I^*)$ ifadesi elde edilecektir. Bu ifade de $U_i(I^*, I^*)$ daha az cezayı temsil ettiğinden daha yüksek fayda sağladığı için Nash dengesi koşulu sağlanmış olacaktır. Dikkat edilirse Nash dengesi koşulunu sağlayan bu ifade Maynard Smith ve Price (1973)’in bir stratejinin evrimsel kararlı olabilmesi için gerekli olan koşullarının ilki olan $U(I, I) > U(J, I)$ ve ikinci koşulun ilk bölümü olan $U(I, I) = U(J, I)$ eşitlik ve eşitsizliğinin birlikte ifadesinden ibarettir. Bu durum evrimsel kararlı olmanın ilk koşulunun öncelikle Nash dengesini sağlamak olduğunu göstermektedir. Özetle, her Nash dengesi evrimsel kararlı olamayacağı gibi, her evrimsel kararlı strateji öncelikle Nash dengesini sağlamak durumundadır. Dolaylı olarak da bir strateji ikilisi Nash dengesi noktasında değilse, evrimsel kararlı da olamayacaktır. Dolayısıyla en başta ileri sürülen evrimsel tekniklerle çözülen oyunlarda denge noktasının tahmini için Nash dengesi noktalarının kullanılabileceğine ilişkin iddia doğrulanmaktadır.

3.5. Değerlendirme

Oyun teorisinin, düşünsel temeli çok eskiye dayanmasına rağmen, düzenli bir bilimsel teori olarak karşımıza çıkması, bilim için kısa denebilecek bir süre önce Von Neumann ve Morgenstern (1944)’in çalışması ile gerçekleşmiştir. Bu çalışmada,

Neumann ve Morgenstern tarafından sınırları çizilen ve varsayımları ile birlikte net bir şekilde sunulmuş olan klasik oyun teorisi ilerleyen yıllarda iktisadi konular için analiz aracı halini almıştır. Ancak bu durum, klasik iktisadın varsayımlarını kullanan ve en büyük dayanak noktası rasyonel birey varsayımı olan klasik oyun teorisine yönelik eleştirel çalışmaların, klasik iktisadın varsayımlarını eleştiren çalışmalarla birlikte paralel olarak artış göstermesine neden olmuştur.

Klasik oyun teorisi için bu eleştirel çalışmaların artması, yeni oyun alternatiflerinin ortaya çıkması ile sonuçlanmıştır. Ancak varsayımları değiştirerek yeni oyun alternatifleri sunan bu çalışmalar, temelde klasik oyun teorisi bakış açısından kopamamış ve teoriye ses getiren bir yenilik kazandıramamıştır. Teorinin bünyesinde barınmakta olan eleştirel çalışmalar bu yönüyle, ortodoks iktisat anlayışının ekseninde eleştirel çalışmalar yapan, dolayısıyla sadece yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat okullarına dâhil olan çalışmalar olarak görülmektedir. Ortodoks düşünce odaklı düşünüldüğünde görece heterodoks kalmaları nedeniyle yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat olarak adlandırılan bu çalışmaların, ortaya çıkışı üzerinde etkili olan varsayımlardan sapmalar, bu bölüm kapsamında klasik oyun teorisine getirilen eleştiriler başlığında incelenmiştir.

Sosyal bilimlerde ve özellikle iktisat alanında uzmanlaşmanın bir getirisi olarak yaşanan kısır döngü sonucunda, 1980'lerden sonra matematik, fizik, biyoloji ve enformatik gibi bilimlerin ilerlemesi ile bu bilimlerden ödünç alınan teorilerin iktisada uyarlanmaya başlanmıştır. Bu uyarlamalar üzerine yapılan çalışmaların oluşturduğu yeni heterodoks iktisat kapsamında, evrim düşüncesi oyun teorisine girmiş ve evrimsel oyun teorisi ortaya çıkmıştır. Bugün hem evrimsel iktisat hem evrimsel oyun teorisi yeni heterodoks iktisat okullarında değerlendirilmektedir. Evrimsel oyun teorisi klasik oyun teorisinin klasik iktisattan aldığı varsayımlarını eleştiren çalışmalara benzer olarak, bu varsayımları eleştirirken yerlerine varsayımdan daha ziyade esnek kuralları anımsatan ve analizlerin bir anlamda gerçek dünyaya yakınlaşmasını sağlamayı hedefleyen kurallar koymaktadır. Bunu gerçekleştirirken de, biyolojideki evrim düşüncesinden faydalanması klasik oyun teorisinden evrimsel oyun teorisine geçiş

sürecinin, ortodoks iktisattan yeni heterodoks iktisada geçiş sürecine dair iyi bir örnek teşkil etmesini sağlamaktadır.

Evrimsel oyun teorisinin evrim düşüncesini analizlerine yerleştirmiş olması denge kavramına klasik oyun teorisi ile farklı bir açıdan bakmalarına neden olmaktadır. Evrimsel oyun teorisinde dengenin oluşu kadar onu ortaya çıkan dinamikler ve devamlılığını sağlayan öğrenme kavramı önem taşımaktadır. Devamlılığın taşıdığı bu önem nedeniyle denge durumunu ifade eden stratejiler kümesi evrimsel kararlı stratejiler olarak adlandırılmıştır.

Evrimsel kararlı stratejiler, oyundaki diğer tüm oyuncuların stratejilerine verilecek en iyi cevap olması ve bu stratejideki hiçbir oyuncunun tek taraflı strateji değiştirerek daha iyi bir kazanç elde etmesinin mümkün olmaması koşulları ile Nash dengesine benzemektedir. Bu koşullar Maynard Smith ve Price (1973)'ın çalışmasında sunulmuştur. Ancak buna ek olarak Maynard Smith ve Price (1973) bir kararlılık koşulu belirlemiştir. Bu kararlılık koşuluna göre ise evrimsel kararlı strateji, tüm oyuncular bu stratejide iken, mutasyona uğramış hiçbir strateji tarafından yenilmeyerek devamlılıklarını sağlamalıdır. Evrimsel kararlı stratejiler kararlılık koşulu ile Nash dengesinden farklılaşmaktadır. İşte bu sebeple, her evrimsel kararlı strateji aynı zamanda bir Nash dengesini ifade ederken, her Nash dengesi bir evrimsel kararlı strateji olamamaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak bazı araştırmacılar evrimsel kararlı stratejilerin bulunmasında, hesaplama zorlukları yaşandığı durumlarda Nash dengelerinin tespit edilerek kararlılık koşulunu sağlayıp sağlamadıklarının kontrol edilmesini önermektedirler.

İki denge kavramının arasındaki bu farkın net olarak görülmesi için mahkûm ikilemi oyunu oldukça uygun bir örnektir. Çünkü bu oyunda bulunan iki Nash dengesinin bir tanesi evrimsel kararlılık koşulunu sağlayıp evrimsel kararlı strateji olurken, diğeri evrimsel kararlı değildir. Mahkûm ikilemi oyunu aynı zamanda bu çalışmanın iktisadi konusu olan ticaretin oyun teorisi ile modellenmesine en uygun olan oyun olma özelliğini taşımaktadır. Çalışmada kullanılacak kompleks uyarlanabilir sistemin içerdği evrim unsuru, mahkûm ikilemi oyunda evrimsel stratejiler kullanılması ile sistem içerisine dâhil edilecektir. Sonuç olarak, yapılacak uygulamaya yönelik olarak

yeni heterodoks iktisat bağlamında oyun teorisini yeniden düşünmek, evrimsel oyun teorisini bir uygulama yöntemi olarak benimsememiz gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle yeni heterodoks iktisat kapsamında yapılacak oyun teorisi içeren bu tür bir uygulama için hem klasik oyun teorisinin hem de evrimsel oyun teorisinin temel yapılarının bilinmesi faydalı olacağı düşünülmektedir.



4. YENİ HETERODOKS İKTİSADIN HESAPLANABİLİR YÖNTEMLERİ: AJAN-TEMELLİ MODELLEME VE AĞ TEORİSİ

Klasik iktisat kapsamında yapılan çalışmaların, yeni heterodoks iktisat okulları kapsamında yapılan çalışmalardan, temel farkının iktisadi karar alıcının rasyonel birimlerden oluşuyor olması olduğu bilinmektedir. Bu durumun klasik iktisada ilişkin hesaplanabilir analizler aracılığıyla yapılan analizlerin, gerçek dünyadaki sosyal fenomenleri açıklamakta yetersiz kalmasının nedeni olduğu kabul edilmektedir. Çünkü yeni heterodoks iktisat bağlamında ortaya çıkan düşünce okullarının temel ortak noktası, karar alıcı birimlerin davranış ve etkileşimlerinin karmaşık yapıda olması ve bu durumun ortaya kompleks bir sistem çıkartacağı görüşüdür.

Gilbert (2004)'e göre, kompleksite çalışmaları sonucu ortaya çıkan patika bağımlılığı gibi kavramlar, insan davranışlarının bölümlere ayrılarak ele alınmasının doğru sonuçlara götürmeyeceğini göstermesi yönünden kompleks yapıda olduğunu kanıtlayan önemli kavramlardır. Bu kompleksliği temelde toplum davranışlarının iki özelliğine bağlamaktadır. Bunlardan ilki, insanlarla ifade edilen birimler arasında birçok doğrusal olmayan etkileşimin söz konusu olmasıdır. Bunun bir sonucu olarak bilgi ve materyallerin iletim şeklinin de doğrusal olmaması, alıcının davranış şeklini etkileyecek, birimler arasındaki etkileşim ise sözü edilen bu davranış şeklindeki etkiyi içinde barındıracaktır. Diğer sebep ise, toplum davranışlarının dinamik süreçlerin sonucu olmasıdır. Yani toplum konuşur, dinler ve yapar. Sürekli hareket halindedir. Toplum sadece, içerisindeki üyeler yaşar, oyun oynar ve tepki verirse yaşamaya devam etmektedir. İşte bu iki sebepten dolayı, kompleksite teorisi doğadaki sistemleri aydınlatma üzerine gelişirken, sosyal fenomenlere uygulanabilmesi için hesaplanabilir araçlar aranması konusunda uyarılar vermiştir (Gilbert, 2004, s.3-4). Ajan-temelli hesaplanabilir iktisat (AHİ), tüm iktisadın etkileşim içinde olan ajanlarını dinamik bir sistem olarak ele alarak, süreçleri inceleyen hesaplanabilir bir yöntemdir. Böyle olunca

da, kompleks uyarlanabilir sistemler yaklaşımına denk düşmektedir. (Gallegati ve Kirman, 2012, s.16).

Bu noktada yeni heterodoks iktisat kapsamında ele alınan kompleksite iktisadi barındırdığı kompleksite ve evrim düşüncelerinin bir sentezi ile kompleks uyarlanabilir sistemleri ortaya koymuş ve bu sistemlerin analizi için ajan-temelli modelleme ile analitik olarak onu destekleyecek araçları önermiştir. Bu destekleyici araçların en önemlisi ise, bu çalışma kapsamında yapılacak uygulamada oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sistem için yapılacak ajan-temelli modelin de analizine zemin hazırlayacak olan ağ modelleridir.

Çalışmanın bu bölümünde, kompleksite iktisadının ele aldığı sosyal fenomenlerin aydınlatılması doğrultusunda ortaya çıkan hesaplama yöntemi olan ajan-temelli hesaplanabilir iktisat ve buna ilişkin modellemeyi yapabilmek için gerekli fiziki ortamı sağlayan araçlardan biri olan ağ teorisi (ağ modelleri) ele alınacaktır. Bu bağlamda öncelikle, temellerini bilgisayar biliminden alan ajan-temelli modelleme, iktisat bilimi bağlamında ele alınış biçimi olan ajan-temelli hesaplanabilir iktisat çerçevesinde ele alınacak ve temel kavramlarına değinilecektir. Daha sonra ise kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizini mümkün hale getiren ajan-temelli modelleme, kompleks sistemlerin içerdiği evrim düşüncesini sisteme yansıtma şekillerinden biri olan evrimsel oyun teorisi çerçevesinde yeniden ele alınacaktır. Son olarak ajan-temelli modellemeye zemin sağlayan ağ modelleri, yine temel kavramları ele alınarak kompleks sistemleri modellemede kullanılan kompleks ağ yapıları incelenecektir.

4. 1. Ajan-Temelli Modelleme ve İktisat Bilimindeki Yansıması: Ajan-Temelli Hesaplanabilir İktisat

Klasik iktisat diğer sosyal fenomenlerde olduğu gibi iktisadi davranış ve karar alma teorilerini açıklarken de kompleksite iktisatçılarından farklı olarak karar alma birimlerinin kendi çıkarını eniyileyecek rasyonelliğe sahip bireyler olduğunu ifade eder. Klasik iktisadın en çok eleştiri alan bu rasyonelite varsayımının yanı sıra karar alıcıların homojen (benzer özellik ve tercihlere sahip), yapılan etkileşimlerin ise gizli olduğu ve

evrensel çapta yapıldığı varsayımları da mevcuttur. Ancak bu varsayımlar ile yapılan analizlerin zaman içinde gerçek dünyaya uygun sonuçlara ulaşmadığı görülmüştür (Alkemade, 2004, s.1). Gerçek dünyadaki sosyal fenomenleri klasik iktisattaki varsayımları bir yana koyarak farklı etkileşimlerin varlığı varsayımı altında kompleks yapılar ile daha iyi anlamlandırabilmemize rağmen bu yapıları analiz etme konusunda hesaplanabilir yöntemlerin sınırlılıkları nedeniyle zorluklar yaşanmıştır. Bu noktada Axtell ve Epstein (1994)'in çalışmalarında sorduğu temel soru akıllara gelmektedir: Eğer bu yapay kompleks sistemi gerçek dünyayı anladığımızdan daha iyi anlayamıyorsak (deneysel anlamda), bir ilerleme gösterebilmiş sayılmayız. O halde, kendi yarattığımız kompleks sistemler ile nasıl başa çıkabiliriz? Bu noktada başa çıkma yöntemlerinden biri olarak ajan-temelli modellemeyi ve analitik olarak onu destekleyecek araçların işlevsel olması gerektiğini önermektedirler (Axtell ve Epstein, 1994, s.28). Axtell ve Epstein (1994)'in bu görüşü temelde kendi yarattığımız yapay dünyayı var olandan daha iyi anlama ve bunu geliştirerek üretilen bilgi ile var olanı açıklayabilmek gerektiğini belirtme amacını gütmektedir. Ajan-temelli modelleme böyle bir üretimi sağladığı için bir bilim olarak kabul edilmektedir (Richardi, 2012, s.139).

Bu bilgi üretimi için iki seviyeli geleneksel bir yaklaşım ele almaktadır: makro seviye ve mikro seviye. Mikro seviye ajanların bireysel davranışlarını başlangıç noktası olarak alarak toplu çıkarımlar üretirken, makro seviye ise gözlenen makro fenomenlerin ortaya çıkması için mikro seviyedeki koşulları ve arasındaki ilişkileri ortaya koyarak teoriler üretmektedir (Brunn, 2004, s.2). Buna ek olarak, Richardi (2012) bu mikro makro ilişkisini bir *dual problem* olarak adlandırmaktadır. Böylece, iki seviyedeki bilgi üretiminin de aynı yaklaşımı paylaşmakta olduğunu iddia etmektedir.

Mikro ve makro seviyede bilgi üretimi, diğer anlamıyla ajan-temelli modellemede yer alan ajanların heterojen (farklı özellik ve tercihlere sahip) ve aralarında yapılan etkileşimin de yerel ölçekte olup, evrensel sonuçlar doğurduğu düşüncesinin alt yapısını oluşturmaktadır. Bu yönüyle klasik iktisadın ajanların homojen ve yapılan etkileşimlerin gizli bir şekilde evrensel sonuçlar doğurduğu varsayımını kabul etmemektedir. Ayrıca temellerini bilgisayar biliminden alan ajan-

temelli modelleme iktisadi fenomenlerin incelenmesinde kullanılırken taşıdığı karar alma birimleri olan ajanların, kompleksite iktisadı ve evrimsel iktisadın da savunduğu gibi sınırlı rasyonel bireyler olması varsayımı nedeniyle yeni heterodoks iktisadın hesaplanabilir yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeptendir ki; Eren (2013) klasik iktisada ilişkin varsayımların reddi ile ortaya çıkan yeni heterodoks iktisadın okullarına ilişkin yaptığı sınıflandırmada da, iktisattaki sosyal fenomenlerin incelenmesi için kompleksite iktisadı kapsamında hesaplanabilir yöntemler öneren bu alanı Ajan-Temelli Kompleksite İktisadı olarak adlandırmıştır (Eren, 2013, s.14).

Genel kabul gören görüş bu yaklaşımın sosyal bilimlere, kentsel sistemin içindeki ırksal ayrılıkların dinamik olarak ortaya çıkmasını simüle eden Schelling (1971)'in çalışması ile girmiş olduğu yönündedir. Schelling'in modeli kendileri ile aynı ırktan olan kişilerle komşu oturmak konusunda ajanların çok ısrarcı bir tercihleri olmaması durumunda bile ev alıp satmaları ve taşınmaları ile zaman içinde ırksal ayrılığın baş göstermesinin söz konusu olabileceğini göstermektedir (Rosser, 2013). Sosyal etkileşimlerde mikro davranışlar ve makro sonuçlar arasındaki boşluğu gösteren bu çalışma, iktisat teorilerinde ajanlar arası etkileşimlere ilişkin söz konusu olan; *doğrusal olmayan birey davranışlarının çok basit düzeyde var olmasının karmaşık sonuçlara neden olabileceği* varsayımının sağlamlığının bir anlamda test edilmesidir (Fontana, 2008). Bu noktada yukarıda ifade edilen heterojen ajanlar ve aralarındaki etkileşimin yerel ölçekte olup, evrensel sonuçlar doğuracağı düşüncesi esasen ilk kez Schelling (1971)'in çalışması ile ortaya çıkmıştır.

Schelling bu modeli ile aynı zamanda, Von Neumann (1951)'in hücresel otomasyon üzerine yaptığı çalışmanın ardından, bu konunun sosyal bilimlerdeki erken dönem ilk ve en önemli örneğini de vermektedir (Chen ve Kao, 2016, s.116). Von Neumann'ın çalışması her ne kadar ajan-temelli modelleme olarak isimlendirilemese de ajan-temelli modellemenin temelini bu çalışmada yer alan kendi kendini çoğaltan otomasyon kavramından alması sebebiyle yapay dünyaların oluşturulması konusunda oldukça önemli yer edinmiştir. Bu iki çalışma ajan-temelli modellemenin sosyal fenomenlere uyarlanması önünü açmıştır (Oh, 2015, s.4).

Devam eden yıllarda Axelrod (1984), bugün sosyal bilimlerde yeni heterodoks iktisat kapsamında çalışılan evrimsel oyun teorisi alanında da önemli bir yeri olan *Tit-for-tat* (Kısasa kısas) stratejisinin ortaya çıkmasını sağlayan ajan-temelli model simülasyonu ile bu alana ilişkin erken dönem örneklerinden bir diğerini vermiştir.

Ajan-temelli modellemeye ilişkin ilk nesil örnek olarak kabul edilen model ise Epstein ve Axtell (1996) tarafından geliştirilen *Sugarscape* modelidir. Modelde, ajan-temelli modellemede ajanların temel özelliklerinden olan heterojen olma ve otonom (merkezi otoriteden bağımsız olma) olma özellikleri söz konusu olmakla birlikte, her ajan yaşam boyu kendine özel olarak belirlenen yetenek ve kapasitelerini kullanarak hayatta kalmaya çalışmaktadır. Bu hayatta kalma/kalamamayı ise temelde iki kural ile sağlamaktadır. Birinci kural hayatta kalmanın nasıl olabileceğinin tanımlanması ile ilgilidir. Ajan öncelikle kendi bulunduğu hücre dâhil, doğu, batı, kuzey ve güney yönündeki hücrelerdeki en yüksek şekeri tanımlayarak bu hücreye geçer ve bu hücredeki tüm şekeri hasat eder. Bu hasat sonucu biriktirdiği şekeri, *şeker refahı* adı verilen bir ölçüt ile tanımlar. Bu ölçüt eğer sıfırın altında değil ise ajan yaşamına devam eder. Sıfırın altında ise ajan ölecektir. İkinci kural ise, hayatta kalmayan hücrelerin akıbetine ilişkin olarak, ölen ajanın yerine tesadüfi olarak seçilen başka bir hücrede yeni bir ajanın doğuyor olmasıdır (Epstein ve Axtell, 1996). Bu model kuralları ve yapısı ile ajan-temelli modelleme kullanılarak kurgulanan pek çok sosyal fenomen tarafından günümüzde de halen kullanılmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, ajan-temelli modelleme simülasyonları için hazırlanan bilgisayar programlarının birçoğunda bu modelin kuralları önceden tanımlanmış olarak karşımıza çıkmaktadır (Ör: NetLogo, Swarm). Çünkü ajan-temelli modelleme için genellikle bilgisayar aracılığı ile yapılan simülasyonlardan yardım alınmaktadır.

Doğa bilimlerinde bilgisayar simülasyonu ve mühendislik genellikle denklem tabanlı modellemelerle yapılmaktadır. Ancak, bu yöntemi sosyal bilimlerde kullanmak zordur. Bu noktada, ajan-temelli modellemeyi ya da çok ajanlı simülasyonu doğa bilimlerinde kullanılan denklem tabanlı modelleme yerine kullanmak mümkün olabilir. Kısaca, iktisatta ajan-temelli hesaplanabilir modellerin yaptığı devrim aşağıdaki maddelerce özetlenebilir;

- Sosyo-ekonomik sistemlerin özellikleri olarak heterojen (homojen yerine) karar alma süreçlerini incelenebilir kılmak.

- Sınırlı bilgi ve sınırlı rasyonalite altında uyarlanabilir ve evrimsel dinamikleri incelenebilir kılmak.

- Dinamik ağlarca modellenen yerel sosyo-ekonomik etkileşimleri incelenebilir kılmak.

- Piyasa ve politika tasarıları için deneysel iktisat ve ajan-temelli hesaplanabilir iktisat uygulamalarını mümkün kılmak (Editorial, 2007'den aktaran; Kırer ve Çırpıcı, 2016, s.5).

Ancak, iktisat biliminde ajan-temelli hesaplanabilir modellerin sunduğu bu devrim niteliğindeki avantajların yanında genel anlamda ajan-temelli modellemenin gelişmesi son dönemde iktisat dışında birçok farklı bilim alanında da kendine yer edinmesini sağlamıştır. Bu anlamda ajan-temelli modeller, iktisatta olduğu gibi, diğer bilimlerdeki ortodoks yaklaşımlar (denklem tabanlı modeller) ile analizi zor olan olguların da kolayca modellenmesine izin verir. Böylece diğer bilimlerde de; ajanın ağı dinamik olarak değiştirdiği durumlarda, ajanların öğrenme ve ve/veya evrimlerinin ifade edilmesi gereken durumlarda, farklı tipteki ajan ve ajan davranışlarının gözlemlenmesi gerektiği durumlarda ve ajanlar arası doğrusal olmayan etkileşimlerin varlığında modelleme yapabilmeyi sağlamaktadır (Berryman ve Angus, 2009, s. 2).

4. 1. 1. Ajan-Temelli Modellemeye İlişkin Temel Kavramlar

Ajan-temelli modellemenin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikli olarak *ajan* kavramının daha net bir ifade ile tanımlanması gerekmektedir. Wilensky ve Rand (2015) bilgisayar bilimine odaklı olarak ajan tanımlamasını, *bir ajan otonom bir birey ya da belirli özellik, eylem ve olası hedeflere sahip bireydir* olarak yapmaktadır (Wilensky ve Rand, 2015, s.32). Gallegati ve Kirman (2012, s.16) ise ajan-temelli hesaplanabilir iktisattan yola çıkarak ajanları, uzay ve zaman üzerinde tanımlı, kurallara göre davranan hesaplanabilir nesneler olarak tanımlamaktadır. Bu konuda başta bilgisayar bilminde olmak üzere kullanıldığı bilimsel alanlarda farklı tanımlamalar

bulunsa da, sosyal bilimler alanında kullanılan ajan-temelli modelleme kapsamında yapılan üzerinde uzlaşmış bir ajan tanımlaması bulunmamaktadır. Bunun yerine ajan şeklinde ifade edilen karar alma birimlerinin taşıması gereken bir takım özellikler tanımlanmıştır.

Bu özellikler Macal ve North (2007) tarafından kısaca aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Ajan tanımlanabilir olmalıdır. Davranışlarını ve karar alma kabiliyetini yöneten sonlu bireysel özellikler ve kurallar olmalıdır. Ajan kendi kendine yeten olmalıdır. Sonluluk, adı üzerinde bir ajanın sınırları olmasını gerektirmektedir. Yani bir kişi herhangi bir şeyin bu ajanın bir parçası olup olmadığını kolaylıkla ayırt edebilmelidir.
- Ajan otonom ve kendi kendini idare edebilir olmalıdır. Yani ajan çevresi ve iş ilişkisi içinde olduğu diğer ajanlardan modelde bağımsız şekilde işlevlendirilebilmelidir.
- Ajan, diğer ajanlarla etkileşim halinde olabileceği bir çevre içinde konumlandırılmalıdır. Ajanlar, diğer ajanlarla etkileşimleri konusunda iletişim kurallarında sahip olmalıdır.
- Ajan hedef odaklı olmalı, davranışları ile uyumlu olarak ulaşılması gereken hedeflere sahip olmalıdırlar. Bu hedefler her zaman çıkarlarını en çoklama olmayabilir.
- Ajan esnek olmalı, davranışlarını deneyimlerine dayanarak uyarlayabilme ve öğrenme yeteneklerine sahip olmalıdır. Bu madde bir çeşit hafızayı da beraberinde getirmektedir. Bu hafızaya dayalı olarak ajan, davranış kurallarını değiştirmek içinde bir takım kurallara sahip olmalıdır (Macal ve North, 2007, s.96).

Macal ve North (2007)'un yukarıdaki maddelerde belirttiği ajanların taşıması gereken özellikler, Tablo 4. 1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 1.
Bir Ajanın Sahip Olması Gereken Özellikler

Ajan
Belirleyici özellikler
Davranışsal kurallar
Hafıza
Kaynaklar
Karar verme gelişmişliği
Davranış kurallarını değiştirmek için kurallar

Kaynak: Macal, C. M. ve M. J. North. (9-12 Aralık, 2007) Agent-Based Modeling and Simulation: Desktop ABMS, 2007 Winter Simulation Conference. Washington: J.W. Marriott Hotel, s.96.

Tablo 4. 1.'de özellikleri verilen ajanlar herhangi bir tip otonom girdiyi temsil edebilir. İnsanlar, virüsler, böcekler, şehirler, ulaşım araçları ya da tarım arazileri ajan olarak tanımlanabilir. Ajan-temelli modellemenin yapılabilmesi için öncelikli olarak yukarıda verilen özelliklere sahip ajanların yine yukarıda verilen özellikleri taşıyan davranışlar çerçevesinde, çevresinde bulunan diğer ajanlarla etkileşim içinde olması gerekmektedir. Klasik bir ajan-temelli model üç elemana sahip olmalıdır. Model geliştirici ajan-temelli bir model kurabilmek için öncelikle bu elemanları tanımlamalıdır:

1. *Ajanlar kümesi:* ajanların özellikleri ve davranışlarını belirtir.
2. *Ajan ilişkileri ve etkileşim yöntemleri kümesi:* bağlanabilirlik topolojisini* tanımlayarak, ajanların kiminle ve nasıl etkileşim içinde olacağını belirtir.
3. *Ajanın çevresi:* diğer ajanlarla olan etkileşimine ek olarak ajan, çevresi ile de etkileşim içindedir(Macal ve North, 2010, s.152).

* Burada sözü edilen bağlanabilirlik topolojisi, ajanlar kümesindeki her bir elemanın yerleşimini ifade eden ve matematikteki biliminden farklı olarak enformasyon bilimlerinden türemiştir. Enformasyon biliminde topoloji, ağdaki ajanların nasıl konumlanacağını belirleyen fiziksel topoloji ve ajanlar arası etkileşimin yönünü ifade eden mantıksal topoloji olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında topoloji kelimesi ile ajanlar kümesinin yerleşimini ifade eden fiziksel topoloji kast edilecektir.

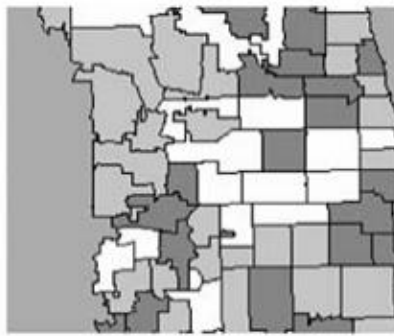
Bu noktada birinci madde ile verilen ajanlar kümesinde yukarıda sözü edilen özellikleri taşıyan heterojen ajanlar bulunmaktadır. İkinci madde ise kimin kiminle bağlı olacağı ve etkileşimlerin doğasını yöneten mekanizmalar belirtir. (Macal ve North, 2007, s.98). Ajan-temelli modelleme bu ilişkilerin ifadesini model topolojisinden yararlanarak oluşturur. Macal ve North (2010) 'un çalışmalarında bu topoloji çeşitlerine ilişkin hazırladıkları özet görsel Şekil 4. 1.'de verilmektedir. Bu topolojiler ajan-temelli modellemelerin ilk nesil örneklerinde genellikle Şekil 4.1.'de a şıkkı ile gösterilen mekânsal ızgaralar (grid) ya da b şıkkı ile gösterilen ve düğümlerin birbirine bağlanması ile oluşan ağlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda farklı ajan-temelli modeller için hazırlanan ve Şekil 4. 1.'de b, d ve e şıklarında görülmekte olan topolojiler de kullanılmaktadır.



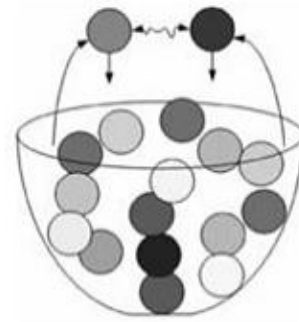
a-Hücreli Otomasyon

b-Öklidyen 3 Boyutlu Uzay

c- Ağ Topolojisi



d- Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)



e- Soup Modeli

Şekil 4. 1. Ajan İlişkileri ve Sosyal Etkileşimler için Topolojiler

Kaynak: Macal, C. M. ve M. J. North (2010). Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation. *Journal of Simulation*, 4, s.155.

Ajanın etkileşim halinde olacağı komşu ajanlar araştırmacı tarafından Şekil 4.1.'de gösterilen ya da bu çalışma kapsamında yer verilmeyen modele özgü herhangi bir topoloji aracılığı ile tanımlanmalıdır. Şekil 4.1.'de a şikkı ile gösterilen ve aynı zamanda Sugarscape modelinin topolojisi olan hücresel otomasyon, ajanlar arası etkileşimin sadece diğer ajanların bir alt kümesi olan yerel komşular ile söz konusu olacağını görsel olarak ifade edebilen güzel bir örnektir. Bu durum aynı zamanda ajan-temelli modellemede ajanlar arası etkileşimin yerel ölçekte olup evrensel sonuçlar doğuracağı ifadesini de topolojik olarak doğrulamaktadır.

Ajanlar arası etkileşimlerin yerel ölçekli olup evrensel sonuçlar doğurması ajan-temelli modellemenin *aşağıdan yukarıya* (bottom up) yaklaşımı üzerine kurulmuş olmasından kaynaklanan özelliğidir. Aşağıdan yukarıya yaklaşım, '*başlangıç seviyesinde küçük ölçekli basit ana kurallar etkileşim içinde olan nesneler ve bu nesnelerin çokluğu nedeniyle, büyük ölçekli nesneler ve onlara ilişkin fenomenlere dair kompleks geçici kurallara varılması*' kuralına dayanmaktadır. Ajan-temelli modelleme, sistematik olarak bu kompleks büyük ölçekli fenomenlerin doğumunu takip etmeye izin verilmesini sağlayan tekniği sunmaktadır (Gallegati ve Kirman, 2012, s.15). Yani, ajan-temelli modellemede, modeldeki her ajan ve kararları model topolojisince yönetilebildiği için, herhangi bir ajanın, ya da toplu olarak bütün ajanların, gözlenen genel sonuçlarının ve yaşamının incelenmesi aşağıdan yukarı yaklaşım ile olanak dâhilindedir (Wilensky ve Rand, 2015, s.33). Böylece, başlangıçta söylendiği gibi mikro davranışlarla makro bulgular arası ilişkiler kurulmakta ve birey davranışlarından çıkartılamayan istatistiksel düzenler ortaya çıkmaktadır (Gallegati ve Kirman, 2012, s.15).

Ajan-temelli model kurabilmek için belirlenen elemanlardan üçüncüsü olan çevre ise ajanın yönettiği görsel dünya olarak tanımlanmaktadır. Birçok modelde çevre; görüş sınırlarını, ajanların seyahat edebilecekleri yolları, ajana enerji ve yemek sağlayan kaynakları (Sugarscape modelinde olduğu gibi) ve bunun gibi pasif objeleri içerir. Bunlar ajanlarla benzer şekilde programlanabilir. Çevre coğrafi uzay ile de temsil edilir. Örneğin, bir modelde çevre, bir şehre ait fiziksel özellikleri kapsarken, bu model uluslararası ilişkilere ait ise çevre ülkelerin haritası olarak gösterilebilir. Çevrenin

coğrafi uzay ile temsil edildiği model *mekânsal belirtim* olarak adlandırılır. Mekânsal modellerde, ajanlar yerlerini belirtmek için coğrafi koordinatlara sahiptir. Bu tür modeller Şekil 4. 1.'de d şikkı ile belirtilmiş Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) altyapısını model topolojisi olarak kullanmaktadır. Diğer seçenek coğrafi bir gösterim olmaması durumunda, ajanları bir ağ içinde birbirlerine bağlayan ve bir ajanın diğerleri ile olan ilişkilerini gösteren ağ bağlantıları ile topolojinin oluşturulmasıdır (Abdou, Hamill ve Gilbert, 2012, s.148). Bu durum ise Şekil 4. 1.'de c şikkı ile gösterilmiştir. Bu yönüyle değerlendirildiğinde ajan-temelli bir model kurulması için gerekli olan ajan ilişkileri ve ajan çevresi elemanları topoloji üzerinde ifade edilmektedir denilebilir.

Özetle, ajan-temelli modellemenin hedefi, amaç davranışı üreten ajanlar ve kuralları yaratmaktır. Bazen kurallar çok iyi bilinmemektedir ya da sadece sistem davranışı keşfedilmek istenir. Bu tür durumlarda, ajan-temelli modelleme, kurallar ve var olan özellikler ile yapılan deneyler doğrultusunda fenomenleri daha iyi anlamaya yardımcı olmak amacı ile kullanılır (Wilensky ve Rand, 2015, s.22). Ajan-temelli modellemenin çekirdek fikri, temelde dünyadaki pek çok fenomenin etkin bir şekilde modellenebileceği ve ajan-ajan, ajan-çevre arasındaki ilişkilerin tanımlanabileceğinin gösterilmesidir (Wilensky ve Rand, 2015, s.33). Bu gösterimi sağlamak için genellikle uygulamaları bilgisayar simülasyonları ile yapılmakta ve uygulamaların merkezine fenomenlerin açıklanması konulmaktadır. Fenomenlere ilişkin çözüm önerilerinde bulunmak öncelikli amacı değildir. Ancak söz konusu açıklamaların geçerli olabilmesi için öncelikli olarak oluşturulan modellerin doğruluğu ve geçerliliğinin incelenmesi gerekmektedir.

4. 1. 2. Doğrulama ve Geçerlilik

Ajan-temelli modelleme kapsamında oluşturulan modellerin dikkatli bir değerlendirme sürecinden geçmesi gerekmektedir. Bu amaçla ajan-temelli modellerde, model yapısı oluşturulduktan ve çalışan bir model elde ettikten sonra doğrulama ve geçerlilik adımları uygulanır. Bu adımlar ajan-temelli modelleme aracılığı ile modellenmiş sosyal fenomenlere ilişkin teorileri açıklamak için araştırmacının amacına uygun olarak hazırladığı araştırma sorularına yanıt vermeden önce modelin güvenilirliğini onaylamaktadır. Bu amaçla uygulanan *doğrulama* (verification),

uygulanana modelin tasarlanan ile eşleştigiinden, geçerlilik ise gerçek dünya ile eşleştigiinden emin olma sürecidir (Macal ve North, 2005).

Doğrulama, modelin ajan-temelli modellemeye dayalı olarak programlama hatalarına duyarlı bilgisayar kodlarınca oluşturulmasından kaynaklı olarak tasarlanan ve amaçlanana göre çalışıp çalışmadığını kontrol etme işlemidir (Manson, Sun ve Bonsal, 2012, s.130).

Geçerlilik (validation) ise, simülasyonun gerçek dünya sistemi için iyi olup olmadığını araştırır. Hedeflenen davranışların yansımaları içeren model geçerlidir. Modeli geçerliliğini kontrol etmenin yaygın yolu, simülasyon sonuçlarının hedefle alakalı olarak toplanan gerçek verilerle karşılaştırılmasıdır (Abdou, Hamill ve Gilbert, 2012, s.152).

4. 1. 3. Evrimsel Oyun Teorisi Çerçevesinden Ajan-Temelli Modelleme

Belirtildiği gibi ajan-temelli modelleme, temellerini bilgisayar bilimlerinden alan bir yöntem olmak üzere iktisat bilimine uyarlanması yeni heterodoks iktisat okulları bağlamında kompleksite iktisadının hesaplanabilir yöntemlerini temsil eden ajan-temelli hesaplanabilir iktisat kapsamında gerçekleşmiştir. Bu nedenle temelde kompleksite iktisadının konusu olan kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizini konu edinmektedir. Bu bağlantıdan dolayı, evrimsel oyun teorisinin ajan-temelli modelleme içerisinde bulunduğu nokta aslında kompleksite iktisadının içerisinde bulunduğu nokta ile eş değerdir. Bu bölümün ise, oyun teorisinin heterodoks iktisattaki yeri bölümüne ek olarak altını çiziceği tek nokta, kompleks sistemin uyarlanma özelliği ile ortaya çıkan heterojen ajanlarla yapılacak analizlerde, evrimsel oyun teorisinin etkilerinin hesaplanabilir yansımalarını da mevcut olacağıdır.

Kompleks sistemlerin içerdiği evrim düşüncesinin uyarlanabilirlik özelliği ile sistemde temsil edilmesi, sistem içerisindeki ajanların stratejilerini çevre koşullarındaki değişimler ve diğer ajanların davranışlarındaki değişimlere verdiği cevaplar ile değiştiren varlıklar olmaları anlamına gelmektedir. Bu türden ajanlar aynı zamanda sınırlı rasyonel ve heterojen olacaktırlar (aksi halde hepsi aynı stratejiye yönelirdi). Ajan-temelli modellemenin doğası gereği ortaya çıkan bu uyarlanma durumu, modele

evrim, öğrenme ve patika bağımlılığı gibi kavramları da beraberinde getirmektedir. Bu noktada ajan-temelli modellemenin en önemli sorusu bu öğrenme ve evrim düşüncesiyle arasındaki ilişkinin hesaplanabilir düzeyde nasıl işleyeceği yönündedir.

Bu sorunun cevabı aslında ajan-temelli modellemenin ilk çalışmalarından olan Schelling (1971)'in eserinde veriliyor olsa da, evrimsel oyun teorisinden yararlanılarak kurgulanan ilk örneklerden biri olan Axelrod (1984)'un eseri sayesinde evrimsel oyun teorisi, ajanlara ilişkin öğrenmeyi modele yansıtan hesaplanabilir bir yöntem olarak ajan-temelli modellemeyi kullanmaya başlamıştır.

Bir diğer önemli örnek ise *Hayat Oyunu* (Game of Life) örneğidir. Oyun John Horton Conway tarafından 1970 yılında geliştirilmiş, aynı yıl Martin Gardner'ın *Scientific American* dergisindeki köşesinde yayınlanmıştır (Iltanen, 2012, s.72). Bu oyun hücresel otomasyonun ilk örneği olmakla birlikte, belli basit kurallar ve hücrelerin bu kurallara göre hareket etmesi üzerine kuruludur. Hayat Oyunu örneği tamamen bir ajan-temelli model olmamasına rağmen, üç basit davranış kuralının karmaşık çıktılardaki yükselişe nasıl sebep olduğunu gösteren bir örnektir (Axelrod ve Tesfatsion, 2005, s.1652). Bu yönüyle de evrimsel kuralların hesaplanabilir yöntemler üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Bu üç temel basit kural aşağıdaki gibidir;

1- *Doğum kuralı*: Üç canlı (yaşayan) hücre komşusu olan ölü hücre, canlı (yaşayan) hücre olur.

2- *Hayatta kalma kuralı*: İki ya da üç canlı (yaşayan) hücre komşusu olan canlı(yaşayan) hücre hayatta kalır.

3- *Ölüm kuralı*: Aşırı yoğunluk ya da yalnızlığa sahip tüm diğer hücreler ölür ya da ölü kalmaya devam eder (Callahan, t.y.).

Hayat Oyununda, yaşam formları kendi kendini üretme yeteneğine sahiptir. Kendi kendini üretme sistemi, öğretim sistemini ve kopyalanacak veri için içerisinde depolanan bilgiyi kullanmaktadır (Casti, 1997). Yani, kesin başlangıç durumlarının oluşması halinde bu kesin başlangıç durumları sistem genişledikçe genişlediği bölgelere kopyalanacaktır. Bu noktada Hayat Oyunu örneği, hem kuralları hem de yaşam

formlarının kendi kendini üretme özellikleri nedeniyle evrimsel oyun teorisine göre kurgulanan kuralların ajan-temelli modellemenin çıktılarındaki ani yükselişe nasıl sebep olabileceğini gösteren önemli bir örnektir.

Evrimsel oyun teorisinin ajan-temelli modeller ile yapılan analizlerin çıktı düzeyleri üzerindeki etkisine dair başka bir örnek ise ajan-temelli modelleme çalışmaları ile ünlü Brian Arthur tarafından oluşturulan (1994) *El Farol Bar Problemi*'dir. El Farol Bar problemi, her hafta düzenli olarak bara giden ajan popülasyonunun hangi bara gideceklerine karar vermeleri üzerine basit kurallarla yazılmış bir başka ajan-temelli modellemedir. İçeriğindeki oyun kurallarına göre sadece bir bara gitme hakkı bulunan ajanlar, gidecekleri bar en az %60 oranında doluluğa sahip ise o bara girmemektedirler. Ajanların geçmiş dönemi hatırlama sınırları dâhilinde zaman içinde her ajanın kendisine ait hangi bara gitmesi gerektiğine dair bir fikri oluşmaktadır. Bu anlamda, ajan-temelli modellemede kararların verilmiş biçiminde öğrenme ve adaptasyon süreçlerinin etkin olduğunu gösteren bu örnek, oyun kavramının temel mantığını da üzerinde taşımaktadır (Cecconi, Campenni, Andrighetto ve Conte, 2010, s.1).

Bu örneğin bir sonucu olarak evrimsel oyun teorisi ile kurgulanan ajan-temelli model simülasyonlarının öğrenme ve adaptasyon süreçlerini içereceği söylenebilmektedir. Stratejiler havuzunu oluşturan genetik popülasyon sadece öğrenen ajanlar tarafından kullanılabilir. Öğrenen ajanların bu stratejiler havuzunu kullanarak birbirleri ya da çevreleri ile girdikleri etkileşimler sonucunda gelir elde etmektedirler. Birçok simülasyon ajanların diğerlerinin deneyimlerine dayalı olarak öğrenmesi anlamına gelen *bireysel öğrenmeye* dayanmaktadır. İktisat alanında yapılan ajan-temelli model simülasyonlarında hangi tip öğrenmenin bir modelin özel bir problemine daha uygun olacağı kullanılan iktisadi modele bağlı olarak değişir. Bir öğrenen popülasyon modelinde, ajanlar diğer ajanların stratejilerinin bir parçasını tekrar kombinlemeye dayalı olarak da kendilerinin stratejilerini uyarlayabilmektedirler. Bu, kendi stratejilerin bir parçasının diğer ajanlar için de görünür olabileceğini anlamamızı sağlamaktadır (Alkemade, 2004, s.16).

Görüldüğü gibi bu tür ajan-temelli model simülasyonları özelinde evrimsel algoritmalar, heterojen, sınırlı rasyonel ajanların davranış ve etkileşimlerini hesaplanabilir hale getirmede bir araç olarak kullanılmaktadır. Ajan-temelli model simülasyonları kapsamında kullanılan evrimsel özellikler, ele alınan örnek probleme ilişkin her koşuldan yalıtılmış bir çözüm (optimizasyonda olduğu gibi) geliştirmekten çok, dinamik ve öngörü sağlayan sonuçlar elde edebilmeyi mümkün hale getirmektedir. Ajan-temelli model simülasyonları kapsamında kullanılan evrimsel oyun hesaplanabilir çıktılar üzerinde yarattığı bu etki nedeniyle, analitik olarak işlemeyen iktisadi problemlere uygulanabilir olma özelliği taşımaktadır (Alkemade, 2004, s.15).

4. 2. Ağ Teorisi

Kompleks sistemlerin modellenmesinde önemli bir araç olan ajan-temelli modellemenin üç önemli elemanının ajan, çevre ve etkileşimler olduğu belirtilmiştir. Böylece ajan-temelli modelleme kapsamında ajanla diğer ajanlar ve ajanla çevre arasındaki etkileşimler tanımlanıp, gösterilmektedir. Bu noktada ajanlara ilişkin bu etkileşimlerin modeldeki ifadesi farklı topolojiler aracılığı ile yapılmaktadır. Şekil 4. 1.'de detaylı olarak gösterilen bu topolojiler günümüzde ajan-temelli modelleme kapsamında en çok kullanılanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Hücresel otomasyon ajan etkileşimleri ve ajanlara uygun olarak kullanılacak yerel bilgiyi ızgara (grid) ya da kafes (lattice) kullanıp, hücreyi komşu ajanlarla çevreleyerek temsil etmektedir. Ağlar gibi diğer ajan etkileşimleri topolojileri ise, bir ajanın komşuluğunun daha genel olarak tanımlanmasına ve ajanın etkileşim kalıplarının tanımlanmasına izin vermektedir (Macal ve North, 2008, s.106). Bu nedenle, ajan-temelli modellemede ağ topolojisinin kullanımı oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Berryman ve Angus (2009) da çalışmalarında, ajan-temelli modellemede ağların kullanımının önemine benzer şekilde dikkat çekmektedir. Çalışmalarında, her kompleks sistemin açıkça ya da ima ederek de olsa mutlaka ağ yapılarını içereceğini belirtmekte, bu sebeple ağ teorisini anlamamanın ajan-temelli modelleme yapabilmek açısından önemli olduğunun altını çizmektedirler (Berryman ve Angus, 2009, s.1). Sonuç olarak, ajan-temelli modelleme yapabilmek için gereken varsayım ve şartların gösteriminin ağ modelleri ile yapılmasının sistemin içerdiği ağ yapısını ifade etmede de kolaylık sağlaması nedeniyle birlikte

kullanımının alanda sık rastlanan bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle sosyal bilimler alanında yapılan ajan-temelli modellemelerde de çevrenin, ağ topolojisi ile ifade edilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır.

Ağ teorisinin temeli Graf teorisine (çizge kuramı) dayanmaktadır. Graf teorisi ise, Leonhard Euler'in 1741'de yayınlanan *Konum Geometrisine İlişkin Bir Problemin Çözümü* (Solutio Problematis ad Geometriam Situs Pertinentis) isimli çalışması ile ortaya çıkmıştır. Euler bu çalışmasında ünlü Königsberg köprüleri probleminin çözümsüzlüğünü kanıtlamaktadır*. Euler bu kanıtta, içinde uzaklık ve ölçü kavramı olmadan konumlarla ilgilenen yeni bir geometriden söz etmektedir (Karaca, 2013, s.32). Bu geometri zamanla graf teorisi olarak yaygınlaşmış ve matematik için büyük önem arz eden güçlü bir teori halini almıştır.

Bu noktada Newman, Barabási ve Watts (2006) şu soruyu gündeme getirmektedir. Eğer graf teorisi bu kadar güçlü ve genel bir dil ise ve bugüne kadar alanda güzel çalışmalar yapıldı ise ağ teorisinin farkı ve alandaki yeri nedir? Bu noktada Newman, Barabási ve Watts (2006), graf teorisini temel alarak gelişen ağ teorisinin son yıllardaki çalışmalarının, graf teorisi çalışmalarından 3 noktada ayrılmakta olduğunu söylemektedirler. Bunlar; (1) gerçek dünya ağları özelliklerinin ne olduğuna odaklanarak teorik soruların yanında deneysel sorulara da cevap araması, (2) sıklıkla, ağların statik olmadığı ancak zaman içinde değişen dinamik kurallara göre genişlediği görüşünü benimsemesi ve (3) sonuçta, ağları en azından sadece topolojik nesneler değil, aynı zamanda dağılmış dinamik sistemlerin inşası için bir çerçeve olarak kullanmayı hedeflemesidir (Newman, Barabási ve Watts 2006, s.4). Bu üç özelliğin son dönemde gelişen ağ teorisi çalışmalarında yer alan ağ topolojilerinde bulunması sebebi ile son yıllarda, matematikçi, fizikçi, bilgisayar bilimci, iktisatçı, biyolog, sosyolog gibi bilimin çeşitli alanlarından bilim adamları, yeni araştırma alanları olan kompleks sistemlerin

* Şuan Rusya'da Kaliningrad isimli şehir olan Königsberg'in içinden geçen Pregel Irmağı üzerine yedi adet köprü vardır. Kentin bir noktasından hareket eden kentliler her köprüden yalnız bir kez geçerek başlangıç noktasında dönebilmeyi ummaktadırlar. Farklı noktalardan hareket eden kişilerin bu konuda başarılı olamaması üzerine, Euler yedi köprüden yalnızca birkez geçerek başlangıç noktasına dönmenin mümkün olmadığını gösteren matematiksel kanıtı sunmuştur (Karaca, 2013, s.32).

incelenmesinde geniş ölçüde ağ teorisinden yararlanmaktadır (Newman, Barabási ve Watts 2006, s.1).

Böylece son yıllarda kullanılan hali ile ağ modelleri, sosyal bilimlerdeki kompleks sistemlerin ajan-temelli modeller ile incelenmesi sırasında kullanılan bir araç haline almıştır. Estrada (2013), kompleks sistemlerin ajan-temelli modeller kapsamında ağlar ile ifadesini 21.yy da *mağşeri bir enerji* ile ortaya çıkan disiplinler arası bir alan olarak nitelendirirken, sözü edilen kompleks sistemlerin moleküler, biyolojik ve ekolojik olabileceği gibi sosyal, iktisadi ve teknolojik de olabileceğini de belirtmektedir. Bu nedenle, kompleks sistemlerin analizi sayesinde yeni ufuklar açılması için graf teorisi ve ondan temel alarak gelişen ağ teorilerinin sahiplenilmesi gerektiğinin altını çizmektedir (Estrada, 2013, s. 2)

4. 2. 1. Ağ Teorisine İlişkin Temel Kavramlar

Ajan-temelli modelleme ve ağ teorisi arasındaki ilişkinin temel kaynağının, ajan-temelli modellemede çevre olarak adlandırılan ve içinde ajanın komşulukları ve ajanlar arasındaki etkileşim kalıplarının gösterildiği yapının ağ topolojisi ile ifadesi olduğu bilinmektedir. Bu gösterimin etkili bir biçimde yapılması ise ancak ağ teorisince kullanılan temel kavramların ne gibi özelliklere sahip olduğunun anlaşılması ile mümkün olmaktadır.

Sosyal bilimlerde analizlerin gerçek dünyaları temsil edebilecek ağlar ile yapılması tercih edilmektedir. Ancak gerçek dünyayı temsil eden bir ağ topolojisinin kurulamayacağı durumlar için belirlenen bazı parametreler kullanılarak sentetik ağlar oluşturulabilmektedir. Bu sentetik ağlarda, ulaşılan sonuçların güvenilir olması için de yine ağ yapısına ait sözü edilen parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler, ağa ilişkin bazı özet istatistikler ve ağ yapısını belirleyen; derece dağılımı, ortalama yol uzunluğu, kümelenme katsayısı ve merkeziliktir. Bu parametrelerin hesaplanması ile ağın gerçek dünyayı temsil eden ağlara ne kadar uyum sağladığı, ya da sağlamadığı araştırmacı tarafından belirlenip, eğer uygunsa oluşturulan sentetik ağlar üzerinden inceleme konusu olan durumun seyri izlenebilmektedir (Akal, 2014, s.252).

Bu nedenle ağılara ilişkin, temel kavramlar başlığı altında öncelikle graf teorisinden gelen temel kavramlar olarak ağı gösterimi ve bağlantılarının ne şekilde oluştuğu, ardından ise ajanları simgeleyen düğüm ve aralarındaki etkileşimleri simgeleyen bağlantılara ilişkin özet istatistikler ile ağ yapısını belirleyen parametreler incelenecektir.

4. 2. 1. 1. Ağların Gösterimi

Kompleks sistemlerin kendine özgü yapılarından dolayı, ajanlar arası etkileşimler çok çeşitli şekillerde ve boyutlarda olabilir. Bu nedenle ağların gösterimini kapsayan tek bir yöntem yoktur. Ancak yine de, birçok araştırma için yeterli olabilecek birkaç temel gösterim mevcuttur (Jackson, 2008, s. 39). Newman (2010, s.108) 'ın tanımına göre; ağlar, düğümlerin bağlantılarla bir araya geldiği düğümler kümesidir. Bu tanımdan anlaşılabilceği gibi ağların gösterimlerine geçmeden önce, ağı oluşturan temel elemanlar olan *düğüm* (vertex, node) ve *bağlantıların* (link, edge) tanımlanması gerekmektedir. Düğümler ve bağlantılar ağlar ile ifade edilen yapının ait olduğu konuya göre değişen isimler alabilmektedir. Örneğin, bilgisayar biliminde düğümler bilgisayar ya da yönlendirici, bağlantılar ise kablolar olabilir. Sinirsel ağlarda, düğümler nöronları, bağlantılar ise sinirleri ifade edebilir. Sosyal bilimlerde ise düğümler ajanları, bağlantılar ise diğer ajanlarla olan etkileşimlerini göstermektedir (Newman, 2010, s. 108). Ağların matematiksel gösterimi Graf teorisindeki grafların gösterimi ile aynı ve Denklem 4. 1'deki gibidir:

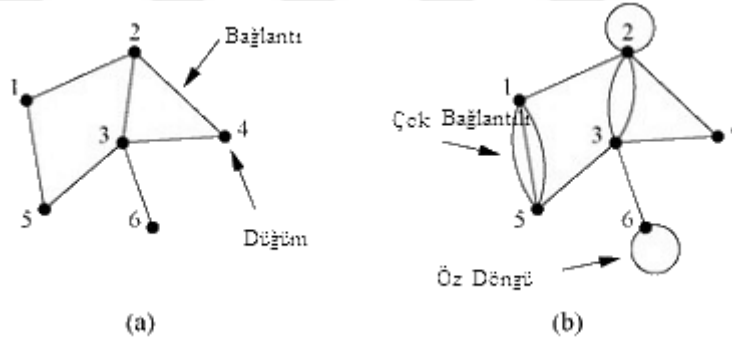
$$G = (V, L) \quad (4. 1)$$

Bu gösterimde, G grafi ifade ederken, *düğümler* V , *bağlantılar* ise L ile ifade edilmektedir. Gösterimden de anlaşıldığı gibi, ağlar düğüm ve bağlantılardan oluşmaktadır. *Basit graflarda*, her düğüm çifti bir bağlantı ile birbirine bağlı olmaktadır.

Ancak, söz konusu olan araştırmanın özellikleri nedeniyle bağlantılarla ifade edilen etkileşimlerin yapısının farklı olması, düğüm çiftlerinin birden fazla bağlantı ile birbirine bağlı olması durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Bu tür düğümlerin olduğu graflar *çok bağlantılı* ya da *çoklu graf* (multi-graph) olarak adlandırılırlar. Benzer şekilde ağ içinde aynı zamanda hem başlangıç hem de bitiş noktası olan bir düğüm yer

alması ise *öz döngü* (loops) olarak ifade edilir. Çoklu graf ya da öz döngülü düğümler içeren graflar, *basit olmayan graflar* şeklinde adlandırılır (Newman, 2010, s.108-109).

Yukarıda sözü edilen basit, çoklu ve öz döngü içeren graflarda düğümler arasındaki etkileşimleri ifade eden bağlantıların, hangi düğümden hangisine doğru olacağına dair herhangi bir bilgi söz konusu değildir. Bu nedenle sözü edilen ağlar *yönsüz* (undirected) olarak tanımlanırlar. Şekil 4. 2.'de (a) şıkkı ile gösterilen graf, yönsüz ve öz döngü içermeyen bir basit graftır. (b) şıkkı ile gösterilen graf ise, yönsüz ve öz döngü içeren bir çoklu graf, diğer deyişle basit olmayan bir graftır. Bu tür çoklu bağlantım ve öz döngü içeren graflar, graf teorisinde *pseudo graf* olarak da adlandırılır (Andiz, 2015, s.3).



Şekil 4. 2. Basit ve Basit Olmayan Graflar

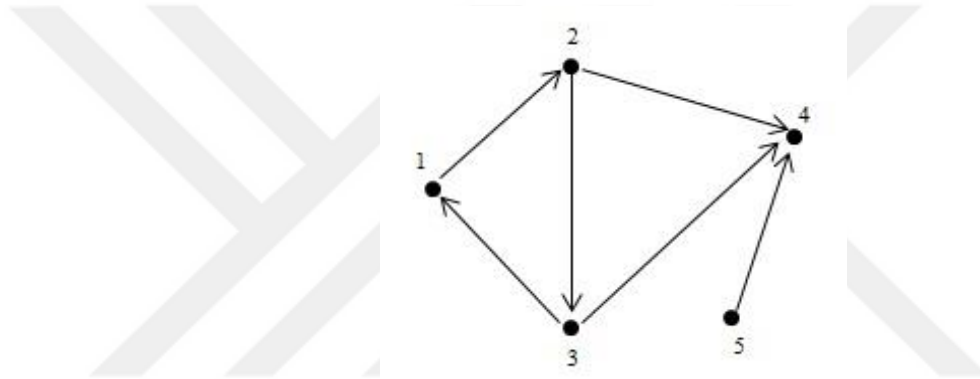
Not: a-Basit Graf, b- Basit Olmayan Graf (Pseudo Graf)

Kaynak: Newman, M. E. J. (2010). *Network An Introduction*. U.S.A.: Oxford University Press, s. 109.

Yönlü graflar ise etkileşimlerin yönünü düğümler arasındaki bağlantıları ok işaretleri ile yönlendirerek ifade etmekle birlikte, özellikle graf teorisinin sosyal olaylara uyarlanması sonucu ortaya çıkan ve gerçek dünya fenomenlerinin gösteriminde kullanılan ağların oluşturulmasında büyük yarar sağlamaktadır. Bunun nedeni, gerçek dünyada düğümlerle ifade edilen ajanlar arasındaki ilişkilerin yönsüz ve nedensiz olmasından çok, belirli nedenlere dayalı olarak oluşması ve bir ajandan diğerine (ya da karşılıklı) olması durumuna daha çok rastlanmasıdır. Van Steen (2010) çalışmasında, bu duruma örnek verirken kavşakları düğümlerle, sokakları ise bağlantılarla gösterilen bir şehre ait sokak planında, tek yönlü yolların gösterimini ifade edebilecek bir yön göstergesinin ihtiyacına değinmiştir. Benzer şekilde insanlar arası sosyal ilişkileri ifade

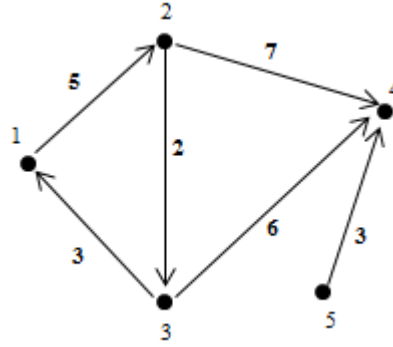
eden ağlarda, a kişisi b kişisini tanıyor olabilecekken b kişisi a kişisini tanımıyor olabilir. Bu durumda da ağ içinde ilişkinin yönünü belirtme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Bu ihtiyacı karşılayan yönlü graflar, graf teorisinde *diagraf* isimi almakta ve Şekil 4. 3.'deki gibi gösterilmektedir. Denklem 4. 1'de $G = (V, L)$ olarak ifade ettiğimiz grafta V düğümler, L ise bağlantılar kümesi iken, $\forall l \in L$ olmak üzere, i ve j ile gösterilen iki düğümü birbirine bağlayan her l yayı, $\text{arc } l = \langle \overrightarrow{i, j} \rangle$ olarak gösterilir. Bu gösterimde, u düğümü *kuyruk* (tail) iken, v düğümü *baş* (head) olarak adlandırılır (Van Steen, 2010, s.57-58).



Şekil 4. 3. Yönlü Graf Gösterimi

Yine gerçek dünya ağlarından hareketle belirtmek gerekirse, ajanlar arasındaki etkileşimleri ifade eden bu bağlantılar belirli nedenlerle belirli bir ajandan diğerine, yani yönlü olarak oluşabileceği gibi, farklı önem derecelerine de sahip olabilirler. Çalışmasında gerçek dünyaya ilişkin örnekler veren Van Steen (2010) bu konuda da bir tren yolu ağını örnek göstermektedir. Verdiği örnekte, iki tren istasyonu arasındaki mesafe, bağlantılarla simgelenirken tren istasyonları düğümlerle ifade edilmektedir. Bu durumda bağlantıların yani istasyonlar arası mesafelerin kısa veya uzun olması bazı koşullar altında farklı sonuçlara sebebiyet verebileceğinden, önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu tür bir ağda, istasyonlar arası mesafe *ağırlık* olarak ifade edilmektedir. Ağırlık barındıran graflara ise *ağırlıklı* (weighted) graf denmektedir. Ağırlık barındırmayan bağlantıların olduğu graflarda ise, her düğüm ikilisi arasındaki bağlantılara ait bu önem sabit olarak kabul edilmektedir. Ağırlıklı bir graf örneği Şekil 4. 4.'te verilmektedir.



Şekil 4. 4. Ağırlıklı Graf Gösterimi

Buraya kadar verilen graf tür ve özellikleri özet olarak Tablo 4. 2.'de sunulmaktadır.

Tablo 4. 2
Graf Tipleri ve Özellikleri

Tip	Kenar	Çoklu Kenara İzin var mı?	Döngüye İzin var mı?
Basit Graf	Yönsüz	Hayır	Hayır
Çoklu Graf	Yönsüz	Evet	Hayır
Pseudo Graf	Yönsüz	Evet	Evet
Yönlü Graf	Yönlü	Hayır	Evet
Yönlü Çoklu Graf	Yönlü	Evet	Evet

Kaynak: Andiz, M. B. (2015). *Euler-Graf Teorisi, Çizgeler Kuramında Belitler, Ölçüm, Çizgileri, Königsberg Köprüleri.*
<https://www.researchgate.net/publication/283462876>, s.4.

Graflar, iki düğüm arasındaki bağlantının genellikle negatif olmayan bir değer aldığı yakınlık matrisleri ile ifade edilir (Mieghem, 2011, s.15). Yakınlık matrisi ise, bağlantı listesi adı verilen listenin oluşturulması yardımı ile yazılabilmektedir.

Düğüm sayısı n , bağlantı sayısı m olan bir ağda, herhangi i ve j düğüm çifti arasındaki bir bağlantı (i, j) olarak gösterilirse; tüm ağ verilen düğüm ve bağlantı sayısı kullanılarak tanımlanabilir. Örneğin Şekil 4. 2.' de a şıkkı ile gösterilen ağ, $n=6$ düğüm ve $m=7$ bağlantıya sahip iken, $(1,2)$ $(1,5)$ $(2,3)$ $(2,4)$, $(3,4)$ $(3,5)$ ve $(3,6)$ şeklinde tanımlanabilir. Bu tanımlama *bağlantı listesi* (edge list) olarak adlandırılır. Bağlantı listesi bilgisayarlar üzerinde ağ yapısının depolanması için kullanılır. Bu listenin gösterimini ifade eden matrise ise *yakınlık matrisi* denir (Newman, 2010, s.109).

Şekil 4. 5.'te gösterilen yakınlık matrisi, n düğüm içeren G grafinin $N \times N$ boyutlu, bağlantılarını ifade eden a_{ij} elemanlarından oluşan A matrisidir. $a_{ij}=1$, (i, j) düğümleri arasında bağlantı olduğunu gösterirken, diğer durumlar $a_{ij}=0$ olarak gösterilmektedir. Eğer yönsüz bir grafta, öz döngü ($a_{ii}=0$) ve çoklu bağlantı yok ise, bağlantılar $a_{ij}=a_{ji}$ olacağından, yakınlık matrisi $A=A^T$ olacaktır. Yani diyagonal matris elemanları 0 olan simetrik bir matris elde edilmektedir(Mieghem, 2011, s.13). Daha açık belirtmek gerekirse, her $a_{ij}=1$, i ve j arasında yakınlık/komşuluk ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Bu tür ağlar aynı zamanda, yakınlık matrisinin simetri özelliğinden dolayı *ikili* (binary) graf olarak adlandırılmaktadır (Lakra, Prasad ve Ramakrishna, 2014, s.3).

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{N \times N}$$

Şekil 4. 5. Yakınlık Matrisi Gösterimi

Özetle, yakınlık matrisleri iki düğüm arasındaki bağlantıyı (i, j) gösterirken, bunu düğümler arasındaki mantıksal değerleri (bağlı ya da bağlı değil) temel alarak oluşturmaktadır. Ancak yakınlık matrisi, aradaki bağlantının yönünü göstermediği için yönsüz grafların gösterimi için uygun olurken, yönlü graflar için yetersiz kalmaktadır. Bir düğüm ve ona ait bağlantıların yönüne ilişkin veriyi de içeren (i, l) matris ise *çakışıklık matrisi* olarak adlandırılır (Introduction to Network Theory, t.y., s.50). L bağlantıları ifade ederken, $N \times L$ boyutlu B matrisi çakışıklık matrisi göstermekte olup, (e_l bağlantıları göstermek üzere) bağlantıların varlığı ve yönünü ifade eden b_{il} elemanlarından Denklem 3. 2'de verilen koşullar ile oluşmaktadır.

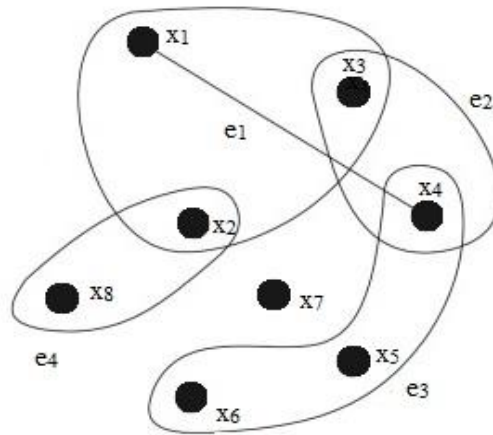
$$b_{il} = \begin{cases} 1, \text{eğer } e_l = i \rightarrow j \text{ ise} \\ -1, \text{eğer } e_l = j \rightarrow i \text{ ise} \\ 0 \text{ diğer durumlar} \end{cases} \quad (3. 2)$$

Çakışıklık matrisi, bağlantıların yönünü gösterebilmesi nedeniyle, yönlü graflar için uygun olmasına rağmen yönsüz bir graf için de oluşturulabilmektedir. Bu durumda çakışıklık matrisi $N \times (2L)$ boyutlu olarak ifade edilmektedir. Bu matris elemanlarını oluşturmak için her (i,j) bağlantısı için, $i \rightarrow j$ yönü için bir kez ve $j \rightarrow i$ yönü için bir kez olmak üzere toplamda iki kez bağlantılar sayılmaktadır. Bu durum ise, ileride anlatılacak olan düğüm derecesini iki katına çıkardığı için yönsüz graflarda çakışıklık matrisi yerine, bu tez kapsamında ele alınmayacak olan R işaretli çakışıklık matrisinin kullanımı tercih edilmektedir (Mieghem, 2011, s. 14).

Bağlantıların yönüne ilişkin bu veri, bir düğümün o bağlantının son düğümü olup olmadığının araştırılması sırasında, dolaylı olarak bağlantının kaç düğümü bağladığı sorusuna da yanıt vermektedir. Bu durumda, eğer bağlantı iki düğümünden fazlasını birbirine bağlıyorsa, *hiperbağlantı* (hyperedges), bu türden bağlantıları içeren graflar ise, *hipergraf* (hypergraph) olarak adlandırılmaktadır. Hipergraflar Denklem 4. 3'deki gibi ifade edilmekle beraber, bu ifadedeki X düğüm elemanları kümesi E ise hiperbağlantılar olarak adlandırılmış olup, X 'in boş olmayan alt kümesidir.

$$H = (X, E) \quad (4. 3)$$

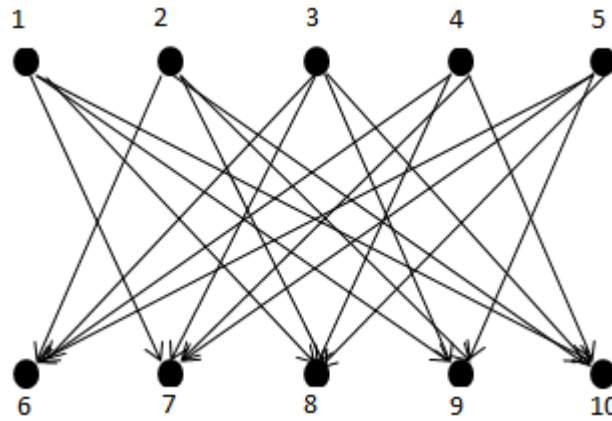
Şekil 4. 6'de gösterilen hipergrafta, $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$, $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ olmak üzere, hipergraf ancak siyah noktalarla ifade edilen $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ düğümleri birbirine bağlı olduğu sürece bağlantılı bir graftır (Bretto, 2013, s.24).



Şekil 4. 6. Hipergraf Gösterimi

Graflar zaman içinde çeşitli şekillerde doğal olarak bölünmüş olabilirler. Bu bölünme, Denklem 4. 1 ile verilen ifadede düğümleri temsil eden V kümesinin alt kümeye ayrılması ve hiçbir bağlantının aynı alt kümedeki düğümleri bağlamayacağı şekilde oluşması ile söz konusu olmaktadır. En çok görülen örneklerinden birisi *ikili graf* (bipartite graph) adını alan graf türleridir. Diğer bir deyişle, her düğüm diğer alt kümeden bir düğüm ile bağlı olacaktır. Bir grafın ikili graf olması demek $V_1, V_2 \in V$ olmak üzere, V 'nin içerdiği bağlantıların son noktalarının bir tanesi V_1 alt kümesinden bir düğümde iken diğerinin V_2 alt kümesinden bir düğümde olması demektir (Van Steen, 2010, s.46).

Şekil 4. 6.'da görülen hipergraf örneğinden de anlaşılacağı gibi hipergraflar içerdiği X ve E kümeleri yapısından dolayı aynı zamanda bölünmüş graflar için bir oluşum altyapısı olmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak her hipergraf Şekil 4. 7.'de gösterildiği gibi bir ikili (bipartite) graftır ancak tersi durum, yani her ikili grafın bir hipergraf olması çoğunlukla gerçekleşmekle beraber her zaman geçerli olmayabilir (Sturgeon, 2014, s.6).



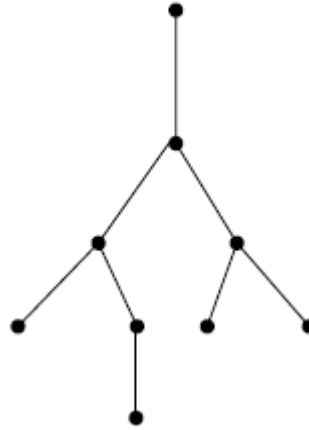
Şekil 4. 7. İkili Graf Gösterimi

Grafların gösteriminde iki düğümden daha fazlasını birbirine bağlayan hiperbağlantılara ek olarak, iki düğüm arasında birden fazla bağlantı olması durumu da söz konusudur. Birden fazla bağlantı içeren bu tür düğümlerin, bağlantı sayısını gösteren değere *düğüm derecesi* denmektedir. Derecesi 0 olan düğüme, *izole düğüm*

(isolated vertex), bu türden düğümlerin bulunduğu graflara ise *bağlantısız graf* (disconnected graph) denilmektedir. Bu ifade, bağlantısız graflarda ağ içerisinde diğer düğümlerle hiç bağlantısı olmayan düğüm ya da düğümlerin yer alacağı anlamına gelmektedir. Tüm düğümlerinin en az bir bağlantısı olan graflar ise *bağlı graf* (connected graph) olarak adlandırılır. Yönsüz ve herhangi bir döngü içermeyen bağlı graflar *ağaç* (tree) olarak da ifade edilebilir. Verstraete (2014)'e göre bir G grafının ağaç olması için sağlaması gereken üç şart vardır.

1. G grafi bağlı ve döngüsüz olmalıdır.
2. G grafi bağlı ve her bağlantı G 'nin bir köprüsü olmalıdır.
3. G grafi üzerinde bulunan düğüm sayısından 1 eksik sayıda $|V(G)| - 1$ bağlantı içermelidir.

G grafının döngüsüz ve bağlı olması demek her bağlantının köprü olmasını gerektireceğinden 1. ve 2. maddeler eşdeğerdir. Ağaç olarak ifade edilen graf örneği Şekil 4. 8.'de verilmektedir.



Şekil 4. 8. Ağaç Gösterimi

Ağaçlar, kökleri ifade eden örneğin bir aile ağı olmadıkça, bir hiyerarşiyi ifade etmezler. Böyle bir aile ağacı düşünülecek olursa, son nesli ifade eden ve çocuğu olmayan düğümler, ağacın *yaprakları* (leaves) olarak adlandırılır. *Orman* (forest) ise, ağaçların ayrık birleşimidir (Verstraete, 2014, s.3).

Bir ormanı oluşturan ayırık birleşimlerin (ağaçların) her biri, bir birleşendir. Daha genel ifadesi ile ağdaki alt grupların her biri *birleşen* (component) olarak adlandırılır. Teknik olarak bir birleşen, ağın tüm düğümlerinin bir alt kümesidir. Bu alt kümenin her üyesinden diğerlerine en az bir patika bulunmaktadır (Newman, 2003). Bir G grafindaki birleşenlerin sayısı, $\omega(G)$ ile gösterilir.

Görüldüğü gibi ağların gösterimi büyük ölçüde ağ teorisinin temellerini aldığı graf teorisi ve graf teorisinin temel elemanlarının kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu kapsamda bu çalışma içinde değinilmeyen pek çok farklı ağ gösterimi de mevcuttur. Var olan ağ gösterimlerinin yanı sıra, ağlar zaman içinde genişleyebilirler. Bu genişleme, düğüm ve bağlantıların görünüp kaybolması ya da düğümlerce veya bağlantılarca tanımlanan değerlerin değişmesi ile gerçekleşerek farklı ağ yapılarını ortaya çıkartabilir. Bunun dışında araştırmacılarca yapılacak çalışmalarda da ağ gösterimlerine eklenebilecek birçok ileri seviyede karmaşık yeni gösterim söz konusu olabilir. Bu nedenle ağ teorisi aslında sürekli yeni çalışmalarla gelişen ve tamamlanmamış bir bilim olarak görülmektedir (Newman, 2003, s.171).

4. 2. 1. 2. Ağ Bağlantıları

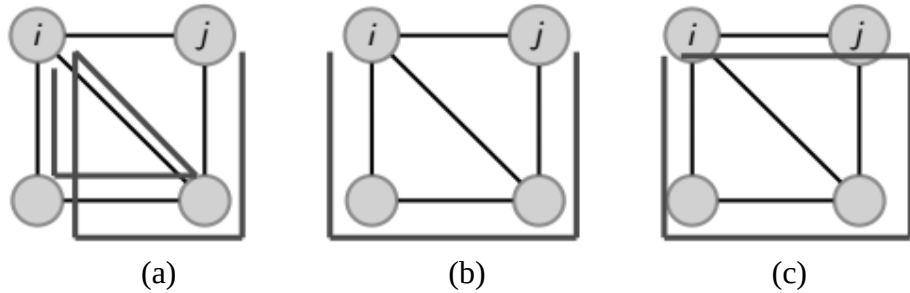
Ağ teorisinde, yukarıda gösterimleri anlatılan ağlar üzerinde yer alan düğümler arası bağlantılara ilişkin de bir takım tanımlamalar da mevcuttur. Bu tanımlamaların iyi anlaşılması, ileride ağ modellerini birbirinden ayırmak için kullanılacak parametrelerin doğru hesaplanması açısından da önem taşımaktadır.

Bu noktada öncelikle ele alınması gereken temel kavram, düğümleri birden fazla bağlantıya sahip olmayan yönlü ağlarda, yakınlık matrisinde komşuluğu bulunan ardışık düğümlerin birinden diğerine geçerek tüm ağın dizilişinin çıkarılmasıdır. *Yürüyüş* (walk) olarak adlandırılan bu kavram, ilk elemanı ve son elemanı düğüm olmak üzere, ağdaki düğümlerden birden fazla kez geçilerek gerçekleştirilebileceği gibi ağdaki tüm düğümlerden bir kez geçilerek de gerçekleştirilebilir. Bu şekilde yapılan ve başlanan noktada biten yürüyüşler, *kapalı yürüyüş* (closed walk) ismini alır.

Özetle, $n=0, \dots, k$ olmak üzere n sayıda düğümü bulunan ağ üzerinde $n_0=i$, $n_k=j$ iken, i düğümünden j düğümüne bir yürüyüş, $k-1$ adet yayın birbirini izleyen formudur ve $(n_0 \rightarrow n_1)(n_1 \rightarrow n_2) \dots (n_{k-1} \rightarrow n_k)$ şeklinde gerçekleşecektir. Şekil 4. 9.'un a şıkında bir yürüyüş örneği görülmektedir.

Bu durumda, $n=0, \dots, k$ olmak üzere n sayıda düğümü bulunan ağ üzerinde $n_0=i$, $n_k=j$ iken, i düğümünden j düğümüne bir yürüyüş, $k-1$ adet yayın birbirini izlemesi ile ifade edilirken bu yayların k sayıda birbirini izleyen durumda olması kapalı yürüyüşü ifade etmektedir. k uzunluğundaki bir kapalı yürüyüş ele alındığında ise, i düğümünden başlayıp k zıplamadan sonra aynı düğüme dönülmesi durumu, k uzunluğundaki bir *çevrim* (cycle) olarak adlandırılacaktır. Çevrim en az üç düğümden oluşan, başlangıç ve bitiş noktası aynı olan bir kapalı yürüyüştür. (Mieghem, 2011, s.25). Şekil 4. 9.'un c şıkında bir çevrim örneği gösterilmektedir.

Yürüyüş sırasında üzerinden geçilen tüm düğümlerin birbirinden farklı olması durumunda bu yürüyüş *patika* (path) olarak adlandırılır. Eğer bir i düğümünden j düğümüne yönlü bir patika mevcut ise, i düğümü j düğümden *ulaşılabilir*dir (reachable) denilmektedir* (Sedgewick ve Wayne, 2011, s. 566). Şekil 4. 9.'un b şıkında patika örneği görülmektedir.



Şekil 4. 9. Yürüyüş, Patika, Çevrim Gösterimi

Not: (a) yürüyüş, (b) i ve j düğümleri arasındaki patika, (c) çevrim.

Kaynak: Acemoğlu, D., A. Özdağlar. (2009). Graph Theory and Social Networks. MIT Ders Notları. <http://economics.mit.edu/files/4620> (7 Ocak 2016), s.9.

* Yönsüz graflarda ulaşılabilirlik için, tüm düğüm ikililerinin grafin bağlı birleşenleri olarak tanımlanabilmesi gerekmektedir. Böyle bir grfta herhangi bir düğüm sadece ve sadece aynı birleşene ait ise diğerine ulaşılabilir (Sedgewick ve Wayne, 2011).

Buradan yola çıkarak patikanın da ağaç olma koşulunu sağladığını söyleyebiliriz. Bir başlangıç bir bitiş düğümü olmak üzere iki düğümden bile oluşsa, patika ağaç özelliği olmak için gereken 3 özelliği sağlamaktadır (Verstraete, 2014, s.3).

4. 2. 1. 3. Düğüm ve Bağlantılara İlişkin Temel İstatistikler

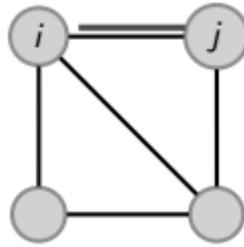
Graf teorisinde ve ağ teorisinde araştırmacılarca düğüm ve bağlantılara ilişkin bazı ölçümler kullanılmaktadır. Bu ölçümler aynı zamanda düğüm ve bağlantıların bireysel istatistiklerini ifade etmekte ve düğüm ve bağlantılara ilişkin referans bilgiler sunmanın yanı sıra ağ yapısını belirlemede kullanılan topolojik parametrelerin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. Temel olarak düğümler ile ilişkili olarak derece, bağlantılarla ilişkin olarak ise, en kısa patika uzunluğu ve diyametre istatistikleri söz konusudur.

Ağ yapısını belirlemek için referans alınan bu istatistiklerden birisi, düğümlere ilişkin olarak hesaplanan *düğüm derecesi*'dir. Yönsüz bir grafta, bir düğümün k derecesinin olması o düğümden k sayıda bağlantı olmasını ifade etmektedir. Yönlü grafta ise, bir düğümün derecesi, iç derecesi ve dış derecesinin toplamı ile tanımlanır ($k_i = k_{in,i} + k_{out,i}$). $k_{in,i}$, i düğüme gelen bağlantıların sayısı, $k_{out,i}$ ise, i düğümünden ayrılan bağlantıların sayısını ifade etmektedir. Yakınlık matrisi açısından ele alınacak olursa, simetrik bir yakınlık matrisinde $k_{in,i} = k_{out,i}$ olmaktadır. i düğümünün *en yakın komşusu* (nearest neighbor), bir bağlantı ile direkt bağlı olduğu düğümlerdir. Böylece, bir düğümün en yakın komşuların sayısı düğümün derecesine eşittir denilebilir (Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007, s.174).

Düğüm derecesi aynı zamanda ağlara ilişkin genel bilgi edinmemizi de sağlayan bir istatistiktir. Eğer yönsüz bir ağda tüm n 'ler için, k 'lar eşit ise, bu ağ *düzenli ağ* (regular network) olarak adlandırılır. Düğüm sayısı n olan düzenli bir ağda, tüm n 'ler için k 'lar $n-1$ ise bu durum, ağdaki tüm düğümlerin kendisi hariç her düğüme bağlı olduğunu ifade etmektedir ve bu tür ağlar *bütün ağ* (complete network) olarak adlandırılır.

Düğüm derecesinin yanında, bağlantılara ilişkin bir takım istatistiklerde ağ yapısının tespit edilmesinde önem taşımaktadır. Bağlantılara ilişkin en kısa patika

uzunluğu ve diyametre adı verilen bu istatistikler, Van Steen (2010) tarafından uzaklık istatistikleri başlığında değerlendirilmiştir. $l(i, j)$ 'nin, i ve j düğümleri arasındaki *en kısa patikayı* (jeodezik uzaklık) (ya da i ve j arasındaki en kısa uzaklığı) ifade ettiğini düşünürsek, ağın *diyametresi* (çapı), herhangi iki düğüm arasındaki en büyük uzaklık olacaktır. Yani diyametre, tüm $l(i, j)$ 'ler için; $\max_{i,j} l(i, j)$ olacaktır (Acemoğlu, 2009, s.14). En kısa patika uzunluğu Şekil 4. 10.'da verilmektedir. Şekil 4. 9.'da verilen yürüyüş, patika ve çevrim ile karşılaştırıldığında en kısa patika uzunluğunun hepsinden farklı bir ifade olduğu açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 10. En Kısa Patika Uzunluğu Gösterimi

Kaynak: Acemoğlu, D., A. Özdağlar. (2009). Graph Theory and Social Networks. *MIT Ders Notları*. <http://economics.mit.edu/files/4620> (7 Ocak 2016), s.9.

4. 2. 1. 4. Ağ yapısının Analizinde Kullanılan Topolojik Parametreler

Düğüm ve bağlantılara ilişkin istatistikler aracılığı ile ağ modelinin yapısını belirlemek için bazı parametreler hesaplanmaktadır. Watts ve Strogatz (1998)'e göre bu bölümde ele alınacak olan parametrelerden sadece ikisi olan ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısını kullanarak ağ yapısının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak alan yazında önemli sayıda araştırmacı bu iki parametrenin dışında ağ yapısını belirlemek için kullanılabilecek başka parametreler de önermişlerdir. Önerilen parametrelerden birisi Freeman (1977, 1978/1979) 'ın merkezilik ölçütüdür. Bu ölçüt, Borgatti (1995,2005) ve Bonacich (1987, 1991) tarafından yapılan farklı çalışmalarla kendi içinde gelişim göstererek, derece merkeziliği, yakınlık merkeziliği, arasındalık merkeziliği ve özvektör merkeziliği olarak ayrılmıştır. Bir diğer parametre ise, son dönemlerde ağ modelleri üzerine yapılan çalışmalarda önemli ölçüde rastlanan derece dağılımı parametresidir.

Ortalama Patika Uzunluğu:

Bir grafin uzaklık matrisi, tüm i düğümlerinden, tüm j düğümlerine olan uzaklıklarını içerir ve $D=[d_{ij}]$ şeklinde ifade edilen kare matrisle gösterilir. Bu değerler, ağırlıklı graf konusunda söz edildiği gibi bağlantının üzerine yazılarak gösterilen, iki düğüm arasındaki ulaşımın uzunluğu, süresi veya maliyeti olabilir. Bu matris yönsüz graflarda simetrik olmakla beraber, yönlü graflar için ise i düğümünden j düğüme giden bağlantıları ifade etmektedir. Eğer ağda i ve j düğümleri arasında bağlantı bulunmuyorsa, bu durum uzaklık matrisinde bu iki düğüm arasındaki bağlantıyı simgeleyen eleman d_{ij} 'nin, $+\infty$ olarak gösterilmesini gerektirmektedir.

Watts ve Strogatz (1998) tarafından önerilen ilk parametre olan ortalama patika uzunluğu (average path length), ağdaki herhangi iki düğüm arasındaki ortalama uzaklığı ifade etmekte ve uzaklık matrisi değerlerini (d_{ij}) içeren Denklem 4. 4'te gösterilen ifade ile hesaplanmaktadır. Bağlı bir ağda, ortalama patika uzunluğunun alabileceği en büyük değer diyametre dir.

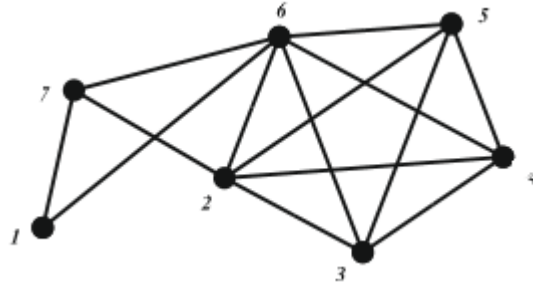
$$APL = \frac{\sum_{i \geq j} d_{ij}}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (4.4)$$

Kümelenme Katsayısı:

Kümelenme katsayısı (clustering coefficient) ise Watts ve Strogatz (1998)'ın ağın yapısını belirlemede kullandığı ikinci parametredir. İki farklı kümelenme katsayısı sıklıkla kullanılmaktadır. İlki aynı zamanda, geçişlilik olarak da bilinmektedir.

Geçişlilik, ağdaki ilişkilerin bağlılığının genişliğini (ilişki bağlılıklarının alt graflar arasında ne kadar genişlikte geçişe izin vereceğini) ölçmektedir. Örneğin eğer düğüm i ve j ve düğüm j ve t bağlı ise, i ve t de birbirine bir bağlantı ile bağlıdır ve bu onların geçişken olduğunu gösterir. Geçişlilik, aynı zamanda *bağlantılı birleşenler* (klik yapısı) ya da *kümelenmeler* olarak adlandırılan *her iki düğümü birbirine bir kenar ile bağlanmış alt grafların sayısını* ifade eden *bağlantılı birleşen sayısı* (klik sayısı

/cliquishness) ile aynı değeri ifade etmektedir (Maoz, 2011, s. 336). Bağlantılı birleşenlerin gösterildiği yapı Şekil 4. 11’de verilmektedir.



Şekil 4. 11. Klik Yapısının Gösterimi

Not: G grafında $V_1=\{ 1, 6, 7\}$, $V_2=\{2, 7\}$, $V_3=\{2, 3, 5, 6\}$ ve $V_4=\{2, 3, 4, 5, 6\}$, klik kümelerinden bazılarıdır.

Kaynak: Dinç, N. T. (2014). Grafların Yeni Çarpımı Üzerinde Bazı Parametrelerin İncelenmesi, *Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.11.

Bağlantılı birleşenlerin (klik yapısının) ya da diğer adı ile *kümelenmelerin* sayısını ifade eden, *bağlantılı birleşen sayısı*, *kümelenme katsayısıdır* ve yönsüz ve ağırlıksız bir ağ için Denklem 4. 5’te verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$C = \frac{3 \times (\text{ağdaki üçgenlerin sayısı})}{\text{bağlı üçlülerin sayısı}} \quad (\text{Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007, s. 184}) \quad (4. 5)$$

Burada ağdaki üçgenlerin sayısının 3 ile çarpılmasının nedeni, her üçgenin her düğümünün merkez düğüm olarak kabul edildiği üç farklı bağlı üçlülerden oluşacağı gerçeğidir. Diğer kümeleme katsayısı ise, veri düğüm i için $i=1 \dots n$ olmak üzere, Denklem 4. 6’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$C_i = \frac{i \text{ düğümünü içeren üçgenlerin sayısı}}{i \text{ düğümünün merkez düğüm olduğu kapalı üçlülerin sayısı}} \quad (\text{Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007, s. 184}) \quad (4. 6)$$

Bu formül diğer bir ifade ile birbirleri ile komşuluk ilişkisinde olan düğümlerin bağlantılı birleşen yapılarının ölçümü olarak da ifade edilebilir. Yüksek bir kümelenme

katsayısı değeri, daha büyük bir bağlantılı birleşen sayısını göstermektedir. Denklem 4. 6'da verilen formülün diğer bir ifadesi de Denklem 4. 7.'de gösterilmektedir.

$$C_i = \frac{2l_i}{k_i(k_i - 1)} \text{ (Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007,s. 185). (4. 7)}$$

Denklem 4. 7' de aynı şekilde komşuluk ilişkisinde olan düğümlerin bağlantılı birleşen yapısı ölçülmektedir. Daha detaylı açıklama gerekirse, bir i düğümünün derecesi (sahip olduğu bağlantı sayısı) k_i iken, k_i olarak gösterilecektir ve $k_i(k_i-1)/2$, i düğümün k_i sayıda komşusunun sahip olabileceği en fazla bağlantı sayısını ifade etmektedir. l_i ise, i düğümünün en yakın komşularının kendi aralarındaki bağlantı sayısıdır. Bu durumda derecesi 4 olan bir düğümün, 4 tane komşusunun sahip olabileceği en fazla bağlantı sayısı $4(4-1)/2=6$ olacaktır. En fazla bağlantı sayısının 6 olabilmesi için i 'nin her komşusunun, i 'nin diğer komşularıyla da bağlantılı olması gerekmektedir. (böylece klik yapısı da ortaya çıkmış olmaktadır). Bu noktadan sonra kümelenme katsayısı, i düğümünün var olan bağlantılarının sayısının, olabilecek en fazla bağlantı sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Yani örneğin i düğümünün komşuları arasında var olan bağlantı sayısı 4 ise, kümelenme katsayısı $4/6=0.67$ olarak bulunacaktır. Her düğümün kümelenme katsayısı alınarak hesaplanacak ortalama ise, ağa ilişkin kümelenme katsayısını vermiş olacaktır. Bu değerinde 0 ile 1 aralığında olması beklenecektir. $C=1$ olması durumu mükemmel geçişliliği simgelerken, $C=0$ olması durumu ağ içerisinde kapalı üçlü patika olmadığı anlamına gelmektedir (Watts ve Strogatz, 1998).

Ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı çalışıldığı disipline göre farklı bir isim de alabilmektedir. Alanlara göre söz konusu olan bu farklı isimlendirmeler Tablo 4. 3.'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 3.
Disiplinlere Göre Kullanılan Ağ Teorisi Terminolojisi

Disiplin	Matematik/Fizik	İstatistik/Sosyal Ağ Analizi
Kullanılan Terminoloji	Ortalama Patika Uzunluğu ya da Diyametre	Karakteristik Patika Uzunluğu
	Kümelenme Katsayısı	Geçişli Üçlülerin Oranı

Kaynak: Börner, K., S. Sanyal ve A. Vespignani. (2007).Network Science. *Annual Review of Information Science& Technology*. 41, s.558.

Merkeziilik:

Merkeziilik ağ yapısının belirlenmesi için Freeman (1977) tarafından önerilen parametredir. Temel olarak düğümün ağdaki konumunun önemini tartışmaktadır. Freeman(1977) 'ın çalışmasında yola çıktığı “*ağdaki bir düğümün önemli olduğunu hangi özelliği belli eder?*” sorusuna cevap verme arayışından doğmuştur. Sonuç olarak, bu önemin ağ boyunca iletilmesi gereken akışın veri düğüm i'nin üzerinden geçip geçmediği ile ilgili olduğu görüşüne varılmıştır. Freeman (1977, 1978/1979) 'ın çalışmalarından sonra Borgatti (1995, 2005) ve Bonacich (1987, 1991) de çalışmaları ile merkeziilik tartışmalarını şekillendirmiştir.

Söz konusu çalışmalar, merkeziilik kavramının tartışmalarını başlatarak ilerleyen yıllarda diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmesini sağlamışlardır. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak ortaya çıkan farklı merkeziilik ölçütleri de bulunmaktadır; bunlardan en çok kullanılanları; *yakınlık merkeziiliği* (closeness centrality), *arasındalık merkeziiliği* (betweenness centrality), *derece merkeziiliği* (degree centrality) ve *özvektör merkeziiliği* (eigenvector centrality). Freeman (1978/1979)'ın çalışmasında ortaya koyduğu yakınlık merkeziiliği, ağ boyunca iletilmesi gereken akış ne olursa olsun, ağ üzerinde sadece en kısa patikalar üzerinden hareket edeceğini varsaymaktadır. Bonacich (1987, 1991) 'ın çalışmalarında ortaya koyduğu özvektör merkeziiliği ise, ağ üzerindeki akışların dolambaçlı yollardan olabileceği belirtmektedir. Arasındalık merkeziiliği, düğümden düğüme yapılan gerçekleşen bu akışların bir paket gibi bölünemez olduğunu savunurken, özvektör merkeziiliği ise akışın eş zamanlı olarak birden çok patikaya bölünebileceğini belirtmektedir (Borgatti, 2005; s.56).

Bunlardan en basit ve en çok bilinen merkezilik ölçütü *derece merkeziliği*dir. Freeman (1978/1979)'ın tanımına göre, derece merkezliği, bir düğümün karşılıklı bağlantılarının sayısıdır ve yakınlık matrisinin satırları yardımı ile hesaplanmaktadır. Derece merkeziliğini yükselmesi, ilgili olduğu düğümün merkezi olduğunu göstermektedir ve bu değer Denklem 4. 8 ile gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$c_i^{DEG} = \sum_j a_{ij} \quad (\text{Borgatti ve Everett, 2006, s.468}) \quad (4. 8)$$

Yakınlık merkeziliği, verilen bir düğümün diğer düğümlere ne kadar yakın olduğunu araştırmaktadır. Bunu, veri düğümünden diğer düğümlere toplam jeodezik uzaklıklarının toplamını kullanarak hesaplamaktadır. Bu hesaplama Denklem 4. 9'da verilmektedir.

$$c_i^{CLO} = \sum_j d_{ij} \quad (\text{Borgatti ve Everett, 2006, s.471}) \quad (4. 9)$$

Bu değer, veri düğüm i 'nin ağıdaki diğer tüm düğümlere en fazla yakın olduğu durum için $(n-1)^{-1}$ olabilmektedir. Veri düğüm i ulaşamaz olduğunda ise en küçük değerini alacaktır. Dolayısıyla, yakınlık merkeziliğini ölçmek sadece bağlı ağlar için anlamlı olacaktır. Yakınlık merkeziliği değerini, tüm düğümler için var olan yakınlık merkeziliği değerlerinin alabileceği en yüksek değer olan $(n-1)$ ile çarptığımızda 0 ile 1 aralığında bir yakınlık merkeziliği endeksi elde etmiş oluruz. 4. 10 numaralı denklemde verilmekte olan bu endeks, ortalama patika uzunluğunun tersini ifade etmektedir (McCulloh, Armstrong ve Johnson, 2013).

$$c_i^{inx_{CLO}} = \frac{n-1}{\sum_j d_{ij}} \quad (\text{McCulloh, Armstrong ve Johnson, 2013}) \quad (4. 10)$$

Freeman'in *arasındalık merkeziliği*, bir düğümün dâhil olduğu patikaya ne kadar iyi yerleştirildiğini ölçer (Freeman, 1980). Bir düğümün arasındalık merkeziliği veri bir i düğüme, bir başka düğüme ulaşmak isteyen düğümce kaç kez ihtiyaç duyulduğunun sayısıdır. Daha kesin bir tanım ise şu şekildedir: g_{ij} i düğümünden j düğüme jeodezik patikaların sayısı olsun, g_{itj} ise i düğümünden j düğüme giderken aracı düğüm t 'nin üzerinden geçen jeodezik patikaların sayısı olsun, bu durumda t 'nin

arasındalık merkeziliği Denklem 4. 11'deki gibi hesaplanacaktır (Borgatti ve Everett, 2006, s.474).

$$c_t^{BET} = \sum_i \sum_j \frac{g_{ikj}}{g_{ij}} \quad (\text{Borgatti ve Everett, 2006, s.474}) \quad (4. 11)$$

Arasındalık merkeziliği, bir düğümün ağdaki pozisyonunu akış bağlamında kontrol etmeyi hedeflemektedir. Bu nedenle sıklıkla, ulaşım ağlarında farklı düğümler tarafından karşı karşıya kalınan trafiğe bir öngörü sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Trafik, veri düğüme gitmek için sahip olunan en kısa patikanın kullanım sıklığı olarak varsayılmaktadır ve trafiği en yoğun olan en kısa patika üzerindeki en çok paylaşılan düğüm yüksek arasındalık merkeziliğine sahiptir (Börner, Sanyal ve Vespignani, 2007, s.11).

Derece, yakınlık ve arasındalık merkeziliği temelde düğümler için hesaplanan değerler olmakla birlikte, ağ yapısını belirleyebilmek için ağa ilişkin derece, yakınlık ve arasındalık merkeziliği ölçüleri türetilmiştir. Bu türetme işlemi ise, ağın geneli için en yüksek derece (c_i^{DEG*}), yakınlık (c_i^{CLO*}) ve arasındalık (c_i^{BET*}) merkeziliğine sahip düğümün tespit edilmesi şeklinde, genel endeksleme işlemine uygun olarak yapılan matematiksel işlemler aracılığı ile sağlanmıştır. Bu yolla bulunan ağ için derece, yakınlık ve arasındalık merkeziliği formülleri sırası ile Denklem 4. 12, 4. 13 ve 4. 14'teki gibidir.

$$C^{DEG} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i^{DEG*} - c_i^{DEG})}{n-2} \quad (4. 12)$$

$$C^{CLO} = (2n-3) \frac{\sum_{i=1}^n (c_i^{CLO*} - c_i^{CLO})}{(n-1)(n-2)} \quad (4. 13)$$

$$C^{BET} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i^{BET*} - c_i^{BET})}{(n-1)} \quad (\text{Gürsakal, 2009, s.99'dan uyarlanmıştır}). \quad (4. 14)$$

Derece, yakınlık ve arasındalık merkeziliğini dışında yaygın kullanımı bulunan bir diğer merkezilik ölçütü ise Bonacich (1987, 1991) tarafından ifade edilen *özvektör merkeziliği*dir. Yaklaşım, tüm ağ yapısı açısından en merkezi düğümü bulmayı hedeflemektedir. Boyutlar, birer birim özvektörle ifade edilmektedir. Her düğümün boyut bakımından yerleşimi ise özdeğer olarak adlandırılmaktadır. Her birim özvektörün ilişkili olduğu bir özdeğer bulunmaktadır. Bir kez birim özvektör ve ilişkili olduğu özdeğer bilindiğinde genel özvektör, kolonları birim özvektör değerlerinden oluşan matris olarak inşa edilebilir (Börner, Sanyal ve Vespignani, 2007, s.11). Özvektör merkeziliği Denklem 4. 15'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$c_i^{EIG} = \frac{1}{\lambda_{\max}(A)} \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} v_j \quad (\text{Oh, 2015, s.14}) \quad (4. 15)$$

Özvektör merkeziliği bir düğümün komşusunun önemini ölçmektedir. Eğer bir düğümün komşusu birçok başka düğümler ile de bağlı ise bu durum, komşu düğümün yüksek özvektör merkeziliğine sahip olduğunu göstermektedir (Oh, 2015, s. 14). Özvektör merkeziliği, söz konusu ağırlıklar ağırlıklı ağ değerleri olarak alındığında, veri düğümün nüfuzu komşularının nüfuzunun ağırlıklı ortalamasıdır fikri üzerine kurulmuştur. Bu yönüyle kendi kendine referans veren bir problem olarak görülebilir, çünkü düğüme ilişkin nüfuz hesaplanırken temel alınan değer diğer komşuların ağırlıklı nüfuzudur. (Jackson, 2008, s.77).

Derece Dağılımı:

Ağ yapısının belirlenmesinde son dönemde ağ modelleri üzerine yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılan son parametre derece dağılımıdır. Daha önceki kısımlarda bir düğümün derecesinin, bağlantılarının sayısını ifade ettiğini belirtmiştik. Düğüm derecelerinin tüm ağ üzerindeki olasılık dağılımına *derece dağılımı* denilmektedir ve ağ yapısının belirlenmesinde araştırmacıya önemli bir fikir sağlamaktadır. Bir ağın derece dağılımı $P(k)$ ile gösterilir ve ağdaki k dereceli düğümlerin oranı olarak tanımlanabilir. Bu oran, Denklem 4. 16 ile gösterilmektedir.

$$P(k) = \frac{n_k}{n} \quad (4. 16)$$

Bu denklemde, n_k derecesi k olan düğümlerin sayısını ifade ederken, n ağdaki toplam düğüm sayısıdır. Böylece, $P(k)$ eşit olasılıkla tesadüfi olarak seçilen düğümün k derecesine sahip olma olasılığını göstermiş olmaktadır. Herhangi bir ağ için $P(k)$ 'nın grafiği, düğüm derecelerinin histogramı oluşturularak çizilebilmektedir. Bu histogram, *ağ için derece dağılımı* olarak ifade edilmektedir.

4. 2. 2. Kompleks Ağ Modelleri

Gerçek dünyaya ilişkin fenomenler ortodoks iktisadi analiz araçlarının varsaydığının aksine kompleksite içermektedir. Bu kompleks yapıyı açıklamada heterodoks iktisat okulunca kabul edilen analiz yöntemlerinden biri olan ajan-temelli modelleme kompleks sistemlerin ifadesini yukarıda; oluşumları, düğüm ve bağlantılarına ilişkin temel istatistikleri ve bu istatistikler yardımı ile hesaplanan parametreleri ile incelenen ağ modelleri aracılığı ile yapmaktadır.

Bu topolojiyi oluştururken amaç her ne kadar gerçek dünya fenomenlerini gerçekte var oldukları yapıları bozmadan modele yansıtıp analiz etmek olsa da, gerçek dünyadaki yapıların boyutu ve karmaşıklığı araştırmacıları çoğu zaman bu olanaktan mahrum kılmaktadır. Bu nedenle gerçek dünya fenomenlerini açıklamada çoğunlukla, araştırmacı tarafından hesaplanan parametreler ile bilgisayar ortamında türetilen yapay (sentetik) ağlar kullanılmaktadır. Böylece ortalama patika uzunluğu, kümelenme katsayısı, derece dağılımı ve merkezilik ölçütleri gibi parametrelerin belirli değer aralıklarında olduğu durumlarda oluşan ağ topolojileri belirli isimler alarak sınıflandırılmıştır.

Bu parametrelerdeki çeşitli değişimler sonucu ortaya çıkan ağ modellerinin gelişimi, ağ teorisinin gelişimi ile tarihsel perspektiften bakıldığında paralellik arz etmektedir. Basit düzenli ağlardan karmaşık sistemler için uygun olan daha karmaşık modellere doğru bir ilerleme olmuştur. Bu gelişime kronolojik olarak bakıldığında alan yazında sözü edilen en önemli dört ağ yapısı aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- i. Düzenli ağlar
- ii. Tesadüfi ağlar

iii. Küçük dünya ağları

iv. Ölçek bağımsız ağlar (Akal, 2014, s.261).

Ağ analizinde güvenilir sonuçlar elde edebilmek için ağın yapısının ve özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ağ yapısının belirlenmesinde kullanılan parametrelere dayalı olarak, gerçek ağları temsil eden sentetik ağlar üzerinde enformasyonun, sinyallerin ve fikirlerin yayılması incelenebilir (Akal, 2014, s.252).

4. 2. 2. 1. Düzenli Ağlar

Bu dört ağ yapısının ilki olan düzenli ağlar, diğer ağ yapılarından önce ortaya çıkmış ve diğer ağ yapıları için de referans olmuş temel ağ yapısıdır. Bu nedenle çalışmada kendinden sonra gelen diğer üç ağ yapısı incelenmeden önce düzenli ağlara kısaca değinilecektir. Bu noktada düzenli ağları, barındırdıkları temel özelliklerden dolayı öncelikle ele almak, diğer ağ modellerinin daha iyi anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

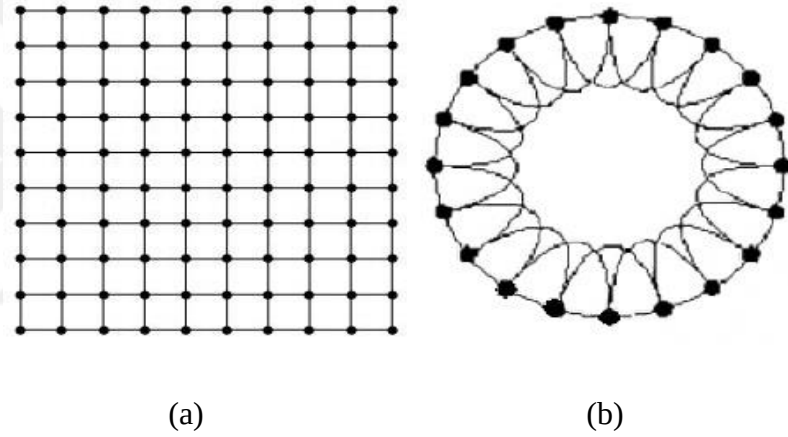
Düzenli ağlar en temel tanım ile düğüm derecesi k 'nın tüm düğümler için eşit olması özelliğini gösteren ağlardır. Bir G ağındaki en küçük derece $\delta(G)$ ile ifade edilsin, en yüksek derece ise $\Delta(G)$ olsun, bu durumda $\delta(G)=\Delta(G)=k$ ise, tüm düğümlerin derecesi aynıdır ve G ağı, derecesi k olan bir düzenli ağıdır. Derecesi 0 olan bir düzenli ağ, herhangi bir bağlantı içermemektedir. Eğer G 'nin derecesi 1 ise, her düğüm bir bağlantı içermektedir. Böyle bir durumda ağda iki bağlantı içeren düğüm olmadığı için bu ağ, birleşenlerden oluşan bir yapı sergileyecektir. Derecesi 2 olan ağda, her birleşen bir döngüden oluşmaktadır. (Harary, 1969, s.14).



Şekil 4. 12. Derecelerine Göre Düzenli Ağ Yapıları

Derecenin tüm düğümler için aynı olması, düğüm derece dağılımının *uniform* (tekdüze) dağılıma uyum sağlaması sonucunu oluşturmaktadır. Graf yapısının tesadüfilik miktarını ifade eden *entropi*, bu tür ağların herhangi bir tesadüfilik içermemesinden dolayı sıfır ya da daha azdır. Doğrusal, halka, ağaç, yıldız hiperküp gibi ağ topolojilerinin her birinde düzenli ağ yapısı oluşturulması mümkündür.

Kafes yapısı oluşturan her ağ topolojisi düzenli ağ özelliği gösterir (Sterbenz, 2013).Çünkü kafes yapısı gösteren ağlarda düğüm derecesi tüm düğümler eşit olmakla birlikte, bağlanım yapısı her düğüm için aynı olma özelliğindedir. Şekil 4. 13.'de kafes yapısı gösteren ağ topolojileri gösterilmektedir.



Şekil 4. 13. Düzenli Kafes Yapısı Topolojik Örnekleri

Not: (a) düzenli kare kafes topolojisi, (b) düzenli halka kafes topolojisi.

4. 2. 2. 2. Tesadüfi Ağlar

Kompleks uyarlanabilir sistemlerin ajan-temelli modelleme çerçevesinde ağ topolojisi ile gösterimi çerçevesinde iktisadi konuların analizinde, ajanlar arası etkileşimler ağdaki düğümleri birbirine bağlayan bağlantılar ile ifade edilmektedir. Ancak ağ topolojisi üzerinde etkileşimlerin simgesi olarak bulunan bu bağlantıların oluşum süreci en başından beri merak ve araştırma konusu olmuştur. Düzenli ağlardan sonra ortaya çıkan tesadüfi ağlar temelde bağlantıların nasıl oluştuğuna dair sorunun cevabının aranması sürecinde ortaya çıkmıştır. Macar matematikçiler Paul Erdős ve Alfred Rényi (1959) bu bağlamda, öncelikle ağlar üzerindeki bağlantıların oluşumu için bir olasılık değeri ekleyerek tesadüfi ağ modellerini ortaya çıkartmış, daha sonra ise

(1960) bu ağların zamana bağlı değişimlerini ifade eden terim olarak “evrimlerini” araştırmışlardır.

Erdős ve Rényi’nin çalışmaları neticesinde bugünkü halini alan ve Erdős-Rényi Modeli olarak da isimlendirilen *tesadüfi ağların* bu isim ile anılmasının temelinde yatan mantık, kullanılan modelde düğüm sayısını ifade eden n ve düğüm çiftleri arasındaki bağlantı olasılığını ifade eden p olmak üzere iki parametre bulunmasıdır. Yani veri n ve p ’de, ağ üzerinden seçilen herhangi bir düğüm çiftinin bağlantılı olma olasılığı p ’dir (Spielman, 2010, s.3-2).

Barabási (2002) çalışmasında Erdős ve Rényi’nin tesadüfi ağ modelini açıklarken, Erdős ve Rényi’nin ağ teorisinde bağlantı oluşumuna ilişkin getirdiği açıklamanın doğanın izlediği en basit çözüm olduğunu iddia etmektedir. Buna ek olarak, geliştirdikleri çözümün hangi adımlar izlenerek gerçekleştirildiğinden bahsetmektedir. Barabási (2002, s.16-17) Erdős ve Rényi’nin tesadüfi ağ modelini şu sözlerle açıklamaktadır:

O zamana kadar tüm bilim insanlarının nihai hedefi kompleks fenomenler için en basit olası açıklamayı bulmaktı. Erdős ve Rényi bu meydan okumaya, tüm kompleks grafları tek bir çerçeveden tanımlayan çok zarif bir matematiksel cevap önerisi ile dâhil oldular. Farklı sistemler, kendi kompleks ağlarını inşa etmede bambaşka kuralları takip ettiğinden, Erdős ve Rényi bu çeşitliliği kasten ihmal etmiş ve doğanın takip ettiği en basit çözüm ile gelmişlerdir: düğümler tesadüfi olarak bağlanmalıdır. Bir ağ oluşturma en basit yolunun zar oyunu ile olabileceğine karar vermişlerdir. İki düğüm seç ve eğer altı gelirse aralarına bir bağlantı ekle. Diğer tüm sayılar için ise, bu iki düğümü bağlama, fakat başka bir düğüm ikilisi seç ve baştan başla. Böylece, Erdős ve Rényi grafları ve temsil ettikleri dünyayı öncelikli olarak tesadüfi görmüşlerdir.

Barabási (2002)’nin bu açıklamasından daha net anlaşıldığı gibi Erdős ve Rényi’nin çözüm önerisi olasılık teorisinden faydalanmaktadır. N adet düğüm içeren bir tesadüfi ağda düğüm çiftleri arasında bulunan bağlantılar, $N(N-1)/2$ adet olası bağlantı arasından tesadüfi olarak seçilmektedir (Barabási, 2015, 3. 3). Bu olasılık dâhilince tüm düğümlerin bağlantı edinme şansları eşit olsa da, gerçekte bazı düğümler diğerlerine göre daha fazla bağlantıya sahip olabilmektedir. Ancak her düğümün bağlantılı olabilmesi için en az tek bağlantıya sahip olması gerekmektedir. Yani tesadüfi ağlarda

kritik bağlantı sayısı birdir. Düğümün birden az (yani sıfır) bağlantıya sahip olması ise ayrıık düğümler kümesi oluşmasına neden olacaktır (Taşçı, 2007, s.28).

Çok sayıda bağlantı içeren ya da hiç bağlantısı bulunmayan düğümler arasındaki bu fark, $P(k)$ ile ifade edilen düğüm derece dağılımı ile hesaplanmaktadır. $P(k)$ ifadesinin anlamı eşit olasılıkla tesadüfi olarak seçilen bir düğümün k derecesine sahip olma olasılığıdır ve bu olasılık tesadfi ağlarda Binom dağılımına uyum sağlamaktadır.

Tesadüfi bir ağda i düğümünün k derecesine sahip olma olasılığı üç terimi ortaya çıkartmaktadır.

- k bağlantıya sahip olma olasılığı: p^k
- Kalan bağlantılarının $(N-1-k)$, olmama ihtimali: $(1-p)^{N-1-k}$
- Bir düğümün sahip olabileceği $N-1$ olası bağlantı içinden k sayıda bağlantısı olanlar: $\binom{N-1}{k}$

Sonuç olarak tesadüfi ağın derece dağılımı binom dağılımını izlemektedir (Barabási, 2015, s.9).

$$P(k) = \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k} \quad (\text{Barabási, 2015, s.9}) \quad (4.17)$$

Barabási (2015) çoğı gerçek ağın seyrek olduğunu, yani düğümlerinin az sayıda bağlantı içereceğini belirtmektedir. Yani k , gerçek ağlarda N ile sınırlıdır. Bu varsayım altında Binom ve Poisson dağılımları, aynı dağılımı farklı koşullar altında ve farklı parametrelerle ile ifade ettiğinden, Poisson dağılımının Binom dağılımına yaklaşması ile sonuçlanacaktır. Bu durumda Denklem 4. 17’de verilen ve $P(k)$ ile ifade edilen derece dağılımının Binom dağılımı için var olan hesaplaması, Poisson dağılımı ile ifade edilebilecektir. Bunun için öncelikle Denklem 4.17’de verilen ifadede k , N ile sınırlı iken sağ taraftaki ilk terimi yeniden yazabiliriz.

$$\binom{N-1}{k} = \frac{(N-1)(N-1-1)(N-1-2)\dots(N-1-k+1)}{k!} \approx \frac{(N-1)^k}{k!} \quad (\text{Barabási, 2015, s.34}) \quad (4.18)$$

Yine k , N ile sınırlı iken, Denklem 4.17'nin sağ tarafındaki son terimin seri açılımını ise $\langle k \rangle$:ortalama düğüm derecesi iken, daha basit bir halde Denklem 4.19'daki gibi yazabiliriz.

$$\ln[(1-p)^{N-1-k}] \approx (N-1-k) \frac{\langle k \rangle}{N-1} = -\langle k \rangle \left(1 - \frac{k}{N-1}\right) \approx -\langle k \rangle \quad (\text{Barabási, 2015, s.34}) \quad (4.19)$$

Böylece Denklem 4.17'nin sağ tarafında yer alan son terim Denklem 4.20'deki gibi yazılabilmektedir.

$$(1-p)^{N-1-k} = e^{-\langle k \rangle} \quad (\text{Barabási, 2015, s.34}) \quad (4.20)$$

Son olarak Denklem 4.18 ve Denklem 4.20 kullanılarak Denklem 4.17 tekrar yazılacak olursa, elde edilecek ifade Denklem 4.21'de gösterilmektedir.

$$P(k) = \frac{(N-1)^k}{k!} \left(\frac{\langle k \rangle}{N-1} \right)^k e^{-\langle k \rangle} \quad (\text{Barabási, 2015, s.35}) \quad (4.21)$$

Böylece k , N ile sınırlı iken Binom dağılımının Poisson dağılımına yaklaşması sürecinin sonunda elde edilen Denklem 4.21'deki ifade Poisson dağılımı formunda, Denklem 4.22'deki gibi gösterilebilecektir.

$$P(k) = e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!} \quad (\text{Barabási, 2015, s.35}) \quad (4.22)$$

Denklem 4. 17 ve Denklem 4. 22'de görüldüğü gibi, Binom dağılımı p ve N parametrelerine bağlı iken, Poisson dağılımı sadece $\langle k \rangle$ ile ifade edilen *ortalama düğüm derecesi* parametresine bağlıdır ve bu nedenle hesaplama kolaylığı sunmaktadır. Bu hesaplama kolaylığı zaman içinde tesadüfî ağların düğüm derece dağılımında daha çok Poisson dağılımının kullanılmasına yol açmıştır. Dağılımın tepe noktasını gösteren ve

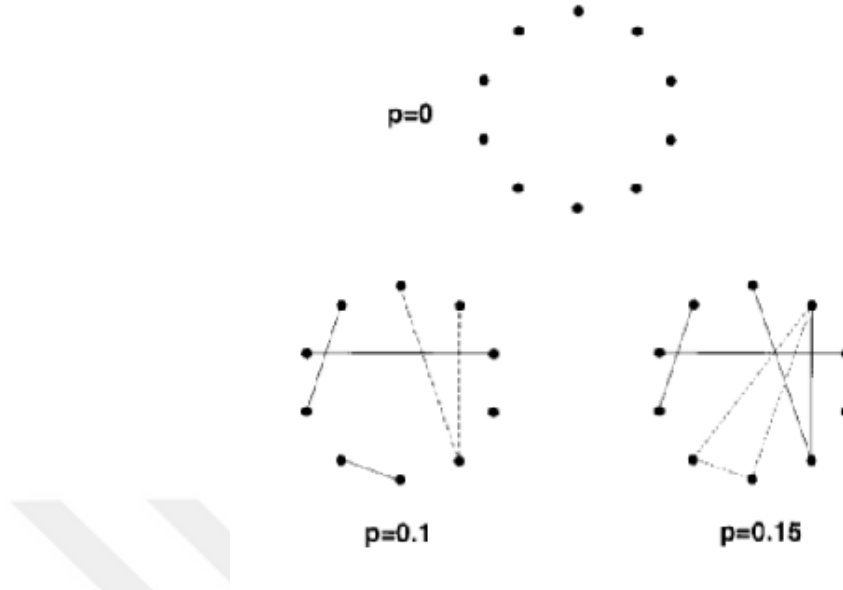
$\langle k \rangle$ ile ifade edilen ortalama düğüm derecesi ise, Binom dağılımı için Denklem 4. 23’de, Poisson dağılımı için ise Denklem 4. 24’de verilmektedir.

$$k = \langle k \rangle = p(N - 1) \quad (4. 23)$$

$$k = \langle k \rangle \quad (4. 24)$$

Ancak Poisson dağılımını kullanırken, sadece Binom dağılımına ilişkin hesaplamaların tam sonuç verdiği, Poisson dağılımı ile sadece yaklaşık sonuçlar elde edildiği göz ardı edilememelidir. Bunun yanı sıra, Poisson dağılımı N ’e bağlı olmadığından, farklı boyutlarda ancak aynı ortalama düğüm derecesine ($\langle k \rangle$) sahip ağlar birbirinden ayırt edilemeyebilir (Barabási, 2015, 3. 4).

Erdős ve Rényi, ilk olarak $P(k)$ ile ifade edilen tesadüfi olarak seçilen bir düğümün k derecesine sahip olma olasılığını tanımladıktan sonra bu olasılığın ağ bağlantılarının oluşum sürecine etkisini göstermişlerdir. Bu kapsamda 1960 yılında yaptıkları çalışmada, büyük boyutlu ağlarda yani $N \rightarrow \infty$ iken, her düğümün ortalama bağlantı sayısı $\langle k \rangle$ ’nın binom dağılımına uyan ve Denklem 4. 19’da gösterilen tanımından faydalanmaktadırlar. Buna göre, eğer binom dağılımı gösteren bir $\langle k \rangle$ ’da p olasılığı sabit ise, ağdaki düğüm sayısı değiştiğinde $\langle k \rangle$ değişmekte, $\langle k \rangle$ sabit tutulmakta ise düğüm sayısının değişmesine bağlı olarak p değişmektedir (Erdős ve Rényi, 1960, s.345-346). Böylece yine Denklem 4. 23’ten yararlanarak, aynı boyuttaki ağlarda p oranı büyüdükçe ortalama bağlantı sayısı artacaktır diyebilmekteyiz. Bu süreç $N=10$ olmak üzere sabit olduğunda, ortalama düğüm sayısı $\langle k \rangle$ sınırlandırılmamış olarak bir örnek üzerinde Şekil 4. 14.’te gösterilmektedir. Sürece tüm düğümlerin bağlantısız olması ile başlanmış, p ’nin farklı değerleri için ($p=0.1$ ve $p=0.15$) öz döngü veya çok bağlantıdan kaçınmakla birlikte tesadüfi bağlantılar eklenerek k ’lar gösterilmiştir.



Şekil 4. 14. Erdős- Rényi Modelinde Olasılıklara Göre Bağlantı Oluşum Süreci

Kaynak: Albert, R. ve A. L. Barabási (2002). Statistical Mechanics of Complex Networks. *Reviews of Modern Physics*. 74, s.55

Erdős-Rényi oluşturdukları bu ağ modeli ile gerçek dünyayı tesadüfilik kullanarak tekrar oluşturmaya çalışsa da, gerçek dünya sistemlerinin özelliklerini tam olarak yakalayamamaktadır. Barabási (2015, 3. 5)’ye göre bunun öncelikli nedeni gerçek dünyanın tesadüfiliğe bu kadar fazla yer veremeyecek olmasıdır. Dahası, Erdős-Rényi Modeli yüksek dereceli düğümleri ve gerçek ağların derece dağılımlarının geniş yayılımlarını modele yeteri kadar iyi yansıtamamaktadır. Barabási (2015)’nin çalışmasında Erdős-Rényi Modeli için dile getirilen bu eleştiri, esasen Barabási ve Albert (1999) tarafından ortaya konan ölçek bağımsız ağların ortaya çıkma gerekçelerinden birisi olarak da karşımıza çıkmaktadır.

4. 2. 2. 3. Küçük Dünya Ağları

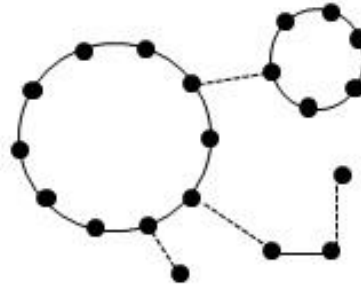
Ağ modellerinin gelişim kronolojisinde bir sonraki ağ olan küçük dünya ağları temelde, tesadüfi ağların içerdiği gerçek dünyada görülemeyecek kadar yüksek tesadüfiliğin eleştirisi ile ortaya çıkmıştır. Bu eleştiri özellikle ağ modellerinin gelişimi ile sosyal olayların açıklanmasında kullanımının artması ile kuvvet kazanmıştır. Ağ modellerinin özellikle bireylerin, arkadaşları, aileleri tanıdıkları, iş arkadaşları gibi diğer

insanlarla olan ilişkilerini ifade eden benmerkezci (egosentrik) ağların ve bu kişisel ağların birleşimleri ile ifade edilen sosyal ağların modellenmesi konusunda çalışmalara konu olması bu eleştiriye bir çözüm aranmasına neden olmuştur (Hamill ve Gilbert, 2010, s.78-79). Bunun üzerine, Watts ve doktora danışmanı olan Strogatz tesadüfi ağlar yaklaşımından referansla sosyal ilişkileri ifade eden modellerde düğümlerle ifade edilecek olan insanların arasındaki ilişkilerin tesadüfiliği üzerine düşünmeye başlamışlardır. *Düğümün bireyleri ifade ettiği böyle bir ağda, bir bireyin iki arkadaşının birbirini tanıma olasılığı nedir?* sorusundan cevap aramak üzere çıktıkları bu yolda, tesadüfi ağ teorisinin bu olasılığın Avusturyalı bir ayakkabı tamircisi ile Afrikalı bir kabile liderinin birbirini tanıma olasılığı ile aynı olduğunu ifade ettiğini görmüşlerdir. Ancak gerçek dünyada ilişkiler bu şekilde gelişmemektedir. Bir kişi ile yakın arkadaş olan iki bireyin birbirlerini tanıma olasılığı Avusturyalı bir ayakkabı tamircisi ile Afrikalı bir kabile liderinin birbirini tanıma olasılığından çok daha fazla olmalıdır. (Barabási, 2002, s.43-44). Bu düşünceyi temel alarak çalışmalarını başlatan Watts ve Strogatz, 1998 yılında küçük dünya ağı modelini ortaya atmışlardır.

Watts ve Strogatz (1998)'ın küçük dünya ağları temelde iki yapısal özellik üzerine kurgulanmıştır. Bunlardan ilki *yüksek kümelenme*, diğeri ise *kısa ortalama patika uzunluğudur* (Zaidi, 2012,s. 2). Bu iki yapısal özellikten kümelenme, modele Granovetter (1973)'in *zayıf sosyal bağlar hipotezinden*, ortalama patika uzunluğu ise Milgram (1967)'in *altı adımlık ayırma hipotezinden* yola çıkılarak dâhil edilmiştir.

Granovetter, 1973 yılında yayınlamış olduğu çalışmasında başlangıç olarak tesadüfi modelde insanların birbirlerini tanıma olasılıkları üzerinden başlayarak, bir bireyin iki arkadaşının birbirini tanıma olasılığı üzerinde durmuştur. Granovetter (1973)'e göre örneğin, eğer A ve B zamanın %60'ında beraberseler, A ve C ise zamanın %40'ında beraberseler; C, A ve B zamanın $(0.60 \times 0.40 = 0.24)$ %24'ünde beraber olacaklardır. Bu birliktelik oranı, muhtemelen B ve C'nin tanışmasından sonra önceye göre daha fazla olacaktır. Granovetter bu görüşünü Homans (1950) 'ın '*insanlar daha sık birbiri ile etkileşime girdikçe, aralarındaki arkadaşlığın ahlaki yönünün güçlenmesi daha mümkün olacaktır*' görüşü ile desteklemektedir.

Granovetter, buradan yola çıkarak, insanlar arası sosyal ilişkileri gösteren yerel ve genel köprülerin analizini yapmak amacıyla başladığı çalışmasında, yerel ve genel köprüleri tanımlayabilmek için Milgram (1967) 'ın çalışmasından etkilenecek *arkadaş* ve *tanıdık* kavramlarını kullanmıştır. Sırası ile güçlü ve zayıf bağları simgeleyen arkadaş ve tanıdık kavramları dâhilinde Granovetter'e göre toplum, güçlü bağlar ile birbirine bağlanmış kümelerden oluşmaktadır. Bu kümeler arasında, farklı kümelere dâhil olan ve zayıf bağlar ile birbirine bağlı olan bireyler vardır. Bu zayıf bağlar ise, genel düzeyde köprüleri ifade etmektedir. Granovetter'in zayıf bağlar hipotezi Şekil 4. 15.'te gösterilmektedir. Şekilde, noktalı bağlantılar zayıf bağları, düz çizgi ile gösterilen bağlantılar ise güçlü bağlantıları temsil etmektedir.



Şekil 4. 15. Granovetter'in Zayıf Bağlar Hipotezinin Ağ Üzerinde Gösterimi

Granovetter (1973, s.1378) bu tür bağlantıların bir paradoks ürettiğini belirtmektedir. Ona göre bu paradoks, güçlü bağların yerel bağlantıları besleyerek, toplam ağı parçalara bölen yapılar olmasına karşın, zayıf bağlar bölünen bu kümelerin dış dünyaya yabancılaşmasını engeller. Bu yönü ile güçlü bağlardan daha önemli görülmektedir.

Şekil 4. 15'te gösterilen yapı dikkatlice incelendiğinde aynı zamanda, kümelenme katsayısı ile ifade edilen bağlantılı birleşenleri içerdiği fark edilmektedir. Böylece Watts ve Strogatz (1998), Granovetter (1973)'in güçlü ve zayıf bağlar hipotezinden yararlanarak, küçük dünya ağlarının temelinde bulunan ilk görüş olan ve *kümelenme katsayısını* küçük dünya ağları yapısını gösteren ilk parametre olarak

belirlemişlerdir. Watts ve Strogatz (1998), küçük dünya ağları için kümelenmenin olabildiği en yüksek seviyede olmasını beklemektedirler.

Watts ve Strogatz (1998)'ın çalışmasından sonra, kümelenme katsayısının gerçek dünyadaki sosyal ilişkiler için geçerli olup olmadığının kanıtlanması başka araştırmaların konusunu oluşturmuştur. Ancak tüm dünya insanlarını içeren bir ağdaki ilişkilerin incelenmesi teknik olarak imkân dâhilinde olmadığından, tüm dünyadaki insanları temsil edebilecek, bilgileri sistemler üzerinde kayıtlı kişiler kullanılarak gereken hesaplamaların yapılabilirdiği, küçük ölçekli modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, Barabási, Jeong, Nédá, Ravasz, Schubert ve Vicsek (2002) tarafından yapılan çalışmada, tesadüfi ağ modelinin geçerli olduğu varsayılan bir ağın kümelenme katsayısının küçük dünya modeline göre hesaplandığında neredeyse 10000 kat daha büyük bir değere ulaşıldığı görülmüştür. Eş zamanlı olarak Newman ve Santa Fe Enstitüsünün bilimler arasındaki işbirliğine ilişkin benzer çalışmalarının da aynı sonuçlara ulaşmış olması, bilim dünyasının sosyal ağ modellerinde kümelenmenin var olduğunu kabul etmesine aracı olmuştur (Barabási, 2002, s.49).

Watts ve Strogatz (1998)'ın küçük dünya ağlarının temel iki yapısal özelliğinden bir diğeri ise *kısa ortalama patika uzunluğudur*. Bu özellik, deneysel psikolog olan Milgram'ın 1960'larda başladığı deneyinin sonuçlarını ortaya koyduğu çalışmasındaki (1967), *altı adımlık ayırma hipotezinden* temel almaktadır. Bu noktada Milgram, bireylerin kompleks iletişim ağlarında arkadaşlık ya da akrabalık ilişkileri ile bağlı oldukları ve ağın büyük bir coğrafi boyut ve milyonlarca insan içerebileceği göz önünde bulundurularak bu ağda herhangi iki kişinin birbirine ulaşması için çok sayıda aracıya ihtiyaç duyulacağı görüşünden yola çıkmıştır. Herhangi iki kişinin birbirine ulaşması için gerekli olan aracı sayısını tespit etmek için yaptığı deney kendisini, rastgele olarak seçilen iki kişinin ortalama 5 veya 6 aracı kullanarak birbirine ulaşabileceği sonucuna ulaştırmıştır (Korte ve Milgram, 1970, s. 101).

Milgram deneyinde öncelikle hedefte bulunan kişilere ulaşılması için mektuplar gönderilecek bölgeleri belirlemiştir. Bunlar; Kansas, Wichita ve Nebraska, Omaha kentleridir. Bu bölgede yaşayanlara mektup örnekleri ve katılımcı olmayı isteyip istemediklerine dair belgeler gönderilmiştir. Massachusetts, Sharon'da bir ilahiyat

öğrencisinin karısı ile Boston’da yaşayan bir borsacı hedef kişiler olarak belirlenmiştir. Gönderilen belgelerde öncelikle hedef kişinin ismi ve bazı bilgileri bulunmaktadır. Ayrıca deneyin kurallarını içeren bir belge de yer almaktadır. Bu kuralların en önemli olanı ise, *‘eğer hedef kişiyi kişisel olarak tanıımıyorsanız, direkt olarak kendisine ulaşmaya çalışmayın. Bunun yerine, hedef kişiyi tanıma olasılığı sizden daha fazla olan birisine gönderin’*dir. Bu belgelere ek olarak, dosya 15 adet izleyici kartı içermektedir. Katılımcılar ayrıca dosyayı aldıktan sonra kime göndereceklerine ilişkin bilgiyi Milgram’a da göndermiştir (Milgram, 1967, s.64).

Milgram’ın deneyi, tesadüfi seçilmiş bu iki kişi arasında ortalama uzaklığın 5,5 kişi olduğu sonucunu vermiştir. Milgram bu sayıyı 6’ya yuvarlamıştır. Ancak bir diğer sonuç ise, bu iletişimlerin yaklaşık %60’ının aynı dört kişi üzerinden geçtiğidir. Bu sonuç göstermektedir ki, aslında gerçekte herkes diğer insanlara bağlı değildir. Sadece bazı insanlar orantısız bir şekilde, herkesi diğer herkesle bağlayan çok iyi bağlantılara sahiptir. Bu *süper bağlayıcılar*, bugün kullandığımız küçük dünya ağlarında kısayol şeklinde adlandırılmaktadırlar (Uzzi, Amaral ve Reed-Tsochas, 2007, s.78). Yani toplum nüfus içinde küçük bir oranın fazla sayıda bağlantıya sahip olması, bu bağlantıların mutlaka uzak mesafedeki insanları da içerecek olması sebebiyle, uzak mesafeler arası iletişimi sağlamış olacaktır. Çok fazla bağlantıya sahip olmayan düğümlerin ağda bulunması, böyle bir durumda sakınca olmaktan çıkacaktır. Süper bağlayıcı ile bağlı ancak az bağlantıya sahip düğüm, süper bağlayıcının uzandığı en uzak mesafe ve bu en uzak mesafenin komşularına da bağlanacaktır. Bu durum, kısaca *altı adımlık ayırma teorisinin* temelini ifade etmektedir. Ancak Milgram, altı adımlık ayırma ismini kendisi kullanmamıştır. Bu terim ilk kez 1990 yılında John Guare’nin tiyatro oyununda karşımıza çıkmaktadır. İlerleyen yıllarda ise bilim dünyası tarafından sahiplenilmiştir.

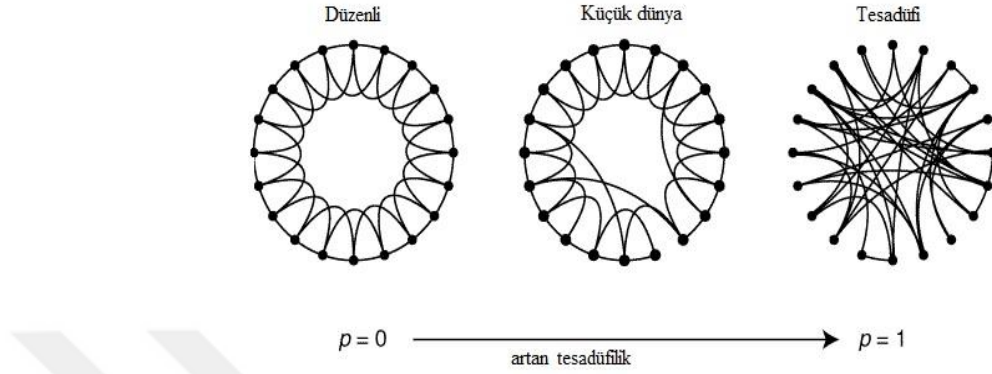
Özetle, birbirini tanıyan insanların oluşturduğu halka topolojisi aracılığı ile ifade edilen sosyal ilişkilerde halka topolojisinin ebatlarının büyümesinin yaratacağı sorunlar altı adımlık ayırma teorisi ile son bulmuştur. Çünkü halka topolojisi üzerinde düğümlerin yalnızca yanındaki ve yanındakinin yanındaki düğümlere bağlı olduğu düşünülürse, böyle bir durumda tam karşıdaki düğüme ulaşabilmek için çemberi

tamamen dolaşmak gerekmektedir. Çember küçükken bu durum çok büyük bir sorun yaratmasa da, dünya üzerinde yaşayan altı milyar insanın bulunduğu bir çember düşünüldüğünde, hedef düğüme ulaşabilmek için geçilmesi gereken düğüm sayısı yaklaşık olarak bir milyar olacaktır. Bu şekilde oluşan bir halka topolojisi üzerindeki toplum yüksek kümelenmeye sahip olmakla birlikte, aynı zamanda büyük bir dünyada yaşandığını da göstermektedir. Toplumda insanlar kendilerine mesafe olarak çok uzak yerlerden arkadaşlar bulabilirler. Günümüz toplumunun gerçekçi yapısı uzak bağlantılara olanak tanınmalıdır. Bu nedenle, Milgram'ın küçük dünya etkisinden yola çıkarak Watts ve Strogatz (1998) tarafında oluşturulan küçük dünya ağlarında, çemberde rastgele seçilmiş düğümler arasına yeni bağlantılar eklenmesi yoluyla seçilmiş düğümler arası ortalama patika uzunluğun düşürülmektedir. Watts ve Strogatz (1998)'ın küçük dünya ağları üzerine bulguları, eklenen bağlantıların ortalama patika uzunluğunu büyük ölçüde düşürürken, az sayıda bağlantının bile bunun için yeterli olduğu ve az sayıda bağlantı eklemenin aynı zamanda kümelenme katsayısını da önemli ölçüde değiştirmediği yönündedir. Böylece kümelenme katsayısı çok fazla değişmeden ortalama patika uzunluğu kısaltılmış olmaktadır (Barabási, 2002, s.52-53).

Watts ve Strogatz (1998) bu yapıyı oluşturabilmek için sürece öncelikle n sayıda düğüme sahip halka topolojisinde kafes yapısı gösteren düzenli bir ağ ile başlamaktadırlar. Düzenli ağ ile başlanması durumu, bu tür ağların herhangi bir tesadüfilik içermemesinden dolayı, sıfır tesadüfilik miktarı olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu ağ üzerinde, tesadüfi olarak seçilen bir bağlantıdan başlanarak uygulanan tekrar bağlanım süreci tesadüfilik oranı arttırılmaktadır. Böylece küçük dünya ağı yapısının tespiti için kullanılan iki parametre olan kümelenme katsayısı ve ortalama patika uzunluğu tesadüfiliğin artış sürecinde bir noktada Watts ve Strogatz'ın küçük dünya ağı şartlarını karşılayacak şekilde ortaya çıkmaktadır.

Tesadüfiliğin arttırılması süreci için uygulanan tekrar bağlanım süreci için Watts ve Strogatz (1998)'ın uyguladığı yöntem bugün Watts-Strogatz yöntemi olarak anılmaktadır. Bu yöntemde düğüm başına k sayıda bağlantı olduğu kabul edilerek, her bağlantı p olasılığı ile tekrar bağlanmaktadır. Bu bağlama süreci saat yönünde tüm düğümler sıra ile değerlendirilerek yapılmaktadır. Bu yapı $p=0$ iken düzenli ağı

verirken, p değeri arttıkça ağı yapısı değişerek, son olarak $p=1$ iken düzensiz bir ağ oluşturmaktadır (Watts ve Strogatz, 1998, s.440). Bahsedilen süreç Şekil 4. 16.'da gösterilmektedir.

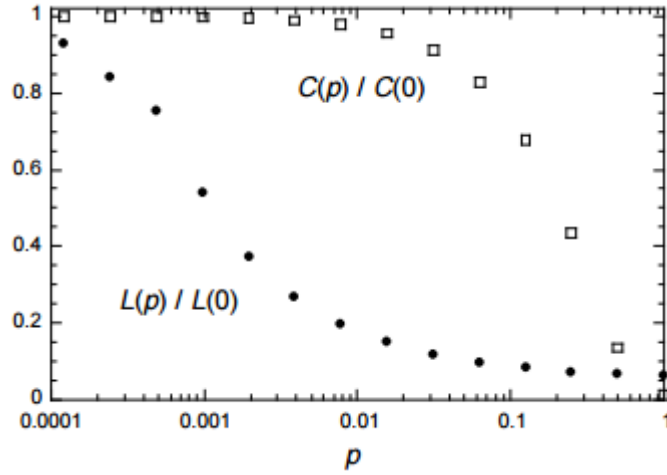


Şekil 4. 16. Artan Tesadüflük Sürecinde Küçük Dünya Ağı Oluşumu

Kaynak: Watts, D. J. ve S. H. Strogatz. (1998). Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks. *Nature*. 393, s.441.

Şekil 4. 16.'da aynı zamanda Milgram'ın küçük dünya etkisinin küçük dünya ağlarındaki yansıması olan ortalama patika uzunluğunun kısa olmasının açıklaması da gözlenebilmektedir. p değerinin küçük olduğu durumlarda, az sayıda oluşan tesadüfi bağlantı, ağdaki düğüm sayısı fazla bile olsa ortalama patika uzunluğunu kısaltmaktadır (Akal, 2014, s.266). Burada tüm ağda $nk/2$ bağlantı bulunduğundan, yeniden bağlama süreci $k/2$ tur sonunda sona erecektir. Süreç sonunda düzenli bir ağ kadar yüksek kümelenme ve tesadüfi ağ kadar kısa ortalama patika uzunluğu değerlerinin görüldüğü p olasılığı değerinde küçük dünya ağı oluşmuş olmaktadır (Watts ve Strogatz, 1998, s.440).

Bu sürecin bir sonucu olarak ağı yapısını belirlemede kullanılan iki parametre olarak öne çıkan *ortalama patika uzunluğu* ve *kümelenme katsayısı*, sırası ile $L(p)$ ve $C(p)$ olarak gösterilmektedir. Yeniden bağlama süreci için, $n=1000$ düğüm ve düğüm başına $k=10$ bağlantı ile yapılan 20'den fazla gerçekleştirimden ortalama $L(p)$ ve $C(p)$ değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler $p=0$ durumunda ortaya çıkan $L(0)$ ve $C(0)$ değerleri ile normalize edilmiş ve Şekil 4. 17.'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4. 17. Küçük Dünya Ağları İçin Normalize Edilmiş Kümelenme Katsayısı ve Ortalama Patika Uzunluğu Değerleri

Kaynak: Watts, D. J. ve S. H. Strogatz. (1998). Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks. *Nature*. 393, s.441.

Burada $L(p)/L(0)$ 'ın neredeyse tesadüfi ağlardaki kadar küçük iken, $C(p)/C(0)$ 'ın tesadüfi ağlardaki kümelenme katsayısını temsilen verilen $C_{\text{tesadüfi}}$ 'ye yaklaştığı geniş bir aralık bulunmaktadır. Bu durum, az miktarda uzun mesafeyi bağlayan bağıın girmesi ile beraber $L(p)$ 'de oluşan ani düşüşün bir sonucu olarak ortaya çıkan küçük dünya etkisini göstermektedir. $C(p)/C(0)$ 'ın, küçük p değerleri için $L(p)/L(0)$ ile kıyaslandığında görece sabit bir seyir izlediği görülmektedir. Burada önemli nokta, $L(p)/L(0)$ hali hazırda düzenli bir düşüş gösterdiğinden, $C(p)/C(0)$ tarafından belirlenen küçük dünya ağını ifade eden p olasılık değerine geçiş noktasının tespitinin zor olmasıdır (Watts ve Strogatz, 1998, s.440). Bugün bu geçiş noktası, bu iki parametrenin normalize edilmiş değerlerinin, ağa bağlantı eklenme sürecinde, eklenen her yeni bağlantı için ölçülmesi ile ortalama patika uzunluğu < kümelenme katsayısı olduğu noktada belirlenmektedir. Böylece kümelenme katsayısı çok fazla değişmeden ortalama patika uzunlunun en kısa olabileceği noktadaki bağlantı sayısı küçük dünya ağını temsil etmiş olmaktadır.

Küçük dünya ağlarının yukarıdaki gibi kümelenme katsayısını çok fazla değiştirmeden ortalama patika uzunluğunun en küçük olduğu noktada ortaya çıkması için sağlaması gereken üç adet şart bulunmaktadır;

- Ağda bulunan düğüm sayısı, n sabit olmalıdır.

- Ortalama düğüm derecesi k , ağ seyrek olacağından n ile sınırlı olmalıdır.*

- Ağ bağlı olmalıdır. Yani herhangi bir düğüm, bir başka düğüme sonlu sayıda geçiş ile ulaşılabilir (Watts, 1999, s.499).

Watts ve Strogatz'ın küçük dünya modeli şartları arasında her ne kadar ağın bağlı olması gerektiği de var olsa da Watts- Strogatz yöntemi ile yapılan bazı yeniden bağlama süreçleri bağlantısız ağları ortaya çıkartabilmektedir. Çünkü küçük dünya ağlarında küçük p değerleri için bile, her zaman bağlı bir alt graf oluşacaktır. Bu bağlı alt grafın bağlantısının ortadan kalkması durumu ise patika uzunluğunun sonsuz olarak varsayılmasına neden olacağı için bu durum bir sorun yaratacaktır (Boccaro, 2010, s.338). Böyle bir durumda kimi zamanda bağlantısız alt graf görmezden gelinerek bağlantılı olan kısmın ortalama patika uzunluğu alınarak işlemlere devam edilmektedir.

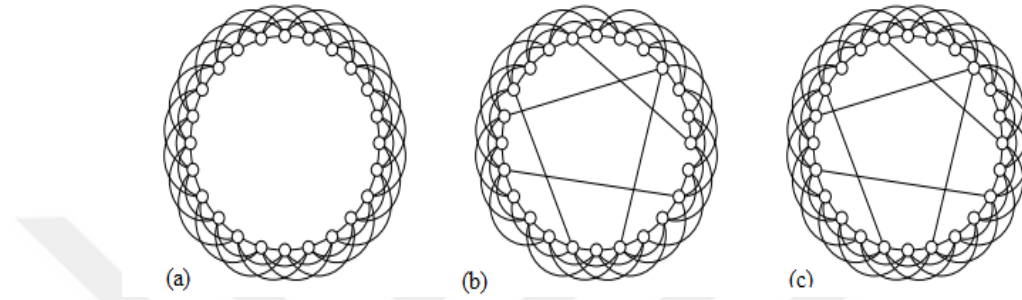
Newman ve Watts (1999) bu sorundan kurtulmak amacı ile model üzerinde yaptıkları değişikliklerle, bağlantı ekleme sürecinde yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Newman ve Watts yöntemi olarak anılan bu yöntem bugün, sıklıkla kullanılan Watts ve Strogatz'ın bağlantı ekleme yöntemine alternatif ikinci bir yöntem durumundadır.

Bu yöntemde düzenli ağ yapısı üzerinden hiçbir bağlantı koparılmadan, rastgele seçilen düğüm çiftleri arasına yeni bağlantılar eklenmektedir. Bu yeni bağlantılar Newman ve Watts (1999) tarafından *kısayol* (shortcut) olarak adlandırılmıştır. Olasılık parametresi olan p , eklenen bu kısayollar tarafından yönetilmektedir. Yani yeni eklenen bağlantı sayısı M olmak üzere;

$$p = M / (N(N - 1) / 2) \quad (4. 25)$$

* Bu durum düğümlerin aşağı yukarı aynı sayıda bağlantı içermesi ile sonuçlanacağından küçük dünya ağları bu yönüyle tesadüfi ağlara benzemektedir (Soyyigit Kaya, 2015). Ancak aynı zamanda düğüm derecesi k 'nın n ile sınırlı olması küçük dünya ağlarının en çok eleştiri alan özelliğidir. Barabási ve Albert (1999)'ın ölçek bağımsız ağları ortaya attıkları çalışmalarında yola çıktıkları en temel eleştirilerden birisi, hem tesadüfi ağlarda hem küçük dünya ağlarında düğüm derecesinin n ile sınırlı olmasıdır

Denklem 4. 25'te verilen ifade olasılık parametresi olan p 'yi ifade edecektir (Uzuntarla ve Özer, 2008). Böylece kısa yolların toplam sayısı Lkp ve ortalama derece $2Lk(1+p)$ olacaktır. Modelin bu biçimi, hiçbir zaman herhangi bir düğümün ağına geri kalanına bağlantısız olmaması şeklindeki istenen özelliği sağlamaktadır (Newman, 2003, s. 28).



Şekil 4. 18. Küçük Dünya Ağları Oluşumunda Watts-Strogatz Yöntemi İle Newman-Watts Yönteminin Karşılaştırılması

Not: Şekilde (a) şıkki ile belirtilen ağ, tüm düğüm ikililerinin aynı k derecesi ile bağlı olduğu, düzenli kafes ağıdır. (b) şıkki, Watts-Strogatz Yöntemine göre yeniden bağlanmış küçük dünya ağı, (c) şıkki ise, Newman-Watts Yöntemine göre kısayollar eklenerek oluşturulmuş küçük dünya ağını göstermektedir.

Kaynak: Newman, M. E. J. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*. 43, 167-256.

Böylece Watts ve Strogatz tarafından ortaya atılan küçük dünya ağlarını oluşturabilmek için gerçekleştirilen bağlantı ekleme sürecinde ağda bağlantısız düğüm oluşma ihtimali Newman-Watts yöntemi ile ortadan kaldırılmıştır. Devam eden süreçte tesadüfilik oranının her arttırılışında kümelenme katsayısı ve ortalama patika uzunluğu ölçülerek, küçük dünya ağını veren bağlantı sayısına ulaşılmaya çalışılmaktadır. Newman ve Watts'ın kısayol ekleme yöntemi ile düzenli ağdan hiçbir bağlantı silinmemesi durumu özellikle ticaret ağları gibi ülkelerin düğümler olarak modelde ifade edildiği ağlarda küçük dünya ağlarının kullanımını yaygınlaştırmıştır. Çünkü dünya bir taraftan küreselleşirken diğer taraftan bölgeselleşmektedir ve ülkeler arası ekonomik bağlar işbirliklerini harekete geçirmektedir (Oktay, 2005, s.178). Bu işbirliklerinin sonucu olarak yapılan ticaret ise, ağdaki tüm ülkelere fayda sağlayacak şekilde uzun vadeli olarak kurgulanmaya çalışılmaktadır.

Willhite (2001) ikili ticaret ve küçük dünya ağları üzerine yaptığı çalışmasında, küçük dünya ağlarının dinamik sistemlerde, gelişmiş sinyal yayılım hızı ve hesaplama

gücünün var olması sebebiyle, sanal dünya üzerinde günlük koşullarda karşımıza çıkan piyasaya benzer bir piyasa elde edebildiğinden bahsetmektedir. Willhite (2001)'a göre, küçük dünya ticaret ağları, süratli bir şekilde küresel kaynak ayrımını yok ederken, yerel ticarete de fayda (arama ve anlaşma maliyetlerini düşürmesi gibi) sunmaktadır. Arama ve kur maliyetlerinden tasarruf etme yeteneğinden dolayı, bu tür ağların iktisadi davranışları daha yakından incelenmelidir. Bilginin, gücün ve tanışıklığın her türünün, her düğümün görece küçük sayıda ortak ile bağlı olmasına rağmen tüm ağ üzerine hızlıca yayılabildiği küçük dünya ağları, bu özelliği ile yerel kur ile küresel piyasaya erişme kolaylığı da göstermektedir. Böylece çok az sayıda ticaret ortağı bulunan ülkeler bile ticaret zincirleri kurarak ürünlerini birçok pazara ulaştırabilir hale gelmektedir. Küçük dünya ağları bu özelliği ile dolaylı yollardan maliyetleri de dengelemektedir (Willhite, 2001, s. 50-55).

4. 2. 2. 4. Ölçek Bağımsız Ağlar

Barabási ve Albert (1999) tarafından ortaya konan ölçek bağımsız ağ modeli temelde eleştirisini tesadüfi ağlar ve küçük dünya ağlarına ait iki özellik üzerinde yoğunlaştırmaktadır. Bunlardan ilki gerçek dünyada karşılaşılan ağlarla temsil edilebilecek ilişkilerin bu kadar tesadüfi olamayacağı, yani dolaylı yoldan da Poisson dağılımını izlemeyeceği, diğeri ise bu iki modelin de ağ yapısı oluşumuna yeni düğümler eklenmesi durumunu büyük ölçüde göz ardı ederek ağ yapılarını bir anlamda statik olarak değerlendirmesidir.

Barabási ve Albert (1999) tarafından oluşturulan ölçek bağımsız ağ modelleri öncelikle ilk eleştiriden yola çıkarak gerçek dünya ağlarında, bazı düğümlerin az sayıda bağlantı içerebileceği gibi, bazılarının çok yüksek sayıda bağlantı içerebileceği iddiasını gündeme getirmektedirler. Bu iddialarını ise, dünya çapında ağ anlamına gelen ve *world wide web* olarak adlandırılan, kısaltması *www* olan, tüm dünyanın internet sunucularının bağlı bulunduğu ağı örnek vererek desteklemektedirler. Esasen Barabási ve Albert, Waxman (1988)'in *www* ağı için yaptığı ve alanda ilk olma özelliği taşıyan çalışmasındaki *internet ağlarının uzak düğümler arasına döşenmesinin maliyetli olacağından, bağlanma olasılığının düğümler arası uzaklıklara göre üstel olarak artacağı* varsayımını kabul etmektedirler. Ancak bu model Barabási ve Albert

tarafından 1999 yılında, internetin ölçeksiz doğasının ortaya çıkması ile birlikte yeniden ele alınmıştır. Bu tür her gün yeni oluşturulan internet sayfaları kanalıyla büyümekte olan kompleks ağlar incelendiğinde, ağ üzerindeki bazı düğümlerin (önem taşıyan sayfaların) fazla miktarda bağlantı içerdiği görülmüş ve bu türden bağlantılar içeren düğümlere *merkez* (hub) ismini verilmiştir (Barabási, 2002, s.254). Merkez düğümler ağdaki toplam bağlantı sayısının önemli bir oranına sahiptirler (Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007, s.180).

Barabási ve Albert (1999)’a göre içerisinde yüksek bağlantı dereceli bu türden merkezler barındıran ağlar, kuvvet yasası dağılımı izlemektedir. Kuvvet yasaları, birçok gerçek ağda düğümlerin büyük bölümünün sadece birkaç bağlantıya sahip olması ve bu sayısız ufak düğümün birkaç büyük merkezle, yani olağanüstü çok sayıda bağlantıya sahip düğümlerle birlikte var olması olgusunu matematiksel olarak formüle etmektedir. Kuvvet yasasının, Poisson dağılımının aksine, karakteristik bir ortalama değere sahip olamamasından ötürü, kuvvet yasası dağılımı gösteren ağlar *ölçek bağımsız ağlar* olarak adlandırılır (Taşçı, 2007, s.31).

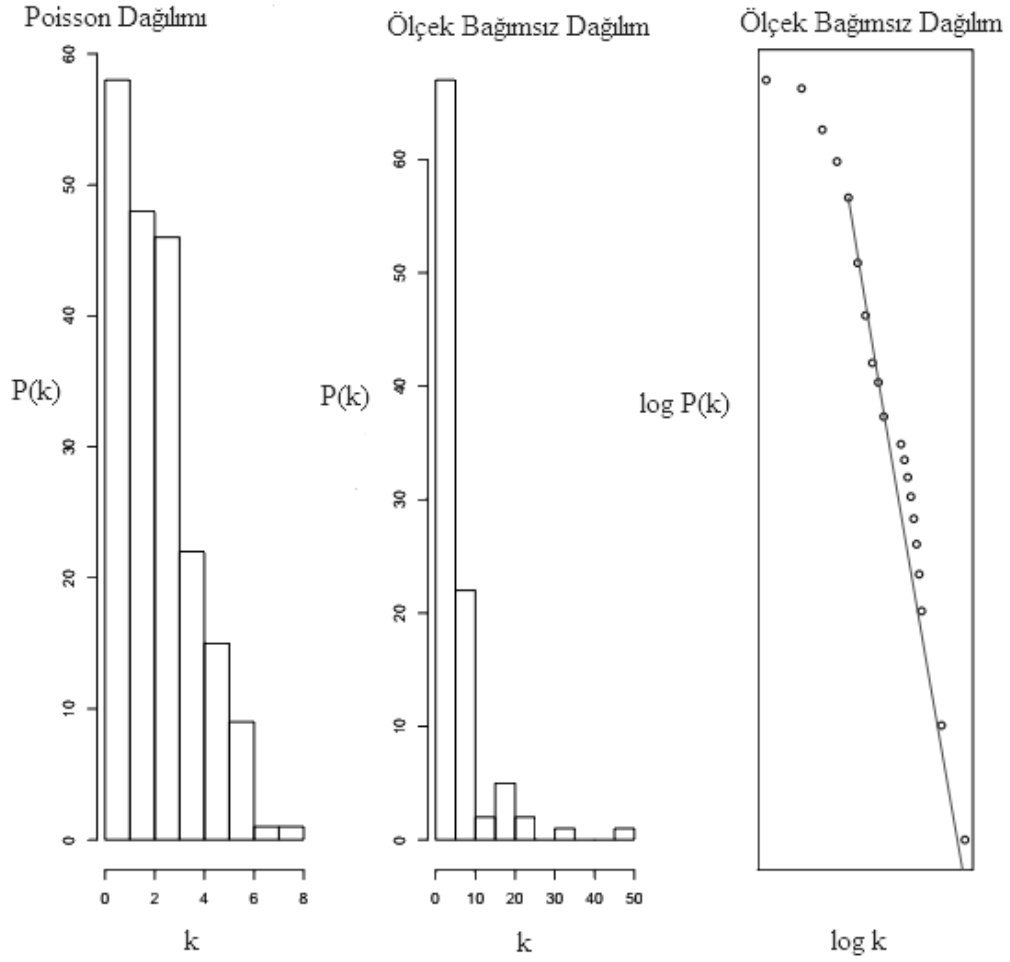
Denklem 4. 26 ile ifade edilen *kuvvet yasası dağılımında* üstel γ ifadesi, denklemin *üstel derecesi* olarak adlandırılır.

$$P(k) \sim k^{-\gamma} \quad (\text{Barabási 2015, 4.5}) \quad (4. 26)$$

Denklem 4. 27’nin logaritması alındığında denklem 4. 23’de ifade edildiği halini alacaktır.

$$\log P(k) \sim \gamma \log k \quad (\text{Barabási 2015, 4.5}) \quad (4. 27)$$

Artık doğrusal denklem halini almış olan bu ifadede, $\log P(k)$ ’nın $\log k$ ’ya doğrusal olarak bağlı olmasını beklersek, bu çizginin eğimi üstel derece ile ifade edilen γ olacaktır. Bu dağılımların grafiksel ifadeleri karşılaştırılmak istenirse, tesadüfi ve ölçek bağımsız ağlar arasındaki fark, derece dağılımının kuyruğunda kendini gösterecektir (Barabási 2015, 4.5). Bu fark Şekil 4. 19.’te gösterilmektedir.



Şekil 4. 19. Poisson ve Kuvvet Yasası Dağılımın Karşılaştırılması

Kaynak Oh, Y. J. (2015). Agent-Based Network Modelling for The 2008 Financial Crisis and The Sluggish Recovery. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Dallas: University of Texas, s.17.

Mitchell (2009, s.239) tarafından ölçek bağımsız ağlara ilişkin özellikler dört maddede belirtilmektedir. Bunlardan ilki, ağın merkezlere sahip olmasıdır. İkincisi ise, düğüm derecelerinin geniş bir aralıkta yer almasıdır. Üçüncüsü, ölçek bağımsız bir ağda dağılımın ölçeği ne kadar değiştirilse de, yeni oluşacak dağılımın tekrar ölçek bağımsız dağılıma uyum sağlamasını ifade eden *öz benzeşlik* (self-similarity) özelliğini taşımasıdır. Bu özellik aynı zamanda ölçek bağımsız model olarak adlandırılmasının da nedenini oluşturmaktadır. Son özellik olarak da ağda bulunan merkezlerin tüm bağlantıların yüksek bir oranına sahip olmasının bir sonucu olarak düğümler arası

uzaklık aracılığı ile hesaplanan ortalama patika uzunluğunun kısa ve aynı nedenden dolayı kümelenme katsayısının yüksek olmasıdır (Aktaran; Soyyiğit Kaya, 2015, s. 47).

Barabási ve Albert ağ modelinin bağlantı oluşum süreci iki temel kurala dayanmaktadır: büyüme ve tercihli bağlanım. Model ağ oluşumuna belirli sayıda düğüm ile başlamaktadır. Daha sonra her adımda yeni düğümlerin eklenmesi ile büyüme söz konusu olmaktadır. Ağa eklenen her yeni düğüm ile ağda var olan bir düğüm arasına yeni bağlantı eklenir. Yeni bağlantının geldiği düğümler, doğrusal bir tercihli bağlanım kuralını izler. Bu nedenle, en çok bağlantısı olan düğümün yeni düğümlerle bağlanma olasılığı yüksek olmaktadır. Bu durum, *zengin daha zengin olması* yaklaşımı olarak da bilinmektedir (Costa, Rodrigues, Travieso ve Villas Boas, 2007, s.180).

Tercihli bağlanım ile büyüyen ağlara ilişkin bu modele, n_0 adet düğüm ile başlanır ağın büyüme sürecinin her adımında yeni bir düğüm eklenir. Her yeni düğüm için, yeni düğüm bir önceki düğüm ile m yeni bağlantı ile bağlanır. Yeni bağlantıyı alacak düğüm, doğrusal tercihli bağlanım kuralını takip ederek seçilir. Yeni eklenen bir j düğümünün, var olan bir i düğümü ile bağlanma olasılığı Π , i düğümünün derecesi olan k_i 'ye doğrusal olarak bağlıdır ve k_i 'nin çift yönlü toplam bağlantı sayısına oranı ile bulunur. Denklem 4. 28 'de k_i hedef düğümün derecesi, $\sum_j k_j$, ise yeni düğüm eklenmeden önce ağdaki tüm düğümlerin toplam düğüm derecesini ifade etmektedir (Chen, Chang, Govindan, Ramin v.d., 2002).

$$\Pi(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j} \quad (\text{Chen, Chang, Govindan, Ramin v.d., 2002}) \quad (4. 28)$$

Barabási ve Albert (1999), yola çıktıkları eleştirel noktalara yönelik geliştirdikleri ölçek bağımsız ağlarda iki temel nokta üzerinde hassasiyetle durmaktadır. Bunlardan ilki, oluşturdıkları modelde diğer modellerin aksine* N'nin sürekli artmasının mümkün olması ve buna bağlı olarak dinamik bir analizin mümkün kılınmasıdır. Diğeri ise, yeni düğümlerin ağa katıldıktan sonra tercihen en iyi bağlantıya

* Her iki modelde (tesadüfi ağ ve küçük dünya ağı) sabit sayıda N ile başlar ve N değişmeden tesadüfi olarak yeniden bağlantı ekleme süreci söz konusu olur.

sahip alanlara eklenmeleridir. Örneğin, Hollywood'daki oyuncu ağı, sisteme yeni oyuncular eklenmesi ile sürekli büyür, www ağı, zaman içinde üstel olarak yeni internet sayfalarının eklenmesi ile büyür ve araştırma yazını yeni makalelerin yayınlanması ile sabit artış gösterir (Barabási ve Albert, 1999, s.510).

4. 2. 3. Kompleks Ağ Modellerinin Parametrik Olarak Karşılaştırılması

Ağ modelleri ortaya çıkış itibarı ile Bölüm 4. 3. 2.'de verildiği üzere, belirli bir kronolojik sırayı takip etmiştir. Bu bağlamda, her yeni ağ modeli kendisinden önce var olan model ya da modellerin varsayımlarının kendilerince eksik kalan yönlerine alternatif türetmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, küçük dünya ağları, kendisinden önce alan yazınında var olan tesadüfi ağlara ilişkin varsayımları insanların sosyal ilişkilerine uyarlarken, Granovetter'in zayıf sosyal bağlar hipotezinden yararlanılarak tesadüfi olarak seçilmiş iki kişinin birbirini tanıma olasılığının tesadüfi modeldekinden farklı olabileceği görüşünden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Benzer şekilde, ölçek bağımsız ağlar, küçük dünya ağlarının sabit kalan n düğüm sayısı ve düğüm derecesi k 'nın n ile sınırlı olması özelliklerini eleştirmiştir. Bu eleştirinin bir sonucu olarak da süreç içerisinde düğüm sayısı n 'de değişime izin veren ve düğüm derecesi k 'nın düğüm sayısı n 'den fazla olabileceği bir model olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bağlamda her yeni kompleks ağ modeli, en başta graf teorisi kapsamında verilen ve ağ yapılarının belirlenmesi için kullanılan ortalama patika uzunluğu, kümelenme katsayısı, derece dağılımı gibi parametreleri, kendi koyduğu koşul ve yöntemlere göre yeniden türetmiştir. Tablo 4. 4.'te bu parametrelerin tesadüfi, ölçek bağımsız ve küçük dünya ağları özelinde hesaplanma yöntemleri gösterilmektedir.

Tablo 4. 5.
Ağ Modellerinin Parametrelerinin Karşılaştırılması

Ölçü	Tesadüfi Ağlar	Küçük Dünya Ağları	Ölçek Bağımsız Ağlar
Derece Dağılımı	$P(k) = \frac{e^{-\langle k \rangle} \langle k \rangle^k}{k!}$	$P(k) = \sum_{j=1}^{\min(k-\kappa, \kappa)} \binom{\kappa}{i} (1-p)^j p^{\kappa-i} \frac{(p\kappa)^{k-\kappa-i}}{(k-\kappa-i)!} e^{-p\kappa}$	$P(k) \sim k^{-3}$
Ortalama Düğüm Derecesi	$\langle k \rangle = p(N-1)$	$\langle k \rangle = 2\kappa$	$\langle k \rangle = 2m$
Kümelenme Katsayısı	$C = p$	$C(p) \sim \frac{3(\kappa-1)}{2(2\kappa-1)} (1-p)^3$	$C \sim N^{-0.75}$
Ortalama Patika Uzunluğu	$l \sim \frac{\ln N}{\ln \langle k \rangle}$	$l(N, p) \sim p^{\tau} f(Np^{\tau})^*$	$l \sim \frac{\log N}{\log(\log N)}$

Not: κ , düzenli ağdaki her düğümün komşularının sayısını simgelemektedir.

* Eğer $u \ll 1$ ya da $u \gg 1$, $f(u) = \ln(u)/u$ ise $f(u)$ fonksiyonu sabittir.

Kaynak: Costa, L. da F., F. A. Rodrigues, G. Travieso ve P. R. Villas Boas. (2007). Characterization of Complex Networks: A Survey of Measurements. *Advances in Physics*. 56.1, s.177.

Ortaya çıkan her yeni kompleks ağ modeli temelde ele alınacak kompleks sistemin en iyi şekilde temsil edilebilmesi fikri ile oluşmuştur. Bu sebeple, araştırmacılar tarafından ele alınacak kompleks sistemin özellikleri kadar bu sistemi temsil edebilme yetisine sahip ağ modelinin parametrelerine ilişkin temel özelliklerinin bilinmesi de önem arz etmektedir. Bu amaçla, Akal (2014) tarafından hazırlanan ve ağ modellerinin yapısal özelliklerini belirlemede kullanılan parametrelere ilişkin ayrıntı özellikleri bir arada veren Tablo 4. 5. aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 4. 5.
Ağ Modellerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Ağ Modeli	Düğüm Derece Dağılımı	Ortalama Yol Uzunluğu	Kümelenme Katsayısı	Seçici Bağlantı
Gerçek Ağlar	Güç yasası (genellikle)	Yüksek	Düşük	Pozitif ya da Negatif seçicilik
Düzenli Ağlar	Sabit	Yüksek	Yüksek	Yok
Tesadüfi Ağlar	Poisson-Binom	Düşük	Düşük	Yok
Küçük Dünya Ağları	p 'ye bağlı	Yüksek	Düşük	Yok
Ölçek Bağımsız Ağlar	Güç yasası	Yüksek	Düşük	Kısmen

Kaynak: Akal, Ş. (2014). Gerçek ve Model Ağların Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*.11. 41, s.269.

4. 3. Değerlendirme

Bu bölümde, yeni heterodoks iktisat kapsamında ele alınan kompleksite iktisadının barındırdığı kompleksite ve evrim düşüncelerinin bir sentezi olarak ortaya çıkan kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizi için kullanılan ajan-temelli modelleme ve onun analitik destekleyicisi olan ağ modelleri ele alınmıştır.

Kompleksite iktisadının ele aldığı sosyal fenomenlerin aydınlatılması için oluşturulan kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizinde, kendi oluşturduğumuz yapay dünyada üretilen ile gerçekte var olan bilgiyi açıklayabilme amacı ile ortaya çıkan ajan-temelli modelleme kullanılmaktadır. Ajan-temelli modelleme bu bilginin heterojen ajanlar arasında yerel ölçekte üretilerek, evrensel sonuçlar doğurduğunu söylemektedir. Ajan-temelli bir model oluşturulabilmesi için üç temel eleman olan ajan, ajan ve diğer ajanlar arasındaki etkileşimler ve ajanla çevresi arasındaki ilişkilerin tanımlanması gerekmektedir. Ajanın diğer ajanlar ve çevresi ile olan etkileşimleri hücrel otomasyon, coğrafi bilgi sistemleri, Öklidyen 3 boyutlu uzay ya da ağ topolojisi üzerinde ifade edilebilmektedir.

Kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizinde kullanılan bir yöntem olan ajan-temelli modelin ağ topolojisi ile ifadesi, bu amaca yönelik olarak temellerini graf teorisinden almakta olan ağ teorisi kapsamında kompleks ilişkileri açıklamaya yarayan kompleks ağ modellerinin kullanılması ile sonuçlanmaktadır. Bunun bir sonucu olarak ele aldığımız iktisadi fenomene ilişkin gerçek dünyadaki kompleks ilişkileri en iyi yansıttığını düşündüğümüz kompleks ağ modelinin seçilmesi ise kompleks uyarlanabilir sistem analiz edilebilir hale gelmektedir. Bu ağ yapıları ortaya çıkış sırasında göre tesadüfi ağlar, küçük dünya ağları ve ölçek bağımsız ağlardır.

Bu çalışmanın uygulama bölümünde ele alınacak iktisadi konu için oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sistemin analizi için oluşturulacak ajan-temelli modelde ajanın komşuları ve çevresi ile olan ilişkileri ağ topolojisi üzerinde gösterilecektir. Bu amaçla kompleks sistemleri ifade etmede kullanılan kompleks ağ modellerinden ticaret yapısının modellenmesi için en uygun model olduğu düşünülen küçük dünya ağları kullanılacaktır.

5. PREBISCH-SINGER HİPOTEZİNİN KOMPLEKS UYARLANABİLİR SİSTEM İLE ANALİZİ

Yeni heterodoks iktisat okulları ile ortaya çıkan kompleksite iktisadı, içerisinde barındırdığı evrim düşüncesi ile birlikte ortaya kompleks uyarlanabilir sistemleri çıkartmıştır. Bu sistemler kompleksite iktisadının ele aldığı iktisadi konuların içerdiği kompleks ilişkiler ve evrim düşüncesini analiz etmeyi mümkün hale getirmiştir. Kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizi için temellerini bilgisayar bilimlerinden alan ajan-temelli modeller kullanılmaktadır. Ajan-temelli modeller ele alınan konu içerisindeki iktisadi karar alıcıları, ajan olarak nitelendirmektedirler. Ayrıca içerdikleri; ajan, ajan ve diğer ajanlar arasındaki ilişkiler, ajan ve çevre arasında ilişkiler özelliklerini modelleyebilmek için de çeşitli topolojik gösterimlere ihtiyaç duymaktadırlar. Temellerini graf teorisinden alan ağ modelleri bu özelliklerin ifadesinde ajan-temelli modellerin oluşturulması için uygun bir topolojik yapı sunmaktadır. Bu sebeple alan yazında ağ topolojisi ile ifade edilen ajan-temelli modeller, ajan-temelli ağ modelleri olarak yer bulmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sistemin iktisadi konusu temel olarak uluslararası ticarettir. Uluslararası ticaret konusu gereği hem dünya üzerindeki birçok ülkenin birbirine ticaret ağları ile bağlı olmasının yarattığı kompleks ilişkiler, hem de yapılan uluslararası anlaşmalara sadık kalınıp, ülkenin en yüksek faydası için her dönemde yeni bir strateji üretilmesi noktasında uyarlanma özelliği taşıması nedeniyle, kompleks uyarlanabilir sistemlerle ifade edilmeye uygun bir konudur. Bu amaçla oluşturulacak kompleks uyarlanabilir sistemin analizi için ülkelerin ajanlar olarak temsil edildiği bir ajan-temelli modelleme yapılacaktır. Bu model için uygun bulunan ağ topolojisi ülkeler arası ticaret bağlarının kompleks yapısını ifade etmeye uygun görülen kompleks ağ modellerinden olan küçük dünya ağlarıdır. Ayrıca ticaret bağlarının oluşumu ve sürdürülmesine ilişkin ajan-temelli ağ modelinin ifade etmesi gereken uyarlanabilme özelliği modele evrimsel oyun teorisi ile dâhil edilecektir.

Bu noktada oluşturulacak ajan-temelli model üzerinde, davranışlarını ve karar alma kabiliyetini yöneten sonlu özellikler ve kurallara ihtiyaç duyan ajanların bu özellik ve kurallarını, mahkûm ikilemi oyunundaki evrimsel stratejiler oluşturmuş olacaktır. Bu yönüyle evrimsel stratejili mahkûm ikilemi oyununun kullanılmasının önemi, hem mahkûm ikilemi oyunu stratejilerinin kazanç değerlerinde işbirliğine izin veren yapısı ile ticaret ilişkilerini ifade etmede kullanılması, hem de evrimsel stratejilerin getirdiği en yüksek faydayı sağlayabilme özelliğinin sistemin uyarlanabilirliğini ifadesi açısından edebilmesidir.

Yapılacak uygulamada öncelikle kompleks uyarlanabilir sistemin analizi için bir ajan-temelli model oluşturulacaktır. Oluşturulan model, ilk adımda ülkeleri ifade eden ajanlarına gelişmişlik farkları özelliklerini tanımlamadan simüle edilecektir. Bu şekli ile hem sistemin doğrulanması yapılarak, geçerliliği test edilmiş hem de gelişmişlik farkları tanımlanan ajanlarla yapılacak simülasyon sonuçları ile karşılaştırılma yapılmasına izin verecek referans değerlere ulaşılmış olacaktır. Ticaretin kompleks uyarlanabilir sistem olarak ifadesi için örnek teşkil edecek sistemdeki ajanlara ikinci adımda, ülkeler arası gelişmişlik seviyesi farkları tanımlanarak bu farkların yarattığı etkiler incelenecektir. Ülkeler arası gelişmişlik farklarının ticaret üzerindeki etkisine ilişkin test edilecek iddia, yerleşik heterodoks iktisat okullarından yapısalci kalkınma anlayışının simgesi olan Prebisch-Singer hipotezinin iddiasıdır. Prebisch-Singer hipotezi temel olarak, uzun dönemde ticaret hadlerinin ilksel mal üreten geliştirmekte olan ülkelerin aleyhine işlerken, imalat sanayi üretimi yapan gelişmiş ülkelerin lehine işleyeceğini belirtmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak ortaya çıkan *gelişmiş ve geliştirmekte olan ülkeler arası ticaretten gelişmiş ülkelerin daha karlı çıkacağı* iddiası, kompleks uyarlanabilir sistemde ifade edilerek simüle edilecektir. Böylece, gelişmiş ve geliştirmekte olan ülkelerin birbiri ile ticaret yapma kararının oluşum sürecini ve Prebisch-Singer hipotezindeki kazançların mevcut olduğu varsayımı altında oluşacak ticaret yapısında, bu ülkelerin birbiri ile işbirliği yapma/yapmama kararlarının nasıl sonuçlandığına dair fikir üretilebilecektir. Çalışmanın bu yönü ile yükselen piyasalar olarak adlandırılan ülkelerin ortaya çıkması ile birlikte bu iddianın hala geçerli olabileceği konusundaki güncel tartışmalara katkı sağlaması beklenmektedir. Ancak burada yapılacak uygulama ele alınış biçimi açısından, gelişmiş ve geliştirmekte olan

lkeler arasındaki ticarete ilişkin kazanç varsayımına yönelik bir sonuca ulaşmaktan çok, aralarındaki ticaretin ortaya çıkaracağı sonucu görebilme ve metodolojik anlamda gelecek çalışmalara nc niteliği taşımayı hedeflemektedir. Bu nedenle daha çok, ticaret için kurgulanacak kompleks uyarlanabilir sistemin benzer iktisadi konulara uygulanabilmesinin de nn aması açısından önem arz etmektedir.

Bu amaçla bu bölümde öncelikle çalışmanın ele alacağı iktisadi konuya uygun olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülke kavramları tanıtılarak, ticaret ve gelişmişlik seviyesi arasındaki ilişkiye değinilecektir. Daha sonra bu ilişkinin bir sonucu olarak ortaya çıkan kalkınma iktisadı kapsamında, ortodoks iktisat düşüncesinden heterodoks iktisat düşüncesine dönüşüm yaşanırken ortaya çıkan azgelişmiş ülke kavramı ve bu kavramın ortaya çıkardığı azgelişmişlik teorileri üreten yapısalcı okul ele alınacaktır. Bu bağlamda yapısalcı okulun azgelişmiş ülkelere kalkınma nerileri sunabilmek için geliştirdiği ve gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticareti ele alan Prebisch-Singer hipotezi güncel tartışmaları ile incelenecektir. Daha sonra da Prebisch-Singer hipotezinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticarete ilişkin iddiasını konu alacak kompleks uyarlanabilir modelin analizi için ağ topolojisi kullanılarak oluşturulacak ajan-temelli model yapısı, parametreleri ve yapılacak simülasyonun adımları tanıtılarak elde edilen bulgular incelenecektir.

5. 1. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan lkeler Arası Ticaret ve Prebisch-Singer Hipotezi

Gelişmişlik kelimesinin İngilizce karşılığı olan *developed* kelimesinin Türkçeye aynı zamanda kalkınma anlamında çevrilmesinden dolayı bu iki kavram sıklıkla karıştırılmaktadır. Her ne kadar aralarında çok büyük bir fark olmasa da ekonomik kalkınma bir ülke ya da bölgede yaşam standartlarının gelir, tüketim ve tasarruf gibi maddi kavramların yanı sıra eğitim, sağlık, kaliteli yiyecek ve su gibi kavramların standartlarının da yükselmesidir. Gelişme ise kalkınmadan çok farklı bir kavram olmamakla beraber daha çok kalkınma aşamasını tamamlamış ve yapısal değişim içine girmiş ekonomilerin durumunu anlatmak için kullanılır. Bu sebeple yapısal değişimini tamamlayabilmiş ülkeler alan yazında kalkınmış ülkeler olarak anılmaktan çok, gelişmiş ülkeler olarak nitelendirilmektedir. Birleşmiş Milletler'in

insani gelişmişlik endeksi bu kavramdaki ilerlemeyi ölçmekte kullanılır. Dünyada var olan birçok ülke içinde bazılarının kalkınmasını sağlamış ve gelişmiş ülke olarak adlandırılması bu süreci sağlayamayan ülkelerin gelişmekte olan ya da azgelişmiş ülkeler gibi isimlerle anılmasına neden olmaktadır*. Bu kavramlar temelde ülkeler arası eşitsiz gelişim ile ortaya çıkmışlardır.

Bir ekonominin yaşam standartlarındaki artışı sağlayan ve bu şekilde gelişmiş ülke olmasına etki eden faktör ise ekonomik büyümedir. Ekonomik büyüme, bir ülkede ya da bölgede insan ihtiyaçlarını karşılayacak olan araçlarda ve ürünlerdeki artış olarak tanımlanmakta ve GSYH'deki artış ile ölçülmektedir. Dolayısıyla ekonomik büyüme olmadıkça geliri ve refahı artmamakta, geliri ve refahı artmayan bir ekonomide de yaşam standartlarının artması mümkün olamayacağı için, kalkınma ve gelişme sağlanamamaktadır (Eğilmez, 2012).

Ekonomik büyüme ile kalkınma ve gelişmişlik düzeyi arasındaki ilişkinin benzeri ticaret ile kalkınma ve gelişmişlik düzeyi arasında da mevcuttur. Bu bağlamda ana akım ortodoks iktisat olarak görülen neoklasik iktisat ticaret ve ekonomik büyümenin yarattığı etkiler arasında kendiliğinden, doğal olarak var olan bir benzerliğin olduğunu savunmaktadırlar. Bu benzerlik, her iki süreçinde ekonomideki çıktı düzeyini arttırması ile ilgilidir. Neoklasik iktisat ekonomik büyümenin insan refahını direk olarak yükselttiğini söylerken, uluslararası ticaretten sağlanacak gelir artışının da, GSYH'yi arttırma yolu ile bu refah artışını sağlayan diğer etken olduğunu belirtmektedir (Van Den Berg, 2015, s.136). Bu ilişki dolaylı yoldan, uluslararası ticaretin gelir ve refah artışını sağlayarak ekonomideki yaşam standartlarını yükseltmesi ile kalkınma ve gelişmeyi doğuracağını göstermektedir. Ancak bu bakış açısı ülkelerdeki faktör donanımı** ya da teknolojiye bir değişiklik olmadığını varsayması nedeniyle oldukça

*Bu terimlerle birlikte İngilizce *underdevelopment* ve *developing* kavramları gelişmiştir. Türkçe'de bu kavramlar azgelişmiş ve gelişmekte olan şeklinde kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler, gelişmiş ülkelerin ekonomik performans, standart ve prestijine erişme çabasında olduğundan, kalkınma iktisadı bağlamında gelişmişler dışındaki tüm ülkeleri tanımlamak için de kullanılır (Dulupçu,2002, s. 38). Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki bölümünde gelişmekte olan ülkeler olarak kullanılacaktır.

** Bir malın üretiminde, bir ülkenin maliyet üstünlüğünü belirleyen unsurlar, ülkenin sahip olduğu faktör donanımını ifade etmektedir.

statiktir. Dolayısıyla ekonomi bir kez serbest ticarete geçtiğinde artık refahta daha fazla bir artış söz konusu olamayacaktır. Fakat dinamik bir bakış açısı ile düşünüldüğünde, ekonomide büyüme, faktör arzı ve teknoloji arttıkça refah artışı devam etmelidir (Van Den Berg, 2015, s.136).

Bu dinamik yapının bir sonucu olarak faktör arzındaki artış, artan faktörü görece ucuzlatarak onu yoğun biçimde kullanan endüstrilerin maliyetinin düşmesi ve üretimin genişlemesine yol açmaktadır. Bu ise ülkelerin karşılaştırmalı üstün olduğu ürün yapısında değişmeye sebep olmaktadır. Bu bağlamda azgelişmiş ülkelerin, çoğunlukla zengin nüfus potansiyeline karşılık sermaye kıtlığı çektikleri ve bu nedenle zorunlu olarak emek yoğun mal ihracına yöneldikleri görülmektedir. Bu nedenle, hızlı bir sanayileşme ile uzun dönemde ileri teknoloji ve sermaye yoğun mal ihraç eden bir ülke konumuna gelerek gelişmiş ülke olabilmeyi hedeflemektedirler (Masça, t.y.). Bu hedefe sanayileşerek ulaşan gelişmiş ülkelerde tarımın yerini sanayi almış, teknolojik gelişme yeni ürünlerin sürekliliğini, eskilerin ise yenilenmesini sağlayarak dış ticaretin dünya çapında artmasını sağlamışlardır. İktisadi dönüşümünü tamamlayan gelişmiş ülkeler artık sadece ekonomik büyüme ile ilgilenmekte iken, tamamlayamayan gelişmekte olan ülkeler için bu süreç, araştırılması gereken bir konu haline almıştır (Dulupçu, 2002, s.38).

Özellikle II Dünya Savaşı sonrasında, bir anda dünyanın büyük kısmının azgelişmiş olduğu tespit edilmiş ve ülkeler arasında gelişmişlik düzeyine göre sınıflandırma yapılmıştır. Bu noktada sözü edilen dinamik yaklaşımları içeren çalışmalar, azgelişmişliğin nedenlerini açıklaması ve kurtulma önerileri üretmesi ile Ercan ve Biçen (2005) tarafından kalkınma iktisadının o dönemin ana akımı olan neoklasik iktisattan kopuşunun ilk adımı olarak görülmektedir. Devam eden süreçte, Seers, Streeten ve Hirschman gibi iktisatçılar ile iktisat disiplinin azgelişmiş ülkelerin kalkınma gerçekliklerini açıklamakta yetersiz kaldığı düşüncesi, ikinci kırılma olarak belirtilmektedir. Ercan ve Biçen (2005), üçüncü kırılmanın ise bağımlılık okulu, kurumsalcı okul, neo-Marksist yaklaşımlar ve yapısalci okul gibi azgelişmişlik teorileri üreten yerleşik heterodoks iktisat okullarının ortaya çıkması olduğunu belirtmektedir. Bu üç kırılma temelde iktisat içindeki kalkınma düşüncelerinin, azgelişmiş ülke

kavramının kazandığı önemi ile ortodokstan heterodoksa doğru değişmesini göstermektedir. Kalkınma düşünceleri içinde azgelişmiş ülke kavramının önem kazanması, kalkınmayı ticaret bağlamında ele alan çalışmaların ortaya çıkması ile azgelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki ticaret yapısı üzerine fikirler üreten çalışmaların da ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticareti açıklamaya yönelik teoriler sunmaktadır.

Bu bağlamda üçüncü kırılma kapsamında ortaya çıkan yerleşik heterodoks düşünce okullarından yapısalcı okul, azgelişmiş ülkeler ile gelişmiş ülkeler arasındaki yapısal ve kurumsal farklılıklara vurgu yaparken, azgelişmiş ülkelerin yapısal olarak geleneksel düşük verimlilikteki tarım sektörü ve ilksel mal ihracatı etrafında şekillenmiş dış sermaye baskın modern sektörleri bir araya getirdiklerinin üzerinde durmaktadırlar. Modern sektörlerdeki herhangi bir ürün için ise yerli tasarım ya da üretim söz konusu olmamakla birlikte, bu sektörlerdeki istihdam da oldukça düşük gözlemlenmektedir. Arazi kirası sistemi, tarımsal çıktının artmasını sınırlandırmaktadır. Yüksek oranda nüfus artışı ve ihracatın düşük oranda artmasına karşın, ithalatın yüksek oranda artması söz konusu olmaktadır (Cypher ve Dietz, 2009). Yapısalcılar, azgelişmiş ülkelerin kalkınmada başarı sağlayabilmeleri için, devletin müdahalesinin gerekliliğinin ve yeni bir düzenleme yapılmadığı sürece var olan iktisadi yapının bu ülkelerin kalkınmasına uygun olmadığını altını çizmektedirler. Buna bağlı olarak düşük tasarruf oranları, yetersiz eğitim sistemi ve esnek olmayan iktisadi yapılar gibi piyasa başarısızlıkları var olduğu sürece azgelişmiş ülkeler için bu durum içinden çıkılmaz bir döngü halini almaktadır (Şen, 2010, s. 327). Bu bağlamda yapısalcı kalkınma anlayışı, gelişmiş olduğu Prebisch-Singer hipotezi çerçevesinde, gelişmekte olan ülkelere kalkınma için yoğun koruyuculuk, sanayileşme ve planlama önermektedir.

5. 1. 1. Prebisch-Singer Hipotezi

Prebisch-Singer hipotezi temelde aynı yıllarda Raúl Prebisch ve Hans Singer tarafından yapılan çalışmaların bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Raúl Prebisch'in (1950) *Latin Amerika'nın Ekonomik Kalkınması ve Başlıca Problemleri* (The Economic Development of Latin America and its Principal Problems) isimli çalışması ile Hans W. Singer'in (1949) *Az Gelişmiş Ülkelerde Ekonomik İlerleme* (Economic Progress in

Underdeveloped Countries) eserlerinin ortak ürünü olarak görülmektedir. Prebisch-Singer hipotezinin orijinalindeki iddia, güneyden ihraç edilen ilksel mallar ile kuzeyden ihraç edilen imalat sanayi malları arasındaki fiyat farkını ele alırken, bu durumun güneyin ticaret hadlerinde azalmaya neden olacağını öne sürmektedir (Çağatay, 2005, s.7).

Bu noktada Prebisch'in mi Singer için temel oluşturduğu yoksa ikisinin aynı anda bağımsız olarak mı çalıştıkları konusunda fikir ayrılıkları söz konusudur. Her ne kadar bağımsız çalıştıkları iki bilim adamı tarafından kabul edilerek farklı zamanlarda dile getirilmiş olsa da, alan yazında Joseph Love (1980, s.58-59) gibi bazı araştırmacılar Prebisch'in teorisinin Singer için temel teşkil ettiğini ve çalışmasını bunun üzerine şekillendirdiğini belirtmektedir. Diğer yandan, Kay (2011, s.32) Singer'in günümüzde artık iktisat yazınında Prebisch-Singer hipotezi olarak bilinen ticaret hadlerinde düşüş tezini neredeyse aynı zamanlarda ve Prebisch'den bağımsız olarak sonuçlandığını yazmaktadır. Bu ikinci görüş, Tøye ve Tøye'un 2000 yılında Singer ile yaptığı röportajda Singer tarafından da kabul edilmiştir. (Tøye ve Tøye 2003, s.439).

Yapısalcı okulun gelişmekte olan ülkelerde kalkınmanın sağlanmasına yönelik çözüm önerilerinin ifade aracı olan Prebisch-Singer hipotezi, genel olarak ihraç ürünleri fiyat endeksinin ithal ürünleri fiyat endeksine oranı olarak tanımlanmakta olan dış ticaret hadleri (terms of trade) kavramını kullanmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında ticaretin başlaması ile ilksel mallar üreten gelişmekte olan ülkelere ihracat kalemleri oransal olarak küçülürken, ithalat kalemlerinde ise bir değişiklik olmayacak ya da artış gözlemlenecektir. Bu durumun bir sonucu olarak sürekli olarak gelişmekte olan ülkeler aleyhine gelişen dış ticaret hadleri Prebisch tarafından, uzun dönemde ticaretten gelişmiş ülkelerin daha çok kârlı çıkması sağlayan neden olarak ifade edilmiştir. Ancak gelişmiş ülkelerin daha çok kârlı çıkması gelişmekte olan ülkelerin, ticaretten herhangi bir kazanım elde etmeyecekleri anlamına gelmemektedir. Bu daha çok, uluslararası ticaretten elde edilecek herhangi bir kazanımın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında eşitsiz dağıldığını göstermektedir. (Kay, 2011, s.34).

Ticaret hadlerinin gelişmekte olan ülkelerin aleyhine değişmesinin nedeni Prebisch'e göre ilksel mallar ile imalat sanayi ürünleri arasındaki arz ve talebin gelir ve

fiyat esnekliğidir. Gelir ve fiyat esnekliği ilksel mallar üreten gelişmekte olan ülkelerde daha düşüktür. Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerde sürekli olarak ithal ve ihraç ürünleri arasındaki fark oransal olarak açılacaktır.

Deneyisel araştırmalara dayalı olarak Prebisch dış ticaret hadlerindeki düşüşü açıklarken, teknolojik gelişim altında endüstrileşmiş ülkeler tarafından üretilen imalat sanayi ürünlerinin göreceli fiyatlarının, gelişmekte olan ülkeler tarafından tedarik edilen ilksel malların fiyatlarından daha yüksek olduğunu belirtmektedir (Street ve James, 1982, s.678). Bunun nedeni teknolojik gelişme ile düşen üretim maliyetlerinin gelişmekte olan ülkelerin tam rekabetçi yapısı nedeniyle ilksel malların fiyatlara yansıtılmasına karşın, gelişmiş ülkelerdeki oligopol piyasa koşullarından dolayı sanayi ürünlerine yansıtılmamasıdır. Bu durum ilksel mallar ile sanayi malları arasındaki fiyat uçurumunun açılmasına ve gelişmekte olan ülkelerin gelişmiş ülkelerdeki teknolojik ilerleme gibi maliyetleri düşürücü etkilerden dolayı olarak elde etmesi gereken kazançları elde edemediğini göstermektedir. Gelişmekte olan ülkenin kazanç kaybı, ithalatın sabit olduğu varsayımı için söz konusu olurken buna ek olarak, sanayi mallarına olan talebin artması ile yaşanabilecek olası ithalat artışı bu kaybın daha da artmasına neden olacaktır. Buna karşı gelişmiş ülke hem ithal ettiği hammadde ve ilksel malların fiyatlarının düşmesinden hem de düşen maliyetlere rağmen ihraç ettiği sanayi mallarının fiyatlarının düşmemiş olmasından kazanç sağlayacaktır.

Prebisch'e göre imalat sanayi ürünleri üreticisi olan gelişmiş ülkelerde oligopolistik yapı söz konusu olur iken, ilksel mal üreticisi konumunda olan gelişmekte olan veya azgelişmiş ülkelerde ise tam rekabet koşulları geçerli olmaktadır. Bu durum bile Cyper ve Dietz (2009, s.175)'e göre, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretin zararlı durumlar ortaya çıkmasına neden olacağının düşünülmesi için yeterli bir göstergedir. Çünkü bu durum gelişmiş ülkenin fiyat koyucu konumda olurken, gelişmekte olan ülkenin fiyat kabullenici olduğunun bir başka ifadesidir.

Prebisch-Singer hipotezinin gelişmekte olan ülkelerin aleyhine gerçekleşen ticaret hadlerinin düzeltilebilmesi için sunduğu çözüm önerileri genel olarak yapısalıcıların kalkınma için devlet müdahalesini gerekli gören düşünceleri ile paralellik arz etmektedir. Bu bağlamda korumacılık, sanayileşme ve planlama odaklı giden

özüm önerilerinin başında bu duruma gelişmekte olan ülkelerin karşılaştırmalı üstünlüklerine göre üretimde bulunmak yerine, üretim yapısını katma değeri yüksek ürünler üretebilecek konuma erişmek adına değıştirmeye çalışması gerektiğini gelmektedir. Bunun yanında gereken durumlarda emek yoğun üretime karşıda korumacı politikalar izleyerek, kendi kalkınma çözümlerini bir plan dâhilinde üretebilmelidir. Katma değeri yüksek üretime geçebilmek için sermaye yaratılması adına tasarruflar arttırılmalı, para politikası araçları kullanılmalıdır.

Bu bağlamda Singer (1984, s.283)'in hipotezin ortaya çıkışına katkıda bulunan 1949 ve 1950 yıllarında yayımladığı çalışmalarda, gelişmekte olan ülkelere iç piyasalarını geliştirerek sanayileşme ya da ithal ikameci politikalar (ISI) ile (ya da her ikisini birleştirerek) ilksel mal ihracatı yapısını olabildiğince değıştirmeleri tavsiye edilmiştir. Singer (1984), bu uyarının gelişmekte olan ülkeler tarafından dikkate alındığını ve özellikle 1960'tan sonra bozulan ticaret hadlerinden ve düşen verimlilikten kaçmak için dikkate değer bir sanayileşme yaşayarak başarı sağladıklarını belirtmektedir. Sözü edilen sanayileşme dönemi için dış ticaret hadleri verileri tam olarak bu ifadeyi desteklemese bile Singer (1984, s.283)'in iddiası bu durumun ifadesini geçersiz kılmayacağı yönündedir. Bu noktada Singer bunun nedeni olarak bu tür düzeltici eylemler olmasaydı, dış ticaret hadleri verilerinin ne durumda olacağının bilinemeyeceğini göstermektedir. Ek olarak da büyük bir olasılıkla şuan olandan daha keskin düşüşler gözlemlenebileceğini ifade etmektedir.

Neredeyse her hipotez gibi Prebisch-Singer hipotezi de ortaya çıktığı andan itibaren eleştirel çalışmaların hedefi olmakla birlikte, son yıllarda bu eleştirel çalışmalar şekil değıştirerek daha çok hipotezi yeniden yapılandırmaya çalışan çalışmalara dönüşmüştür. Bu dönüşümün ardında günümüz değışen küresel üretim yapılarının ortaya çıkardığı durumların açıklanması ihtiyacı yatmaktadır.

5. 1. 2. Prebisch-Singer Hipotezinin Güncel Tartışmaları

Prebisch-Singer hipotezi ortaya çıktığı andan bu yana hem iddiası hem de çözüm önerileri ile eleştirel analizlerin konusu olmuştur. Ancak bu eleştirel analizlerin bir kısmı hipotezin geçerli olduğunu belirtirken, bir kısmı aksini iddia etmiş, bir kısmı

ise ispat edilemez bulmuştur. Aslan ve Yörük (2008) çalışmalarında, bu üç gruptaki çalışmalara ilişkin bilgi verirken, özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın etkisi ile savaş sonrası yapılan çalışmalarda alınan sonuçların ya hipotezi destekler nitelikte ya da ispat edilemez olduğunu savunmakta olduğu sonucuna ulaşmaktadırlar.

Taşçı ve Erçakar (2016) bunlara ek olarak 2000'li yıllarda Prebisch-Singer hipotezine ilişkin yapılan çalışmaların sonuçlarına değinmektedirler. Bu çalışmaya göre ise, Bunzel ve Vogelsang (2005), Kim, Pfaffenzeller, Rayner ve Newbold (2003) ve Harvey, Kellard, Madsen ve Wohar (2010) Prebisch-Singer hipotezini destekler nitelikte sonuçlara ulaşırken, Ghoshray (2011) ile Yamada ve Yong (2014)'un çalışmaları hipotezin ispat edilebilir nitelikte olmadığı yönünde sonuçlanmaktadır. Taşçı ve Erçakar (2016), bu farklılıkların temel nedenini, veri setinde kapsanan dönem, yapısal kırılmaların dikkate alınıp alınmaması ve analiz tekniklerine bağlamaktadırlar.

Bu eleştirel çalışmalara ek olarak, özellikle 1980'lerin sonundan başlayarak ortaya çıkan finansal serbestleşmeyi benimseyerek, ulusal mali piyasalarını uluslararası finansal sermayenin spekülasyonuna açmaya yönelik ekonomiler olarak yükselen piyasaların ortaya çıkması ile değişen küresel ticaret koşulları altında Prebisch-Singer hipotezini tekrar ele alan çalışmalar da ortaya çıkmıştır. 60'lı ve 70'li yıllarda kalkınmakta olan ülkeler diye anılan bu ekonomiler, üretim yapılarını değiştirme konusunda elde ettikleri başarı ile birlikte bugün yükselen piyasaya olarak anılmaktadır (Yeldan, 2005).

Bu bağlamda Witkowska (2016) çalışmasında, 1980 sonrası ticaret hadlerini incelemektedir. Özellikle 21. yy'in başında hem ilksel mallar hem de imalat sanayi ürünlerinin fiyatlarında da artış olmasına rağmen, söz konusu bu artışın oransal olarak imalat sanayi ürünlerinde daha fazla olduğuna dikkat çekilmektedir. Yaşanan bu artış, dünya genelinde kişi başına düşen gelirin artması ve ekonomik aktivitelerde olan artış ile ilişkilendirilmenin yanı sıra, Çin ve Hindistan gibi yükselen piyasalar olarak adlandırılan ülkelerde hızlı adımlarla yaşanan endüstriyel kalkınma ve iktisadi genişlemeye de bağlanmaktadır (Witkowska, 2016, s.101).

Diğer yandan ilksel mallarda fiyat artış oranının imalat sanayi ürünlerine göre düşük olması Sarkar ve Singer (1991) tarafından, ilksel malların arzının artmasına da bağlanırken, günümüzde ise benzer şekilde düşük teknoloji gerektiren sanayi ürünlerinin arzının artması söz konusu olduğuna dikkat çekilmiştir (Sarkar and Singer 1991).

Benzer şekilde Witkowska (2016) da bu noktadan yola çıkarak, bugünün dünya ticaret ilişkileri değerlendirildiğinde Prebisch-Singer hipotezi düşüncesinin, Ar-Ge gerektiren ürünlere göre az kazandırma eğiliminde olan ve düşük teknoloji gerektiren imalat sanayi ürünlerini ihraç eden gelişmekte olan ülkelerde görülen düşük ticaret hadlerini açıklama konusunda ilham kaynağı olabileceğini belirtmektedir. Witkowska (2016), görece düşük yüzdeli katma değeri olan basit endüstriyel ürünleri ihraç eden gelişmekte olan ülkeler için, temel ihraç kalemi ilksel mallar olan ülkelerde Prebisch-Singer hipotezi ile tahmin edilene benzer ticaret hadleri gelişimi olacağını savunmaktadır. Bunun sonucunda, gelişmekte olan ülkelerde uzun dönem ticaret hadlerinin, geliştirilmesi çok özel süreçler gerektiren, yüksek kalitede ve yüksek katma değerli ürünleri ihraç eden ülkelerin ticaret hadleri ile oransal olarak karşılaştırıldığında, bozucu etkiye sahip olacağını belirtmektedir. İhracat yapısında, özel bilgiye dayanan ürünler baskın olan ve ihracat çeşitlendirmesi yapmış yükselen piyasalar gibi ülkelerin ise ticaretten diğer ülkelere göre daha fazla kazanma eğiliminde olacağının altını çizmektedir. Ancak, bu kazançlar sadece yüksek araştırma ve geliştirme aktiviteleri gerektiren üretimin sürekliliği ve teknoloji gelişmenin sağlandığı durumda korunabilmektedir. Bu nedenle, özellikle kalkınma ve endüstrileşme alanlarındaki güncel tartışmalar için ticaret hadleri kavramının halen anlamlı bir oran olduğu sonucuna varılabilir. (Witkowska, 2016, s.106)

Arrighi, Silver ve Brewer, (2003, s. 22) da çalışmalarında özellikle 1980 ve 1990'lı yıllarda gelişmiş ülkelerin üretmeyi karlı bulmadığı endüstri ürünlerini ithal etme durumunun ortaya çıktığını belirtmektedir. Bu durumun gelişmiş ülkelerde dış ticaret hadlerinde düşmelere yol açarken, bu ülkelerin talebini karşılamaya yönelik üretim yapan yükselen piyasaların dış ticaret hadlerinde iyileşmeye neden olduğunu belirtmektedirler. Arrighi, Silver ve Brewer (2003), geleneksel kuzey baskın refah

hiyerarşisinin altını çizerken, sözü edilen refahın küresel hiyerarşisinin istikrarsızlaşmasına neden olan bu tarz modern süreçlerinde önemini vurgulamaktadırlar. Bu noktadan hareketle, günümüz iktisadi dünyasında sözü edilen ilişkilerin klasik anlamdaki kuzey-güney ülkeleri anlayışından kayarak, yeniden yapılanma ile varlığını devam ettirdiğinin üzerinde durulmaktadır.

Prebisch-Singer hipotezinin günümüz ticaret yapısı içindeki güncel tartışmaları bir araya getirildiğinde, Arrighi, Silver ve Brewer (2003)'in belirttiği gibi gelişmiş ülkeler dış ticaret hadlerinde son yıllarda ciddi düşüşler yaşamışlardır. Bunun sebebi çoğunlukla üretmenin karlı olmadığı ürünleri ithal etmeyi tercih etmeleri olarak görülmektedir. Bu noktada gelişmiş olduğundan kalkınmasını tamamladığı düşünülen bu ülkelerin, bu ürünleri üretmemenin getirdiği karları da göz önünde bulundurduğu söylenebilir. Bu karlar, kalkınmanın bir gerekliliği olarak çevresel faktörlerin gözetilmesi olabilir. Bu tür ülkeler analizin dışında bırakıldığında ise ticaret oyununu oynayan ülkelerin ağırlıklı olarak gelişmekte olan ülkeler olduğu görülmektedir. Bu durumda yüksek katma değerli üretim yapan gelişmekte olan ülkeleri ifade eden yükselen piyasalar ile düşük katma değerli ürünleri üreten gelişmekte olan ülkeler arasında yapılacak ticaretten yükselen piyasaların daha kazançlı çıkacağı görüşü benimsenmektedir.

Sonuç olarak, günümüz küresel ekonomisi içerisinde üretim, ticaret ve işgücünü bölünümü kavramları Prebisch-Singer hipotezinin ortaya çıktığı yıllardan oldukça farklı bir yapıda olmakla beraber, benzer ilişkileri de şekil değiştirmiş olarak barındırdığı düşünülmektedir. Dolayısıyla hipotezin güncel tartışmaları, bu ilişkinin şekil değiştirmesi üzerinde yoğunlaşarak çeşitli iktisadi düşünce okulları altında devam etmektedir. Bu noktada çalışmalar, endüstrileşmiş ülkelerde kalkınma sağlanıp sağlanamadığını, yükselen piyasalar üzerinden endüstrileşmenin dünyadaki iktisadi yapıyı yeniden inşa etmesinin söz konusu olup olmadığını ve küresel işgücü bölünümünün benzer şekilde tekrar kurgulanıp kurgulanmadığı konularını tartışmaktadır.

5. 2. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Arası Ticaretin Kompleks Uyarlanabilir Sistem Olarak Analizi

Günümüz dünya iktisadi yapısında ticaretin, gelir ve refah artışını sağlama ve buna bağlı olarak ülkenin gelişmişlik seviyesine katkıda bulunma noktasında ne kadar başarılı olabileceği iktisadın çeşitli disiplinleri tarafından sıklıkla tartışılan bir konu halini almıştır. Özellikle kalkınma iktisadı kapsamında ortodokstan heterodoksa gelişen düşünceler çerçevesinde ortaya çıkan azgelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler kavramlarının bu yapıya dâhil olması, ülkeler arası ticareti açıklanması daha güç bir hale getirmiştir. Bu ülkelerin kendilerine has üretim yapıları ile dünya ticaret ağlarına eklenmesi ticareti ortodoks düşünceler ekseninde ele alınamayacak kadar kompleks bir yapıya kavuşturmuştur. Bu nedenle özellikle heterodoks iktisat kapsamında kompleks yapıların analiz yöntemlerinin gelişmesi ile heterodoks iktisadın hesaplanabilir yöntemleri kullanılarak azgelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin dünya ticaretine nasıl eklendiği ve bu eklenme sonucu elde edilen kazançların ne boyutta olacağını incelemek de mümkün hale gelmiştir.

Bu noktada ortodoks kalkınma teorilerinin söylediği gibi, ülkelerin karşılaştırmalı üstün oldukları ürünleri üreterek gelişmişlik seviyesini yükseltebileceği görüşünün aksine, yerleşik heterodoks iktisat okullarından yapısalci okul azgelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin ürettikleri malın niteliği gereği bu yapıdan hiçbir zaman gelişmiş ülkeler kadar kazançlı çıkamadığı için aradaki farkın sürekli olarak açılacağını belirtmektedir. Dolayısıyla ticaretin ülkeler arası gelişmişlik düzeyi farklarını yok etme noktasında başarısız olduğu görüşü hâkimdir. Yapısalci okulun bu iddiasının ifadesi olan Prebisch-Singer hipotezi bu duruma çözüm önerisi olarak, bu ülkelerin sermaye birikimi ile sanayileşmeyi sağlama, ithal ikameci korumacı politikalar geliştirerek kendilerine has planlı bir kalkınma yolu izlemelerini önermektedir.

Prebisch-Singer hipotezinin uzun dönemde ticaret hadlerinin ilksel mal üreten gelişmekte olan ülkeler aleyhine gelişeceği iddiasından yola çıkarak ortaya atılan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretten gelişmiş ülkelerin her zaman daha karlı çıkacağı ifadesi, hipotezin ortaya atıldığı 1950'li yıllardan bu yana tartışılmıştır. Bu bağlamda özellikle II Dünya Savaşı sonrası bağımsızlığını ilan eden üçüncü dünya

lkelerinin ticaret ağına katılmasının etkisi ile savaş sonrası yapılan analizlerde bu hipotezin geçerli olduğu sonuçlara daha fazla rastlandığı grlmektedir. Özellikle 1980’li yıllardan sonra ise gelişmiş ülkelerin üretmeyi karlı bulmadığı ürünleri ithal etmesi ve yükselen piyasaların ortaya çıkması ile Prebisch-Singer hipotezi araştırmacılarca yeniden ele alınmaya başlanmıştır. Bu noktada Prebisch-Singer hipotezinin, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretin gelişmekte olan ülkelerin ticaret hadleri üzerindeki bozucu etkisini ifade eden orijinal düşüncesinin, günümüz kompleks ticaret ilişkilerinde yüksek katma değerli üretim yapan gelişmekte olan ülkeler ile düşük katma değerli üretim yapan gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaret için söz konusu olacağı düşünülmektedir.

Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde öncelikle, ticaret kompleks uyarlanabilir bir sistem üzerinde ifade edilerek ticaret bağlarının oluşumu ve oluşan bağların neticesinde ülkelerin işbirliği yapıp yapmama kararlarının neticeleri hesaplanabilir bir hale getirilecektir. Elde edilen kompleks uyarlanabilir sistemin analiz edilmesi için ihtiyaç duyulan ajan-temelli model, ağ topolojisi ile oluşturularak modele ilişkin tanımlamalar ve kurallar belirlenecektir. Bu şekilde oluşturulan ajan-temelli ağ modeli, öncelikle ülkeler arası gelişim farkları gözetilmeden incelenerek modelin doğrulama ve geçerliliği yapılacak ardından da bu yapı Prebisch-Singer hipotezinin iddiasına uyarlanıp tekrar simüle edilerek, elde edilen sonuçlar incelenecektir. Her iki ajan-temelli ağ modelin de ayrı süreçler olarak simüle edilmesi için Python programlama dili aracılığı ile yazar tarafından yazılan program kullanılacaktır. Elde edilecek sonuçların gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası oluşacak ticaret bağları ile ortaya çıkacak kompleks yapıda, ticaretin dünya refahını ne yönde etkileyeceği noktasında fikir verebilmesi ile hipotezin güncel tartışmalarına katkıda bulunulması beklenmektedir.

5. 2. 1. Kompleks Uyarlanabilir Sistemin Oluşturulması

İktisadi fenomenlerin kompleks uyarlanabilir sistem olarak modellenebilmesi için öncelikle kompleks uyarlanabilir sistemin altı unsurunu taşıması gerekmektedir. Bu unsurlar, heterojen ajanlar arasında dağınık etkileşimlerin olması, etkileşimlerden çıkar sağlayan herhangi bir merkezi otoritenin bulunmaması, sistem içindeki ajanların eş zamanlı olarak hareket edip karmaşık ilişkiler içinde bulunmaları, ajanların sürekli

uyarlanma ve öğrenme özelliklerinin olması, sürekli yenilik özelliğinin yeni pazarlar yaratması ve son olarak denge dışı dinamiklerin bulunmasıdır (Aktaran; Rosser, 2013, s.3)

Ülkeler arası ticaretin ele alınacağı çalışmada, kompleks sistemin sözü edilen altı unsuru oluşturulacak ajan-temelli modelde mevcut olacaktır. Bunlardan ilki olan heterojen ajanlar arasında dağınık etkileşim, sistemin kompleks olma özelliğini taşımasını sağlayacak çok sayıda parçanın karmaşık etkileşimler ağı oluşturması ile sağlanmış olacaktır. Bu çok sayıda parçanın oluşturacağı etkileşimler ağına herhangi bir merkezi denetleme otoritesinin çıkar sağlaması söz konusu olmayacağından ikinci özellikte sağlanmış olacaktır. Oluşturulacak ajan-temelli model simüle edilirken, sistemdeki ajanlar eş zamanlı olarak hareket edeceklerdir. Ajanların sürekli uyarlanma ve öğrenme özellikleri sisteme evrimsel strateji olan *kısasa kısas* stratejisinin kullanılması ile yansıtılacaktır. Öğrenmeye bağlı olarak uyarlanmayı sağlayan ajanlar, sistemde oluşacak yeni durumlar için uyarlanmanın bir göstergesi olarak beşinci özellikteki ifade olan yeni pazarlar yaratmayı sağlayabileceklerdir. Bu nedenle beşinci özellik esasen sistemdeki evrimsel stratejilerin çalışmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığından, sistemin barındırdığı evrim özelliğinin yarattığı bir sonuç olarak sağlanmış olacaktır. Son olarak da sınırlı rasyonel ve beklenmeyen olaylar içerecek sistemde, global optimuma yakın olmanın olasılık dışı olması ile denge dışı dinamikler söz konusu olacaktır.

Bu altı özelliği taşıyacak olan sistem Al-suwailem (2011)'in Denklem 2. 1 ile gösterilen $x_{it} = f(z_{i,t-1}, x_{i,t-1})$ ifadesi ile modellenmiş olacaktır. Bu ifade de x_i , ($i=1, \dots, n$) n birim içeren, S kompleks sisteminin i biriminin var olan davranışsal özelliğini göstermek üzere; S sistemi kompleks olarak tanımlanmaktadır. S kompleks sistemi içerisinde t zaman, z_i i ajanını etkileyen bağımsız değişkenler vektörü iken, x_i yerel komşuların i ajanına davranışını simgelemektedir. Diğer bir deyişle her ajanın davranışı bu iki değişken tarafından açıklanmaktadır. Bunlardan birincisi, oluşturulacak kompleks sistem içerisinde ajanları etkilediği düşünülen dışsal faktörleri ifade eden z_i dir. Bu değişkenler dışsal olmakla birlikte sistemdeki tüm ajanların, belli bir değişkenlik derecesine kadar aynı kurallarla tepki gösterdikleri varsayılan değişkenlerdir.

Oluşturulacak kompleks sistemde de tüm ajanlar için sabit varsayılacaktır. İkincisi olan x_i ise, i ajanın yerel komşularının davranışlarını simgelemektedir. (Al-suwailem, 2011, s.490). Yani sistemdeki her ajanın davranışı, kullanılacak modelde her ajan için sabit varsayılacak dışsal değişkenler ve yerel komşularının davranışlarına göre belirlenmektedir.

Sözü edilen altı unsuru sağlayan ve genel ifadesi Denklem 2. 1’de verilen kompleks uyarlanabilir sistemin hesaplanabilir bir yapıya kavuşması, ajan-temelli modelleme ile sağlanmaktadır. Ajan-temelli modeller ise hücresel otomasyon, ağ topolojisi, coğrafi bilgi sistemi ve Öklidyen 3 boyutlu uzay gibi topolojilerle ifade edilmektedir. Bu noktada çalışmada uygun olan topoloji belirlenip, seçilen topoloji için ajan-temelli model oluşturulacaktır.

5. 2. 1. 1. Ajan-Temelli Ağ Modelin Oluşturulması

Kompleks sistemde ifade edilecek iktisadi konunun analizi için ajan-temelli modeller kullanılmaktadır. Dolayısıyla çalışma kapsamında oluşturulacak kompleks sistem için de öncelikle uygun topoloji seçilerek bir ajan-temelli model yapısı oluşturulacaktır. Topoloji seçiminden önce oluşturulacak ajan-temelli modelin taşıması gereken temel özelliklerin sağlanması gerekmektedir. Bu özelliklerden ajana ilişkin olanlar Macal ve North (2007) tarafından, ajanın sonlu ve tanımlanabilir olması, karar alma kabiliyetini yöneten kurallarının olması, kendi kendini idare edebilir olması, davranışları ile uyumlu hedeflere sahip olması şeklinde belirtilmektedir. Ayrıca ajanlar davranış deneyimlerine dayanarak öğrenme ve uyarlanabilme yeteneğine sahip olmalı ve etkileşimlerini ifade edebileceği bir çevre içine yerleştirilmelidir (Macal ve North, 2007, s.96).

Çalışmada ajana ilişkin özelliklerin sağlanması için öncelikle ajanlar ülkeler olarak belirlenmiştir. Her ajanın bir ülkeyi temsil etmesi ajanları sonlu, tanımlanabilir ve kendi kendini idare eden karar alma birimleri haline getirmektedir. Oluşturulacak ajan-temelli modelde ajanlar, ülkeler arası ticaretten en yüksek kazancı sağlama olarak belirlenen hedeflerine ulaşabilmek için evrimsel stratejili mahkûm ikilemi oyunu stratejilerini karar alma kuralları olarak kullanacaktır. Karar alma kurallarını ifade eden

mahkûm ikilemi oyunundaki evrimsel stratejiler aynı zamanda ajanların öğrenmeye dayalı uyarlanabilme özelliğini gerçekleştirebilmesi sağlayacaktır. Son olarak ajanların etkileşimlerini ifade edebilecekleri topoloji içerisine yerleştirilerek sahip olmaları gereken çevre oluşturulmuş olacaktır. Ajanın sahip olması gereken bu özellikleri sağlaması ile birlikte, yine Macal ve North (2010, s.152) tarafından belirlenen ajan-temelli modelin sahip olması gereken üç eleman olan ajan kümesi, ajan ilişkilerini ve yöntemleri kümesi ve ajanın çevresi de tanımlanmış olacaktır.

Ajanlar kümesi: Ülkeler olarak belirlenen ajanların özellikleri; sonlu, tanımlanabilir, kendi kendini idare eden, heterojen olmalarıdır.

Ajan ilişkileri ve etkileşim yöntemleri kümesi: Bu noktada ajanların, ajanlar kümesindeki yerleşimi ifade eden fiziksel topoloji ve fiziksel topolojiyi ifade eden bağlanabilirlik kümesi tanımlanacaktır.

Çalışmada topoloji olarak, ticaret konusunu modelleme için uygun görülen ağ yapısı kullanılacaktır. Özellikle kompleks ilişkilerin modellenmesi için kullanılan kompleks ağ modellerinden küçük dünya ağları, Newman ve Watts'ın kısayol ekleme yönteminin gelişmesinden sonra dünyadaki ticaret ağlarının bir taraftan küreselleşirken diğer taraftan bölgeselleşmesi ve ülkeler arası ekonomik bağların işbirlikli olarak sürdürülmesi eğilimi ile ticaret konusunda kullanmak için uygun hale gelmiştir. Bu gelişmeler ile birlikte aynı zamanda küçük dünya ağları işbirlikli ticaretin dünya refahını arttırmada ne kadar etkin olduğunun görülmesi için uygun bir yapı sunulabilir hale gelmiştir. Bunun yanı sıra Willhite (2001)'in çalışması ile küçük dünya ağlarının sanal dünya üzerinde günlük koşullarda karşımıza çıkan piyasaya benzer bir piyasa elde edebildiği, süratli bir şekilde küresel kaynak ayrımını yok ederken, yerel ticarete de arama ve anlaşma maliyetlerini düşürmesi gibi faydalar sunması sonuçlarına ulaşılması bu alanda kullanılabilirliğini arttırmıştır. Ayrıca bu tür ağlar, içerdiği düşük ortalama patika uzunluğu ile bilginin, gücün ve tanışıklığın her türünün, her düğümün görece küçük sayıda ortak ile bağlı olmasına rağmen tüm ağ üzerine hızlıca yayılabildiği böylece yerel kur ile küresel piyasaya erişme kolaylığı sağlayan ağlardır. Bu tür özellikleri, ticareti konu edinen bu çalışma için küçük dünya ağlarının tercih edilmesini sağlamıştır. Kompleks ilişkiler geliştirerek, kompleks ağ modeli olan küçük dünya

ağlarını ortaya çıkarmak amacı ile sisteme Şekil 5. 1.'de verilen halka şeklindeki düzenli ağ topolojisi ile başlanacaktır.



Şekil 5. 1. Düzenli Halka Topolojisi

Bu düzenli halka topolojisinde her düğümün bağlantılı olduğu düğüm sayısını ifade eden, düğüm derecesi $k=2$ olarak belirlenmiştir ve her ülke (ajan) ticaretin oluşabilmesi için temel girdi konumundadır. Yani her düğüm başlangıçta doğal olarak sağ ve soldaki komşusu ile bağlı olması ile bağlanabilirlik kümesi oluşturmuş olmaktadır. Başlangıçta her ülkenin sağdaki ve soldaki komşusu ile doğal olarak bağlı olması varsayımı, uluslararası ticareti ele alan önceki çalışmalardan yola çıkılarak *ülkelerin birbirine sınırı olmasının bu ülkeler arası ticaretin artması ve ekonomik işbirliğine teşvik edeceğini* görüşüne dayalı olarak ağ modelinde yer almaktadır.

Bu varsayım, klasik iktisat teorisyenlerinin bazılarınca *tercihlerde benzerlik teorisine** dayandırılmakta iken, çekim modeli gibi heterodoks iktisat kapsamında yer

* Linder (1961) tarafından ortaya konan tercihlerde benzerlik teorisi, ülkelerin ticaretinin belirleyicisinin orta düzey halkın talebi olduğu belirtilmektedir. Bu talebin fazlalığı talep edilen üründe uzmanlaşmayı getirecek ve benze zevk ve tercihlere sahip ülkelere ihracat yapılması mümkün olacaktır.

Konuyla ilgili detaylı açıklama için bkz: Linder, S.B. (1961). *An Essay On Trade And Transformation*. Uppsala: Almqvist & Wiksell.

alan dış ticaret çalışmalarında ise *ulaşım maliyetlerinin düşük olmasına* dayandırılarak kabul görmektedir (Frankel, Stein ve Wei, 1997; Golovko, 2009; Atik, 2006). Dolayısıyla ticareti kompleks bir kavram olarak düşünüp modelleyen kompleks uyarlanabilir modeller de, ağ topolojisi kapsamında bağlanabilirlik kümesini oluştururken bu varsayımdan faydalanmışlardır. Bu noktada çalışmada başlangıç aşamasında, Alexander (2007) ve Oh (2015) tarafından oluşturulan ağ modellerine benzer olarak sağ ve soldaki ajan ile bağlantılı olma ön varsayımı kabul edilecektir.

Ajanlar bağlı bulundukları komşuları ile etkileşimlerine ilişkin davranış kuralını ise, evrimsel oyun teorisi stratejileri oluşturacaktır. Bu noktada oyun teorisinde Conybeare (1984,1987), Krugman (1991) ile Samuelson ve Nordhaus (1992)'un çalışmaları ile ticaretin en iyi ifadesi olduğu düşünülen mahkûm ikilemi oyununda tekrarlı durumlarda en iyi sonucu verdiği düşünülen evrimsel strateji olan Axelrod (1984)'un kısasa kısas* stratejisi kullanılacaktır. Ülkeler arası ticaret de bir kez yapıp, tekrar gerçekleştirilmeyen bir olgu olmadığı için söz konusu oyunun gerçek dünyada ülkeler arasında *tekrarlı* (iterative) olarak oynanacağı kabul edildiği için bu evrimsel strateji tercih edilmiştir. Davranış kuralı olarak kabul edilecek kısasa kısas stratejisi ilk turda işbirlikli davranışla başlamakla beraber, devam eden turlarda bağlantılı olunan oyuncuların bir önceki turdaki kazançları içinde en yüksek değeri veren işbirlikli ya da işbirliksiz stratejinin benimsenmesi şeklinde uygulanacaktır.

Bu noktada başlangıçta sadece sağındaki ve solundaki ülkelerle bağlantısı olan ülkenin, devam eden aşamalarda ticaret ağlarının genişlemesi ile ortaya çıkan kompleks yapıda kısasa kısas stratejisini uygulaması için göz önüne alacağı kazançların nasıl hesaplanacağı önem kazanmaktadır. Ülkelerin sınır komşuları ile yapacağı ticaret ilişkilerinden tüm dünya ile yaptığı ticarete ek olarak farklı kazançlar elde edebiliyor olması varsayımı sağ ve solundaki ülkelerle ticaretinden ek olarak, iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançları elde etmesi durumunu ortaya çıkartmaktadır. Dolayısıyla bu davranış kuralının uygulanması için en yüksek kazancı veren stratejinin belirlenmesinde göz önüne alınacak kazanç değeri, sağ ve solundaki komşuları ile oynanacak iki kişilik mahkûm ikilemi oyunundan ayrı ayrı elde edilecek kazançlar ve bağlantılı olduğu tüm

* Axelrod'un kısasa kısas stratejisinin oluşum süreci ile ilgili detaylı bilgi için EK 2'ye bakınız

lkeler ile oynanacak çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan elde edilecek kazancın toplanması ile oluşacak *toplam kazanç değeri* olacaktır.

Kısa kısıp stratejisi davranış kuralının uygulanması için göz önünde bulundurulacak değeri ifade eden toplam kazancın, belirleyicilerinden birisi olan iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançları Tablo 5. 1.'de verilmektedir.

Tablo 5. 1.
Mahkûm İkilemi Oyunu Kazanç Matrisi

B lkesi	A lkesi		
	Stratejiler	İşbirlikli	İşbirliksiz
	İşbirlikli	0,6 ; 0,6	0 ; 1,1
	İşbirliksiz	1,1 ; 0	0,3 ; 0,3

Tablo 5. 1.'deki kazanç değerleri Nash Denge Teorisi ve Mahkûm İkilemi Oyunu bölümünde mahkûm ikilemi oyunu için genel kural olarak verilen $T > V > Y > Z$ ve $V > (T+Z)/2$ kısıtlarına göre yazar tarafından oluşturulmuştur. Mahkûm ikilemi oyununda bu kısıtların kullanılmasının genel nedeni, tekrarlı oyunlarda işbirliğindeki oyuncunun stratejisini sıra ile işbirliksizden işbirlikliye değiştirerek kazancını en iyilemeye çalışmasını önlemektir.

Bu kazanç tablosu ülkelerin ikili ticaretten karşılaştırmalı üstünlüklerini kullanarak eşit kazançlar sağladığı klasik ticaret görüşünün geçerli olduğu durumu gösteren mahkûm ikilemi oyunu için tasarlanmıştır. Dolayısıyla bu kazanç değerleri kullanarak oluşturulacak ilk ajan-temelli ağ modeli Prebisch-Singer hipotezinin iddiası için kurgulanacak model için bir referans model olma özelliği taşırken, ajan-temelli modelin doğrulama ve geçerliliğinin test edilmesinde de kullanılacaktır. Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını test etmek için kullanılacak iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançları ise Tablo 5. 2.'deki gibi olacaktır.

Tablo 5. 2.
Prebisch-Singer Hipotezine Göre Mahkûm İkilemi Oyunu Kazanç Matrisi

B Ülkesi	A Ülkesi		
	Stratejiler	İşbirlikli	İşbirliksiz
	İşbirlikli	0,6 ; 1	0 ; 1,1
	İşbirliksiz	1,1 ; 0	0,3 ; 0,3

Burada öncelikle tutarlı bir analizin yapılabilmesi için kazanç değerleri Tablo 5. 1.'den alınarak, Prebisch-Singer hipotezinin iddiası olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretten gelişmekte olanın daha az kazançlı çıkacağı görüşüne göre düzenlenmiştir. Gelişmiş ülke A ülkesi, gelişmekte olan ülke ise B ülkesi olarak belirlenirken, kazanç değerlerin $T > V > Y > Z$ ve $V > (T+Z)/2$ kısıtlarını sağlıyor olmasına özen gösterilmiştir. Özellikle $T > V$ koşulu için $T=1,1$ 'in hem Tablo 5. 1.'de $V=0,6$ değeri için hem de Tablo 5. 2.'de $V_1=0,6$ $V_2=1$ değerleri için $T > V$ iken, $V > (T+Z)/2$ koşulunun sağlıyor olması kazançların bu şekilde belirlenmesi için temel sebep oluşturmıştır.

Kısa kısıt stratejisi davranış kuralının uygulanması için göz önünde bulundurulacak değeri ifade eden toplam kazancın diğer belirleyicisi ise her ülkenin ağ içinde bağlı olduğu tüm ülkelerle yapacağı ticaretten elde edeceği kazanç olacaktır. Bu değer esasen ülkenin ticaretten elde edeceği genel refah artışını simgelemektedir. Bu kazanç değeri de yine mahkûm ikilemi oyunu kazanç matrisinden hesaplanacak ancak çok oyunculu olması sebebi ile Alexander (2007)'ın çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu için geliştirdiği kazanç fonksiyonlarından yararlanılarak elde edilecektir.

Çok oyunculu oyunların kazançları belirlenirken oyuna ilişkin işbirlikçi oyuncu sayısı önem kazanmaktadır. Çünkü bu sayı oyuna ait toplam kazancın artıp azalmasını da belirlemektedir. Çok oyunculu işbirlikli oyunların bu farklı özelliği Hardin (1968)'in n oyunculu işbirlikli oyunlar için ortaya attığı *Ortak Malların Trajedisi* hipotezini temel

alınarak günümüze kadar yapılan çalışmalarda ele alınmıştır*. Özellikle 2000'li yılların başlarından itibaren çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu için kazanç fonksiyonlarında bir takım düzenlemeler yapılmıştır. Bu doğrultuda, Fletcher ve Zwick (2000), Szilagyi (2003) ve bu çalışmanın model aşamasına temel kaynak oluşturan Alexander (2007) ve Oh (2015)'un çalışmalarında da yapıldığı gibi, kazanç fonksiyonlarında düzenleme yapılacaktır.

Böylece modelde oynanacak 3 oyundan iki tanesi iki oyunculu mahkûm ikilemi oyunu olmak üzere kazançları Tablo 5. 1. ve Tablo 5. 2.'de verilen kazanç matrisinden elde edilecektir. Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazanç değeri ise, Alexander (2007) tarafından oluşturulup Oh (2015) tarafından iktisadi konulardaki artan kazançlar varsayımı doğrultusunda yenideb düzenlenen ve model parametreleri bölümünde ele alınacak kazanç fonksiyonları aracılığı ile hesaplanacaktır. Her tur sonunda bu üç oyundan elde edilecek kazanç değeri toplanarak her oyuncunun o tur için elde ettiği toplam kazanç belirlenmiş olacaktır. Toplam kazanç değeri ülkelerce, davranış kurallarını oluşturan kısasa kısas stratejisi çerçevesinde değerlendirilerek bir sonraki tur için tercih edilecek stratejinin belirlenmesini sağlayacaktır.

Ajanın çevresi: Ajanlar diğer ajanlarla olduğu gibi çevre ile de etkileşim içindedir. Bu etkileşim temel olarak verilen topoloji içinde ajanların diğer ajanlara göre konumları hakkında bilgi sunmaktadır. Bazı ajan-temelli model topolojilerinde kullanılan çevre dinamik süreç içinde yeni ajanlar eklenmesi ile genişleme, daralma gibi özellikler gösterebilmektedir. Bazen de ajanların çevre içinde yer değiştirmesi söz konusu olabilir. Bu tür durumlar için çevre içinde yer değiştirme ya da çevrenin genişleyip daralması gibi durumlar belirli kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmelidir.

* Hardin (1968)'e göre herkese açık, yani *ortak kullanımda* olan kaynakların, bu kaynakları kullananlarca kendi çıkarları için düşünmeden veya verimsiz kullanılması sonucu *ortak malların trajedisi* durumu ortaya çıkmaktadır. Bunun için verdiği çoban ve sürü otlatma örneğinde, ortak kullanımda olan bir mera var iken, her çoban sattığında daha fazla gelir getirmesi için sürüsüne bir koyun eklediğinde ortak malların trajedisi başlamaktadır. Sonuç olarak bilinçsiz otlatma; erozyon ya da zararlı otların türemesi gibi olumsuz sonuçlar doğurabilecektir. Aynı zamanda okyanus ve denizlere kıyısı olan ülkeler de, bu kaynağın sonsuz olduğunu düşünüp, balık türlerine zarar verebilecek faaliyetlerde bulunabilmektedirler. Bu durumda ortak malların trajedisi durumuna örnektir (Hardin, 1968, s. 1244).

Çalışma kapsamında, ajanların ait olduğu çevrede konum değiştirmesi söz konusu olmayacaktır. Sadece verilen davranış kuralına ek olarak dinamik süreç içinde yeni ticaret bağlantıları oluşturulacaktır. Yeni bağlantıların eklenmesi ile düzenli halka topolojisi olarak başlanan süreç ağı ilişkin ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı parametrelerinin küçük dünya ağlarına uyum gösterdiği noktada günlük koşullarda karşımıza çıkan piyasaya benzer bir piyasa olan küçük dünya ağındaki etkileşimler bize günümüz ticaret ilişkileri hakkında fikir yürütebilme imkânı sağlayacaktır.

Özetle yukarıda tanımlanan ajan, ajan ilişkileri ve etkileşim yöntemleri ile ajan çevresi kapsamında Alexander (2007) ve Oh (2015)'ten referansla ülkeler arası ticarete ilişkin geliştirilen ajan-temelli ağ modeli gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticareti analiz etmeyi mümkün hale getirmiş olmaktadır. Ancak söz konusu analiz için ek olarak, yukarıda sözü edilen çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazançlarının hesaplanmasında ve ajan-temelli ağ modeli simülasyonunun gerçekleştirilmesinde kullanılması gereken bazı parametrelerin tanımlanması gerekmektedir.

5. 2. 1. 2. Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Oluşturulan ajan-temelli ağ modelinin simüle edilmesinde öncelikle çok oyunculu mahkûm ikilemi kazançlarının hesaplanması için Alexander (2007) tarafından belirlenen kazanç fonksiyonundaki parametrelerin ele alınarak Oh (2015) tarafından genişletilen ve bu çalışmada da kullanılacak olan kazanç fonksiyonlarının elde edilme süreci açıklanacaktır. Buna ek olarak, simülasyon sürecindeki tesadüfiliği temsil eden mutasyon oranı parametresi ve ağıdaki ajan sayısı belirlenmelidir.

Alexander (2007) tarafından belirlenen kazanç fonksiyonları $i=1....n$ olmak üzere; çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu için Denklem 5. 1 işbirlikçi oyuncunun kazancını ifade ederken, Denklem 5. 2 işbirlikçi olmayan oyuncunun kazancını belirtecek şekilde formülize edilmiştir.

$$w_i = mp + c_i \quad (5. 1)$$

$$w_i = mp + d_i \quad (5. 2)$$

m : grupta işbirlikçi oyuncuların oranına göre hem işbirlikçi hem işbirliksiz oyuncunun yükselen kazançlarının artış oranı

p : grupta işbirlikçi oyuncuların oranı

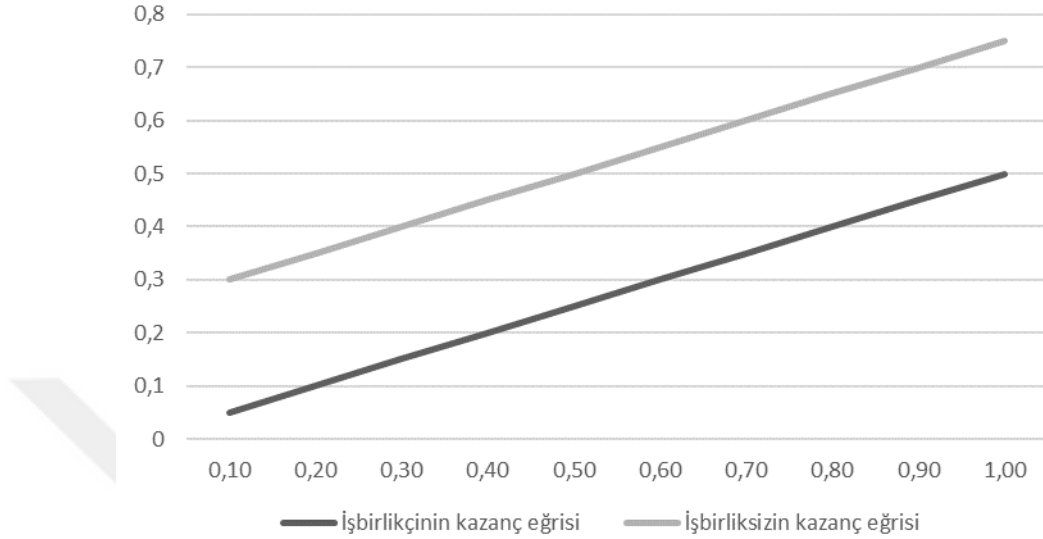
c_i : grupta işbirlikçi oyuncu oranı 0 olduğunda, işbirliği yapacak olan oyuncunun kazanç limiti

d_i : grupta işbirlikçi oyuncu oranı 0 olduğunda, işbirliksiz oyuncuların kazanç limiti

Bu noktada çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu temelde iki oyunculu mahkûm ikilemi oyunu ile benzer yapıda olsa da, belirgin ayrım kazançların sadece oyuncunun kazancının karşısındaki oyuncunun stratejisi ile eş zamanlı olarak belirlediği kendi stratejisine değil, aynı zamanda oyuncu işbirlikli olmayı seçtiğinde gruptaki işbirlikçilerin sayısına bağlı olmasıdır. Yani m ve p değerleri, çok oyunculu olmanın kazanca kattığı miktarlar için kullanılan çarpanlardır. Çünkü işbirlikçi oyuncularının oranının artması tüm oyuncular için daha fazla fayda sağlanması anlamına geldiği için daha yüksek bir genel kazancı ifade edecektir. Bu durum da grubun genel refahının yükselmesine neden olacaktır. Bu ifade fonksiyonda işbirlikçi oyuncuların oranına göre hem işbirlikçi hem işbirliksiz oyuncunun yükselen kazançlarının artış oranını gösteren m ile gösterilmektedir. Dolayısıyla m değişkeninin hem işbirlikçi hem işbirliksiz oyuncunun kazancının yükseltmesi varsayımı ancak işbirlikli oyuncunun çabasının bir sonucu olarak düşünüldüğünde anlam kazanmaktadır. Böyle bir durumda da işbirliksiz oyuncunun kazancı ortak havuza hiçbir katkıda bulunmadan artış göstereceğinden işbirliksiz olmanın cazibesinin yükselmemesi için kazancının sadece işbirlikli sayısına göre yükselebilmesi gerekmektedir.

Diğer yandan Denklem 5. 1’de belirtilen işbirlikçi oyuncunun kazancı $mp+c_i$ ile Denklem 5. 2’de belirtilen işbirliksiz oyuncunun kazancı $mp+d_i$ incelendiğinde belirtilen koşullar altında en iyiyi veren işbirliğinin $d_i > m+c_i$ olması halinde bozulacağı görülmektedir. Bu nedenle işbirlikli oynamanın asgari koşulu $d_i \leq m+c_i$ olarak belirtilmiştir. Gruptaki işbirlikçi oranı 0’dan 1’e giderken verilen asgari koşulu sağlayan

$m=1/2$, $c_i=0$ ve $d_i=1/4$ için Alexander (2007) tarafından çizilen kazanç fonksiyonu grafikleri Şekil 5. 2.'de verilmektedir.



Şekil 5. 2. İşbirlikçi Oyuncu Oranına Göre Artan Kazançlar

Kaynak: Alexander, J. M. (2007). *The Structural Evolution of Morality*. New York: Cambridge University Press, s.244.

Şekil 5. 2.'de görüldüğü gibi herkesin işbirliği yapması durumunda, tüm oyuncuların kazancı 0,5 olurken, herkesin işbirliksiz olması durumunda bu kazanç 0,3 olacaktır. Dolayısıyla gruptaki işbirlikli oyuncu oranı göze alınmaksızın her zaman işbirlikli strateji tercih edilecektir. İşbirlikli stratejiye geçme her zaman işbirlikliden çok işbirliksiz oyuncuların yararına olacaktır.

Alexander (2007) durumun daha iyi anlaşılması için, çok oyunculu mahkûm ikileminde kazanç değeri hesaplanırken $i=1 \dots n$ iken; $m=1/2$, $d_i=1/4$ ve $c_i=0$ olsun, $p=0$ ve $p=1$ için Denklem 5. 1 ve Denklem 5. 2'nin aşağıdaki gibi olacağını belirtmiştir.

$p=0$ için (grupta kimsenin işbirliği yapmaması durumu); tüm oyuncular için kazanç $mp+d_i=0,25$ olacaktır.

$p=1$ için (grupta herkesin işbirliği yapması durumu); tüm oyuncular için kazanç $mp+c_i=0,50$ olacaktır.

Sonuç olarak bir kez daha, herkesin işbirliği yapması durumunda toplam kazancın yükseldiği görülse de dikkatlice bakıldığında, p oranının 1'e eşit olmayan ancak çok yakın olan örneğin 0,9 gibi bir değer aldığıda, toplam kazancın daha yüksek olacağı fark edilmektedir. Bu durum her zaman oyuncu sayısı ne olursa olsun, 1 işbirliksiz oyuncunun bulunmasının daha yüksek bir toplam kazanca götüreceği sonucuna ulaştırmaktadır. Bunu dünya ticaretine uyarlırsak da daha yüksek bir dünya refahına neden olacaktır denilebilir. Alexander (2007) çalışmasında bu durumu da değerlendirmiş, sonuç olarak böyle bir durumun gerçek hayatta sağlanmasının mümkün olmadığını vurgulamaktadır. Ayrıca böyle bir durumun yaşanması Hardin (1968) 'in literatüre kazandırmış olduğu ortak malların trajedisi durumunun yaşanmasına da zemin hazırlayacaktır.

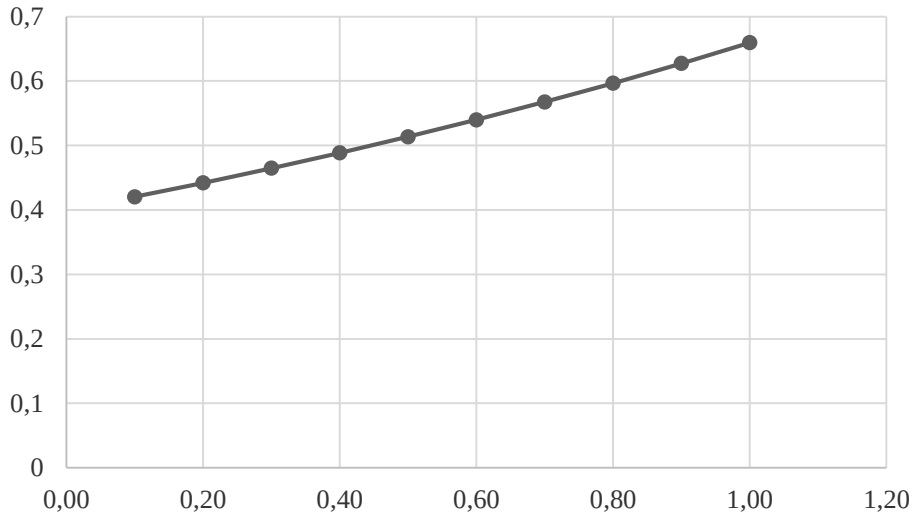
Dolayısıyla Alexander (2007, s. 244) çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazanç fonksiyonunda işbirlikli stratejiyi seçme ve işbirliksiz oyuncuyu işbirlikli stratejiye yönlendirme konusunda en başarılı olan parametreleri, işbirlikli olmanın asgari koşulu olan $d_i \leq m + c_i$ altında, p değişken bir oran olmak üzere; $c_i=0$, $d_i=0,25$ ve $m=0,5$ olarak belirlemiştir. Parametrelerin bu şekilde seçilmesinin müşterek en iyiye ulaşılmasını hiçbir zaman ihlal etmeyeceğini belirtmektedir.

Oh (2015), Alexander (2007) tarafından Şekil 5. 1.'de verilen artan kazançlara ilişkin eğrinin değişkenliğinden söz etmiştir. Oh (2015)'un belirttiği bu değişkenlik artan kazanç eğrilerinin farklı kazanç fonksiyonları için farklı sonuçlar verebileceği yönündedir. Bu nedenle öncelikle Alexander (2007)'ın verdiği m , d_i ve c_i parametrelerini değiştirmeden sadece Denklem 5. 1 ve Denklem 5. 2'yi iktisattaki artan getiriler ifadesinden aldığı katsayı ile ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklandırma sonucu oluşan ifade Denklem 5. 3'te gösterilmektedir.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{mp} \quad (5. 3)$$

Denklem 5. 3'te gösterilen kazanç fonksiyonu ağırlıklandırmasının grafiği çizildiğinde elde edilen eğrinin Alexander (2007)'inkine benzer olduğu görülmektedir.

Ancak Oh (2015) çizilen eğrinin her zaman Alexander (2007)'inki gibi tam doğrusal bir ilişki içermeyebileceğini belirtmektedir.



Şekil 5. 3. Kazanç Fonksiyonu Ağırlıklandırma Katsayısının Grafiği

Böylece ağırlıklandırılmış oyuncuların kazanç fonksiyonları $i=1....n$ olmak üzere, ağırlıklandırmadan sonra Denklem 5. 4 ve Denklem 5. 5'deki gibi ve öncesine göre daha yüksek olacaktır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{mp} + c_i \quad (5. 4)$$

$$w = \frac{1}{2.5} e^{mp} + d_i \quad (5. 5)$$

Dolayısıyla özellikle iktisadi konuların analizinde artan getirilerin varlığı neticesinde, Alexander (2007)'in çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu için verdiği parametreler kabul edilmekle birlikte kazanç fonksiyonlarının, Denklem 5. 4 ve Denklem 5. 5'teki gibi kullanılmasının daha iyi sonuç vereceğini belirtmektedir. Bu nedenle çalışmada, işbirlikçi ve işbirliksiz oyuncuların çok oyunculu mahkûm ikileminden elde edecekleri kazançlar, Alexander (2007)'in verdiği m , d_i ve c_i

parametreleri kabul edilmek üzere, ağırlıklandırma faktörü eklenmiş kazanç fonksiyonlarını ifade eden Denklem 5. 4 ve Denklem 5. 5 kullanılarak hesaplanacaktır.

Kazanç fonksiyonundaki parametrelere ek olarak, oluşturulan ajan-temelli ağ modelinin simüle edilebilmesi için mutasyon oranı parametresi ve ağdaki ajan sayısı belirlenmelidir.

Genetik algoritma kurallarına göre, başarılı stratejiler sonraki nesillere iletilirken birtakım bozulmalara uğrayabilirler. Bu işbiriksiz-işbirlikli strateji döngüsü istikrarının, gerçek hayat koşullarına uygun olarak bozulması için mutasyon oranı kullanılmaktadır. Yani belli bir olasılıkla, bu süreç yukarıda anlatıldığı gibi işlemeyebilir. O olasılık da, dağılımı Poisson dağılımına uyan mutasyon oranı ile ifade edilecektir. Mutasyon oranı, gözlenebilen olaylar için popülasyondaki tüm birey sayısının mutasyona uğramış birey sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Ancak Deney ve gözlem imkânı bulunmayan ve varsayımlara dayalı olan bu yapay dünya simülasyonları için Yang, Abbass ve Sarker (2006)'ın çalışmasında yaptığı gibi uygun popülasyon sayısı belirlenip, bu sayı için en doğru sonuçları vereceği düşünülen mutasyon oranının belirlenmesi ile elde edilmektedir. Bu noktada Yang, Abbass ve Sarker (2006), ideal simülasyon sonuçlarının 80 popülasyon tarafından verildiğini belirtmekte ve bu sayı için ideal sonucu verdiğini düşündükleri %1 mutasyon oranı ile çalışmaktadırlar. İdeal sayı olduğunun kanıtlanması bağlamında alanda kullanımı yaygınlaşan 80 popülasyon sayısı Lee, Park ve Cho (2010)'nun uluslararası ticaret piyasaları için yaptıkları çok ajanlı modelleme çalışmasında da kullanılmıştır. Ancak Lee, Park ve Cho (2010) 80 popülasyon ile yaptıkları çalışmalarında, uluslararası ticaret piyasaları için bu oranın %5 olması gerektiğini belirtmektedirler. Oranın %1 olması popülasyondaki her birimin %1 olasılıkla strateji değiştireceğini belirtmektedir. Bu ise ortalama 100 dönemde bir strateji değiştirmeleri anlamına gelirken, ticaret için düşünüldüğünde stratejilerin oldukça uzun süre beklenen şekilde seçilmesinin sonucu uzun dönem durağanlıklara neden olacaktır. Bu nedenle çalışmada Lee, Park ve Cho (2010) tarafından uluslararası ticaret piyasasına uygun olduğu düşünülen %5 mutasyon oranı kullanılacaktır. Bu durumda çalışmada, başlangıç durumunda işbirlikli başlayan

kısasa kısas stratejisini benimseyen ajanların her biri %5 olasılıkla mutasyona uğrayarak işbirliksiz strateji ile başlamış olacaktır.

Analiz edilecek ajan-temelli ağ modelinin simülasyon süreci için seçilen popülasyon sayısı ve mutasyon oranı ile çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazançlarının hesaplanması için seçilen kazanç fonksiyonuna ilişkin ağırlıklandırma faktörü, m , p , d_i ve c_i parametreleri Tablo 5. 3.'te toplu olarak gösterilmektedir.

Tablo 5. 3.
Model Parametreleri

Parametre	Alacağı Değer	Birimi
Ülke (Oyuncu) Sayısı Popülasyon	80	Düğüm, ajan
Mutasyon oranı	0.05	%5
c_i	0	lim-isb
d_i	0.25	lim-isz
m	0.5	oran-isb
p	Değişken	Oran
Ağırlık	$\frac{1}{2.5}e$	

5. 2. 1. 3. Ağ Bağlantılarının Oluşum Süreci

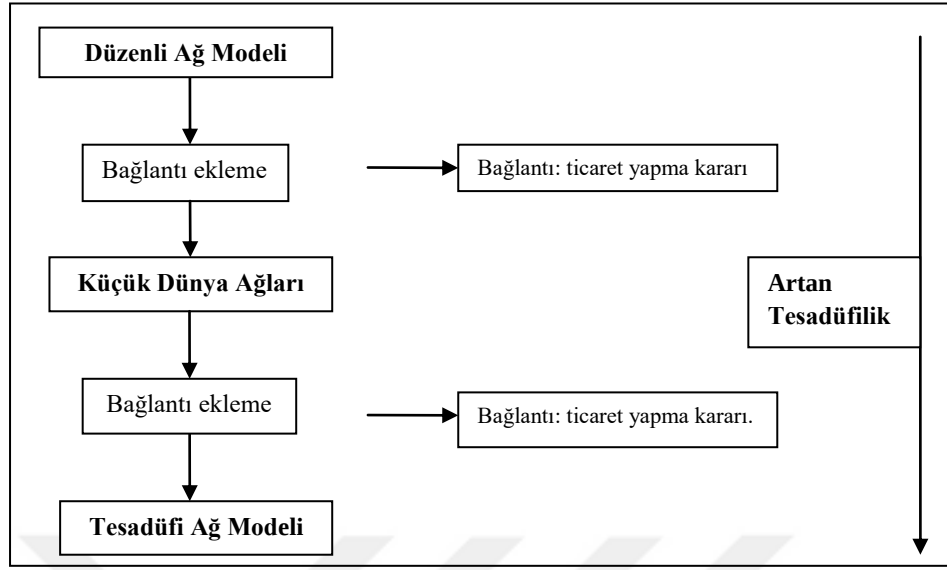
Buraya kadar Prebisch-Singer hipotezinin ticaret hadleri üzerine iddiasının güncel tartışmalarına katkıda bulunmak amacı ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretin kompleks uyarlanabilir sistem olarak analiz edilmesi çerçevesinde oluşturulan ajan-temelli ağ modeli için ajan, ajan davranışları, model topolojisi tanımlanmış ve yapılacak simülasyon için gerekli olan parametreler belirlenmiştir.

Bu bağlamda analize, Şekil 5. 1. ile gösterilen her bir düğümünün derecesi $k=2$ olan düzenli halka topolojisi ile başlanacaktır. Düğüm derecesinin 2 olması her ülkelerin dünya genelinde kurmuş oldukları ticaret ağlarına ek olarak, birbirine sınırlarının olmasının uluslararası ticaret ve ekonomik işbirliğini teşvik edeceği varsayımdan hareketle sağında ve solunda bulunan komşu düğümler ile bölgesel veya aynı dili konuşma, aynı dinde olma gibi ortak noktalar aracılığı ile daha fazla kazanç getiren ticaret ilişkileri içerisinde eşanlı olarak bulunabilecek olmasıdır.

Ancak Ağ Teorisi kapsamında ele alındığı gibi düzenli ağın düğüm derece dağılımının uniform (tekdüze) dağılıma uyması ve tesadüfilik miktarını ifade eden entropisinin 0 olması özellikleri kompleks ilişkiler içeren ticaret gibi konuların bu tür ağlar ile analiz edilmesini engellemektedir. Bu nedenle bu tür konular kompleks ilişkileri ifade eden kompleks ağ modelleri ile ele alınmaktadır. Bu noktada Watts ve Strogatz (1998) n sayıda düğüme sahip düzenli halka topolojisi ile başladıkları ağda, tesadüfi olarak seçilen bir bağlantıdan başlayarak uyguladıkları tekrar bağlanım süreci ile tesadüfilik oranını arttırarak, küçük dünya ağı yapısını kümelenme katsayısı çok fazla değişmeden en kısa ortalama patika uzunluğunu veren bağlantı sayısı noktasında tespit etmektedirler.

Gerçek dünya piyasalarına en yakın sonuçları verdiği düşünülen küçük dünya ağı veren bağlantı sayısını tespit etmek için çalışmada, Watts ve Strogatz (1998)'a benzer şekilde sürece ortalama yol uzunluğu ve kümelenme katsayısı yüksek olan düzenli ağ modeli ile başlanacaktır. Sonrasında ağ modeline aşama aşama tesadüfi bağlantılar eklenerek bu sayede modeldeki tesadüfilik arttırılmış ve ortalama yol uzunluğu ile kümeleme katsayısı değerleri de düşürülmüş olacaktır. Bu noktada Watts ve Strogatz (1998)'dan farklı olarak bağlantı ekleme için Newman-Watts yöntemi kullanılacaktır. Newman-Watts yöntemi bağlantı ekleme süreci modelde bağlantısı olmayan ülke olmasına izin vermeyeceğinden ortalama patika uzunluğunun hiçbir zaman ∞ olmamasını da sağlamış olacaktır. Newman-Watts yönteminde eklenen bu bağlantılar kısayol olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda eklenen kısayollar, iki oyuncu arasında ticaret yapma kararını simgeleyecektir. Böylece ticarete gerçek dünyaya oldukça uzak olan düzenli ağdan başlanarak, şuan için gerçek dünyaya uzak diğer bir nokta olan tesadüfi ağ oluşana kadar yeni bağlantı eklenmiş olacaktır. Düzenli ağdan tesadüfi ağa giderken artan tesadüfilik, küçük dünya ağı yapısı kümelenme katsayısı çok fazla değişmeden en kısa ortalama patika uzunluğunu veren bağlantı sayısı noktasında tespit edilmiş olacaktır.

Böylece sırası ile hem gelişmişlik seviyesi aynı olan ülkeler, hem de farklı olan ülkeler için oluşturulacak modeller için yapılacak analizin adımları Şekil 5. 4. 'de özetlendiği gibi olmaktadır.



**Şekil 5. 4. Evrimsel Stratejilere Dayalı Ajan-Temelli Ağ Modeli
Simülasyon Süreci**

5. 2. 1. 4. Model Yapısı

Çalışma, amacına yönelik olarak oluşturduğu ajan-temelli modeli öncelikle ülkeler arası gelişmişlik farklarını göz etmeksizin analiz ederek, oluşturduğu modeli aynı zamanda doğrulamış olacak diğer yandan da Prebisch-Singer hipotezi ile yapılacak analizden elde edilecek sonuçları yorumlamasına katkıda bulunacak referans değerleri elde etmiş olacaktır. Bu bölümde sözü edilen analiz her iki model için buraya kadar anlatılanlar kapsamında öncelikle ele alacağı hipotez, kullanacağı kazanç matrisi, uygulanacak bağlantı ekleme yöntemi yönleriyle kısaca özetlenecektir.

1.Model: Çalışmaya öncelikle *gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretten her iki ülkenin de eşit kazanç elde ettiği* hipotezini test edecek, diğer bir deyişle ülkeler arası gelişmişlik farklarını dikkate almadan ticaret ilişkilerini açıklamaya çalışacak modelle başlanacaktır. Bu modelin ülkeler arası gelişmişlik farklarının olmadığı durum için mahkûm ikilemi oyunu ve ticaretin temel yapısını ortaya koyuyor olması, elde edilen sonuçların beklenenle uyumlu olması durumunda ajan temelli modelin doğrulanması ve geçerliliğinin de yapılmasını sağlayacaktır. Ağ üzerinde bulunan her oyuncunun iki stratejisi vardır.

İşbirlikli olma: İşbirliği davranış stratejileri, ticarete ılımlı politikalar izleme, var olan ticaret anlaşmalarına uyma gibi genel anlamda dünya ticaret örgütü tarafından önerilen davranışların tümünü simgelemektedir.

İşbirliksiz olma: İşbirliksiz davranış ticarete var olan anlaşmaların ihlal edilmesi, gereksiz ve yüksek vergilendirme gibi saldırgan tavırların bütünü simgelemektedir.

Düzenli ağ üzerindeki her oyuncu simülasyonun her turunda eş zamanlı olarak toplam üç oyun oynayacaktır. Bu üç oyundan ikisi sağındaki ve solundaki oyuncular ile oynayacağı iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu olacaktır. Bu iki oyuna ilişkin kazanç değeri Tablo 5. 1'den elde edilecektir. Diğerisi ise bağlı bulunduğu tüm oyuncular ile oynayacağı çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu olacaktır. Bu oyuna ilişkin elde edeceği kazanç ise Tablo 5. 3'te ifade edilen model parametreleri ile Oh (2015) tarafından oluşturulan ve Denklem 5. 1 ile 5. 2'de verilen kazanç fonksiyonlarından hesaplanacaktır. Bu üç oyundan elde edeceği toplam kazanç her oyuncunun bir tur sonrası için kısasa kısas stratejisine göre stratejisini belirlemesini sağlayacaktır. Oyuncu her turun sonunda kendi kazancını sağındaki ve solundaki oyuncu ile karşılaştıracak, eğer kazancı bu oyunculardan eşit veya fazla ise bir önceki turdaki stratejisinde kalacak, düşük ise bu iki oyuncu arasında en yüksek kazanca sahip olan oyuncunun bir önceki turdaki stratejisine geçecektir. Bu strateji değişimi sürecinde evrimsel kurallara sadık kalınarak Tablo 5. 3'te ifade edilen model parametrelerinden görüleceği gibi %5 mutasyon oranı kullanılacaktır. Yani her turda %5 oranında oyuncu bu strateji seçim süreci sonunda bir sonraki tur için seçtiği stratejinin mutasyona uğraması ile karşı karşıya kalacaktır.

Düzenli ağ ile başlanan simülasyona her turda, ağa gerçek dünyadaki ilişkileri en iyi temsil ettiği düşünülen küçük dünya ağına ulaşıldığını gösteren ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı değerlerini verene kadar Newman-Watts yöntemi ile kısayollar eklenecektir. Küçük dünya ağına ulaşıldığında ise sistem, piyasa yapısının oturması için 100 dönemlik bir süre için kısayol eklemekten simüle edilerek, ortaya çıkan ve gerçek dünyadaki ilişkileri yansıttığına inanılan sonuçlar yorumlanacaktır.

Son olarak ağda tesadüfi olarak seçilen iki düğümün bağlantılı olma olasılığını ifade eden p değeri 1 oluncaya kadar kısayol ekleme devam edecek, bütün ülkelerin diğer bütün ülkelerle ticaret yaptığı, gelecekte yaşanabilecek olası bir durum için elde edilecek sonuçlar değerlendirilecektir.

2.Model: Ele alınacak 2. model Prebisch ve Singer'in gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticarete sürekli gelişmekte olan ülkeler aleyhine gelişen dış ticaret hadlerinden yola çıkarak ortaya koydukları *Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretten gelişmiş ülkelerin daha karlı çıkacağı* hipotezini test edecektir. Diğer yandan simülasyon süreci aracılığıyla, hipotezin geçerli olması durumunun yükselen piyasaların ortaya çıkmasını açıklıyor olması ve yükselen piyasaların ortaya çıkması ile değişen kazanç yapısında varlığını sürdürüyor olması gibi güncel tartışmalarına katkıda bulunacak sonuçlar elde edilebilecektir. 1. model ile aynı şekilde ağ üzerinde bulunan her oyuncunun yine iki stratejisi bulunmaktadır.

İşbirlikli olma: İşbirliği davranış stratejileri, ticarete ılımlı politikalar izleme, var olan ticaret anlaşmalarına uyma gibi genel anlamda dünya ticaret örgütü tarafından önerilen davranışların tümünü simgelemektedir.

İşbiriksiz olma: İşbiriksiz davranış ticarete var olan anlaşmaların ihlal edilmesi, gereksiz ve yüksek vergilendirme gibi agresif tavırların bütünü simgelemektedir.

Düzenli ağ üzerindeki her oyuncu simülasyonun her turunda eş zamanlı olarak toplam üç oyun oynayacaktır. Bu üç oyundan ikisi sağındaki ve solundaki oyuncular ile oynayacağı iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu olacaktır. Ancak bu kez bu iki oyuna ilişkin kazanç değeri Prebisch-Singer hipotezinin iddiasına yönelik olarak yeniden düzenlenen mahkûm ikilemi kazanç değerlerini veren ve Tablo 5. 2'de gösterilen kazanç matrisinden elde edilecektir. Bağlı bulunduğu tüm oyuncular ile oynayacağı çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu ise yine Tablo 5. 3'te ifade edilen model parametreleri ile Oh (2015) tarafından oluşturulan ve Denklem 5. 1 ile 5. 2'de verilen kazanç fonksiyonlarından hesaplanacaktır. Bu üç oyundan elde edeceği toplam kazanca göre

her oyuncu yine kısasa kısas stratejisinden bir tur sonrası için stratejisini %5 mutasyon oranı ile belirleyecektir.

Düzenli ağ ile başlanan simülasyona, gerçek dünyadaki ilişkileri en iyi temsil ettiği düşünülen küçük dünya ağına ulaşıldığını gösteren ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı değerlerini verene kadar yukarıda anlatılan bağlantı ekleme süreci tekrar edilecektir. Küçük dünya ağına ulaşıldığında ise sistem, piyasa yapısının oturması için 100 dönemlik bir süre için kısayol eklemekten simüle edilerek, ortaya çıkan ve gerçek dünyadaki ilişkileri yansıttığına inanılan sonuçlar yorumlanacaktır. Bir anlamda bu işlem ilk adımda verilen referans modelin, çalışmanın amacına yönelik olarak teori üzerinde uygulanması olmakla beraber, küçük dünya ağını veren bağlantı sayısında çalıştırılması ile gelişmişlik seviyesi farklı olan ülkeler arası ticarete ışık tutacak ve azgelişmiş ülkeler adına çıkarımlar yapabilmemize izin verecektir.

Son olarak ilk modelde olduğu gibi ağa tesadüfilik oranının 1 olduğu tesadüfi ağ oluncaya kadar Newman-Watts yöntemi ile kısayollar eklenmeye devam edilerek, elde edilen tesadüfi ağda bütün ülkelerin diğer bütün ülkelerle ticaret yaptığı, gelecekte yaşanabilecek olası durum için ortaya çıkan simülasyon sonuçları yorumlanacaktır. Böylece gelişmişlik seviyesi aynı olan ülkelerin ticaretini ifade eden 1. model ile farklı olan ülkelerin ticaretini ifade eden 2. modelin simülasyon süreci içerisinde ortaya çıkardığı farklar da gözlenmiş olacaktır.

5. 2. 1. 5. Belirlenen Model Parametreleri ile 1 Tur Sonunda Elde Edilecek Kazançların Hesaplanması

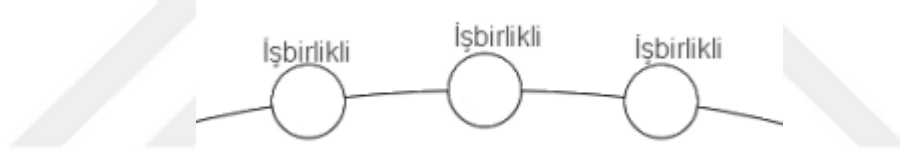
Her iki model için 3 oyundan elde edilecek kazancın toplamını ifade eden ve kısasa kısas stratejisine göre bir tur sonraki stratejinin seçiminin yapılmasını sağlayacak karar değeri olan *toplam kazanç değeri*, başlangıç durumundaki düzenli halka topolojisinin 3 elemanlı alt kümesi için örnek olarak aşağıda hesaplanmıştır

1.Model: Gelişmişlik Seviyesi Aynı Olan Ülkeler İçin Toplam Kazancı

Hesaplama

Her oyuncu 2 tane iki oyunculu, 1 tane çok oyunculu olmak üzere toplam 3 oyun oynayacaktır. Bu üç oyundan bir tanesi kendisinin ve iki komşusunun (sağ ve sol) dâhil olduğu çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunudur. Diğer ikisi ise, sağ ve sol tarafındaki komşuları ile oynayacağı iki kişilik mahkûm ikilemi oyunlardır. İki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançları Tablo 5. 1. ile verilen kazanç matrisinden elde edilecektir. Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazançları ise Tablo 5. 3.'te yer alan parametreler kullanılmak üzere; işbirlikli stratejide olan oyuncu için Denklem 5. 4, işbiriksiz stratejideki oyuncu için Denklem 5. 5'te verilen ağırlıklandırılmış kazanç fonksiyonları aracılığı ile hesaplanacaktır.

-Her üç oyuncunun da işbirlikli stratejide olması durumu;



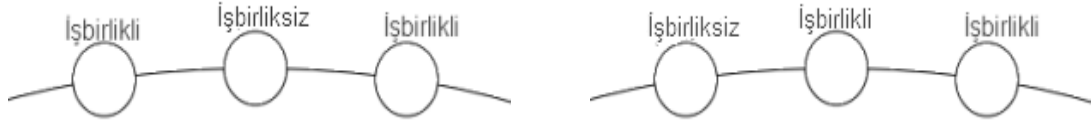
Şekil 5. 5. Her Üç Oyuncunun da İşbirlikli Stratejide Olması Durumu

Her üç oyuncunun da çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan elde edeceği kazanç Denklem 5. 4'ten 0.54 olarak hesaplanacaktır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times 1} + 0 = 0.54$$

Bunun yanı sıra ortada yer alan işbirlikli stratejideki oyuncu 2 adet işbirlikli-ışbirlikli stratejili iki oyunculu mahkûm ikilemi oyunu oynayacaktır. Bu oyunun sonucunda her iki oyundan da kazanç matrisine göre 0.6 kazanç sağlarlar. Böylece ortadaki işbirlikli oyuncunun bir tur oyun sonucu elde edeceği toplam kazanç, $0.54 + 0.6 + 0.6 = 1.74$ olacaktır.

-İki işbirlikli, bir işbiriksiz stratejide oyuncu olması durumu;



Şekil 5. 6. İki İşbirlikli, Bir İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu

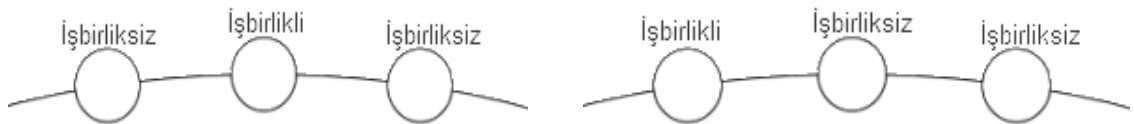
Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan ortada yer alan işbirlikli oyuncunun elde edeceği kazanç Denklem 5. 4'ten 0.56 olarak belirlenirken, ortada yer alan işbirliksiz oyuncunun kazancı ise Denklem 5. 5'ten 0.81 olacaktır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{2}{3}} + 0 = 0.56 \quad w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{2}{3}} + 0.25 = 0.81$$

Ortada yer alan işbirlikli oyuncu biri işbirlikli biri işbirliksiz oyuncuyla olmak üzere 2 adet iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu oynayacaktır. Elde edeceği kazançlar ise sırası ile 0.6 ve 0 olacaktır. Böylece iki işbirlikli, bir işbirliksiz stratejide oyuncu varken işbirlikli oyuncularından birinin ortada yer alması durumunda bu oyuncunun toplam kazancı, $0.56 + 0.6 + 0 = 1.16$ olacaktır.

Aynı şekilde işbirliksiz oyuncunun ortada yer alması durumunda 2 adet iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu oynaması sonucu her oyundan karşısındaki işbirlikli rakip nedeniyle, 1.1 kazanacaktır. Böylece işbirliksiz oyuncunun toplam kazancıda, $0.81 + 1.1 + 1.1 = 3.01$ olacaktır.

-Bir işbirlikli, iki işbirliksiz stratejide oyuncu olması durumu;



Şekil 5. 7. Bir İşbirlikli, İki İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu

Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan ortadaki işbirlikli oyuncunun elde edeceği kazanç Denklem 5. 4'ten 0.47 olurken, iki işbirliksiz oyuncunun diziliminde

ikinci alternatif olan işbirliksiz oyuncunun ortada olması durumunda elde edeceği kazanç ise Denklem 5. 5'ten 0.72'dir.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}} + 0 = 0.47 \quad w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}} + 0.25 = 0.72$$

İşbirlikli stratejideki oyuncu yukarıda anlatılan sürece benzer şekilde, çok oyunculu mahkûm ikilemi oyununa ek olarak 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu oynayacaktır. Her iki oyunda da rakipleri işbirliksiz oyuncular olacak ve toplam kazancı, $0.47 + 0 + 0 = 0.47$ olacaktır.

İşbirliksiz oyuncu ise, birisi işbirlikli rakiple, diğeri işbirliksizle olmak üzere 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu oynayacak ve bu oyunlardan sırası ile 0.3 ve 1.1 birim kazanç elde edecektir. Böylece dizilim için ikinci alternatifi oluşturan işbirliksiz oyuncunun ortada olması durumunda, işbirliksiz oyuncunun kazancı da, $0.72 + 0.3 + 1.1 = 2.12$ olacaktır.

-Her üç oyuncunun da işbirliksiz stratejide olması durumu;



Şekil 5. 8. Her Üç Oyuncunun da İşbirliksiz Stratejide Olması Durumu

Her üç oyuncunun da çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan elde edeceği kazanç Denklem 5. 5'ten 0.79'dur.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times 1} + 0.25 = 0.79$$

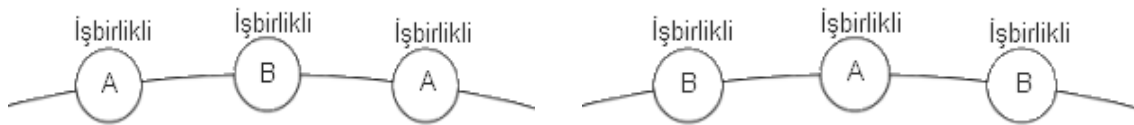
Ortada yer alan işbirliksiz oyuncu, buna ek olarak her ikisi de işbirliksiz olmak üzere 2 tane mahkûm ikilemi oyunu oynayacak ve her iki oyundan da 0.3 birim kazanç sağlayacaktır. Böylece bu alt küme içinde ortada yer alan işbirliksiz oyuncunun 1 tur sonucunda toplam kazancı, $0.79 + 0.3 + 0.3 = 1.39$ olacaktır.

2. Model: Gelişmişlik Seviyesi Farklı Olan Ülkeler İçin Toplam Kazancı Hesaplama

Prebisch-Singer hipotezi iddiası için yapılacak analizde, ilkinden farklı olarak oyuncu olarak ifade edilen ülkelerin gelişmiş ve gelişmekte olan ayrımının yapılması söz konusudur. Bu ayrım modele A ve B grubu ülkeler olmak üzere ülkelerin ikiye ayrılması ile yansıtılacaktır. A grubu ülkelerin insani gelişmişlik endeksi > B grubu ülkelerin insani gelişmişlik endeksi olmak üzere; A grubu ülkeler gelişmiş ülkeleri ifade ederken, B grubu ülkeler ise gelişmekte olan ülkeler olarak modelde yer alacaktır. Bu durumda üç oyuncudan oluşacak bir ağda oyuncuların ihtimaller dâhilinde farklı dizilimlere sahip olması söz konusu olacaktır. Ancak A,A,A ve B,B,B şeklinde olabilme ihtimali, bu tür dizilimlerin ağda yaygın olması durumunda istenilen amaca yönelik olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretten elde edilecek kazanç net olarak gözlenememesine neden olacaktır. Çünkü bu durumda yani karşılıklı ticaret yapacak ülkeler aynı ülke gruplarına dâhil ise Tablo 5. 1.'in varsayımı geçerli olmaktadır. Bu sebeple ağ modelinde, başlangıçta ülkelerin A,B,A,B şeklinde sıralı olması sağlanacaktır. Dolayısıyla tüm ağ yapısı düşünüldüğünde sadece A,B,A ve B,A,B alternatif durumları ortaya çıkacak ve bu durum modelde gözlemlenmek istenen kazanç farklarının iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançlarında ortaya çıkmasına sağlamaktadır.

İki kişilik mahkûm ikilemi oyunu kazançları Tablo 5. 2. ile verilen kazanç matrisinden elde edilecektir. Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazançları ise yine Tablo 5. 3.'te yer alan parametreler kullanılmak üzere; işbirlikli stratejide olan oyuncu için Denklem 5. 4, işbiriksiz stratejideki oyuncu için Denklem 5. 5'te verilen ağırlıklandırılmış kazanç fonksiyonları aracılığı ile hesaplanacaktır.

-Her üç oyuncunun da işbirlikli stratejide olması durumu;



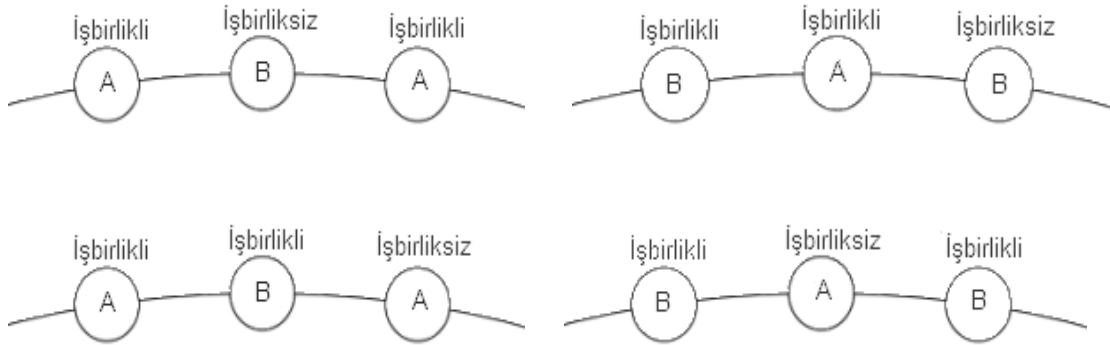
Şekil 5. 9. Her Üç Oyuncunun da İşbirlikli Stratejide Olması Durumu

Her üç oyuncunun da çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan elde edeceği kazanç, Denklem 5. 4'ten 0.54 olacaktır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times 0} + 0 = 0.54$$

Bu kazanca ek olarak her oyuncu 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu oynayacaktır. A oyuncusu için bu iki oyun B,A,B dizilişi olması durumunda sağ ve solundaki B oyuncularını ile oynanacakken, B oyuncusu içinde aynı şekilde sadece A,B,A diziliminde geçerli olacak ve o da aynı şekilde sağındaki ve solundaki A oyuncularını ile oynayacaktır. B oyuncusu, işbirlikli-işbirlikli stratejisinde sütun oyuncusu olan A oyuncusundan daha az kazanacağı için, her üç oyuncunun da işbirlikli olması durumunda A ve B oyuncularını 1 tur oyun sonunda farklı kazançlar elde edeceklerdir. A oyuncusu için toplam kazanç, $0.54 + 1 + 1 = 2.54$ olurken; B oyuncusu için ise, $0.54 + 0.6 + 0.6 = 1.74$ olacaktır.

-İki işbirlikli, bir işbirliksiz stratejide oyuncu olması durumu;



Şekil 5. 10. İki İşbirlikli, Bir İşbirliksiz Stratejide Oyuncu Olması Durumu

Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan işbirlikli oyuncuların elde edeceği kazanç Denklem 5. 4'ten 0.56 iken, işbirliksiz oyuncuların kazancı ise Denklem 5. 5'ten 0.81 olarak hesaplanmaktadır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1 \times 2}{2 \times 3}} + 0 = 0.56 \quad w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1 \times 2}{2 \times 3}} + 0.25 = 0.81$$

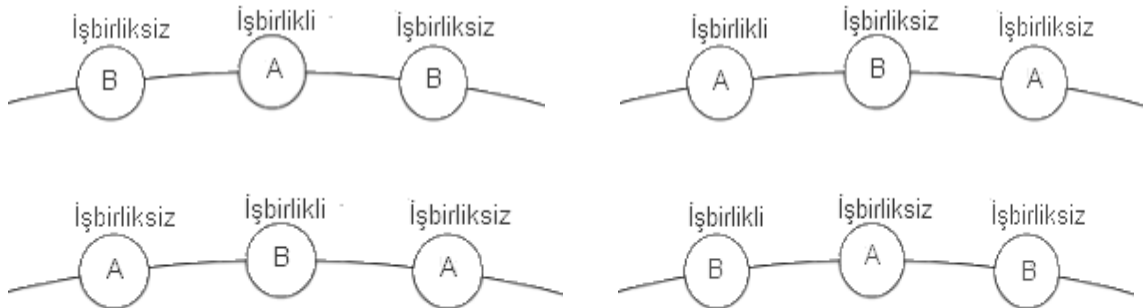
İşbirliksiz ve ortada yer alan oyuncunun A oyuncusu olması halinde, A oyuncusunun oynayacağı 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyununda her ikisi de işbirlikli B oyuncularını ile olacaktır. Böylece A oyuncusun toplam kazancı, $0.81 + 1.1 + 1.1 = 3.01$ olacaktır.

İşbirliksiz ve ortada yer alan oyuncunun B oyuncusu olması halinde ise, B oyuncusunun oynayacağı 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunundan, her ikisi işbirlikli A oyuncusu ile olacaktır. Böylece B oyuncusun toplam kazancı, $0.81 + 1.1 + 1.1 = 3.01$ olacaktır.

Ortada yer alan oyuncunun işbirlikli B oyuncusu olması durumunda oynayacağı 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunundan 1 tanesini işbirliksiz A oyuncusu ile diğerini ise işbirlikli A oyuncusu ile oynayacaktır. Böylece kazancı, $0.56 + 0 + 0.6 = 1.16$ olacaktır.

Ortada yer alan oyuncunun işbirlikli A oyuncusu olması durumunda ise, oynayacağı 2 tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunundan 1 tanesini işbirliksiz B oyuncusu ile diğerini ise işbirlikli B oyuncusu ile oynayacaktır. Böylece A oyuncusunun kazancı, $0.56 + 0 + 1 = 1.56$ olacaktır.

-İki işbirliksiz, bir işbirlikli stratejide oyuncu olması durumu;



Şekil 5. 11. İki İşbirliksiz, Bir İşbirlikli Stratejide Oyuncu Olması Durumu

Çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan ortada yer alacak işbirlikli oyuncunun elde edeceği kazanç Denklem 5. 4'ten 0.47 olurken, ağın alternatif diziliminde ortada yer alacak işbiriksiz oyuncuların elde edeceği kazanç Denklem 5. 5'ten 0.72 olmaktadır.

$$w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}} + 0 = 0.47 \quad w = \frac{1}{2.5} e^{\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}} + 0.25 = 0.72$$

3 oyuncudan oluşmakta olan bu kümede (A,B,A veya B,A,B) iki işbiriksiz oyuncu söz konusu olduğunda, hangi iki oyuncunun işbiriksiz olacağı kazançlar açısından önem taşımaktadır. Var olan bu iki olasılığa baktığımızda A ve B oyuncuları, A ve A oyuncuları ve B ve B oyuncuları işbiriksiz olabilirler. A ile B (veya B ile A) işbiriksiz olduğu durumda; B,A,B diziliminde ortada yer alacak işbiriksiz A oyuncusunun kazancı, (1 işbirlikli B, 1 işbiriksiz B ile oyunundan) $0.72 + 0.3 + 1.1 = 2.12$ olacaktır. A,B,A diziliminde mümkün olacak ortada yer alacak işbiriksiz B oyuncusunun kazancı ise, (1 işbiriksiz A, 1 işbirlikli A ile oyunundan) $0.72 + 0.3 + 1.1 = 2.12$ olacaktır.

B ile B işbiriksiz ise, B,A,B diziliminde mümkün olacak ortada yer alan işbirlikli A oyuncusunun kazancı, (2 işbiriksiz B oyuncusu ile oyunundan) $0.47 + 0 + 0 = 0.47$ olacaktır. B ile B'nin işbiriksiz olma durumu A,B,A,B,A diziliminden dolayı sadece B,A,B kümesi için olasıdır. Ancak B,A,B kümesi için hesaplanan kazanç aslında sadece bu kümedeki A oyuncusu için geçerlidir. İşbiriksiz B oyuncularının kazancı ise dâhil oldukları A,B,A alt kümesinden hesaplanmaktadır. Bu nedenle burada işbiriksiz B oyuncularının kazancı yanına gelecek A oyuncusunun işbirlikli ya da işbiriksiz stratejide olduğunu bilmediğimiz sürece hesaplanamamaktadır.

A ile A'nın işbiriksiz olma durumu kazançları da B ile B'nin işbiriksiz olma durumu ile aynı olacak sadece oyuncuların yerleri değişecektir. Bu durumda A ile A'nın işbiriksiz olma durumunda, A,B,A diziliminde ortada yer alması mümkün işbirlikli B oyuncusunun kazancı, (2 işbiriksiz A oyuncusu ile oyunundan) $0.47 + 0 + 0 = 0.47$ olacaktır. İşbiriksiz A oyuncularının kazançları ise yine aynı gerekçe ile

yanlarına gelecek B oyuncularının işbirlikli veya işbirliksiz olma durumunu bilmediğimiz sürece hesaplanamayacaktır.

Yukarıda hesaplanan kazançlar daha anlaşılır olabilmesi adına özet olarak hazırlanan Tablo 5. 4.'te verilmektedir.

Tablo 5. 4.
Oyuncuların Stratejilerine Göre Bir Tur Oyun Sonucunda Elde Edilecek
Kazançlar Tablosu

Eşit Kalkınmışlık Seviyesinde Ülkeler İçin	3 İşbirlikli			2 İşbirlikli 1 İşbirliksiz			1 İşbirlikli 2 İşbirliksiz		
	İşbirlikli		1.74	İşbirlikli		1.16	İşbirlikli		0.47
	İşbirliksiz		-	İşbirliksiz		3.01	İşbirliksiz		2.12
Farklı Kalkınmışlık Seviyesinde Ülkeler İçin	3 İşbirlikli			2 İşbirlikli 1 İşbirliksiz			1 İşbirlikli 2 İşbirliksiz		
	İşbirlikli	A	2.54	İşbirlikli	A	1.56	İşbirlikli	A	0.47
		B	1.74		B	1.16		B	0.47
	İşbirliksiz		-	İşbirliksiz	A	3.01	İşbirliksiz	A	2.12 (A ile B işb.siz ise)
			-		B	3.01		B	2.12 (A ile B işb.siz ise)

Tablo 5. 4.'ten anlaşılacağı gibi, Prebisch-Singer hipotezi çerçevesinde ülkeler arasındaki gelişmişlik farklarının modele yansımaları, sadece herkesin işbirlikli olduğu durumda ve 2 işbirlikli oyuncu olduğu durumda işbirlikli oyuncuların kazançlarında fark yaratmaktadır.

5. 3. Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde uluslararası ticaret için oluşturulan kompleks uyarlanabilir sistemin analizi için kullanılacak ve ajanlarının davranış kuralları evrimsel stratejili oyun teorisi kazançlarınca belirlenecek olan ajan-temelli ağ modeli simülasyonu yapılarak sonuçlar değerlendirilecektir. Bu amaçla öncelikle klasik iktisadın ticaret görüşü için hazırlanan ve Tablo 5. 1.'de verilen kazanç matrisi değerleri davranış kuralları belirlemede kullanılacak ve bu şekilde oluşturulan sistemin analizi sırasında hem sisteme ilişkin doğrulama ve geçerlilik sağlanmış hem de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaret için yapılacak analiz sonuçlarını karşılaştırma imkânı sağlayacak olan referans değerlere ulaşılmış olacaktır. Daha sonra ise, Prebisch-Singer hipotezinin iddiasına uygun olarak hazırlanan ve Tablo 5. 2.'de verilen kazanç matrisi kullanılarak davranış kurallarının belirlendiği yeni bir analiz yapılarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretin Prebisch-Singer hipotezi varsayımı altında nasıl sonuç verdiği incelenecektir.

Analizi, bu iki farklı kazanç matrisi değerleri içinde aynı adımlar tekrarlanarak gerçekleştirilecektir. Bu adımlar sıra ile aşağıdaki gibidir.

- Bağlantı ekleme süreci: Düzenli halka topolojisi ile başlanan sistemde tesadüfi olarak seçilen iki düğümün bağlantılı olma olasılığı $p=0$ 'dır. Bu olasılık, her turda sistem tarafından tesadüfi olarak seçilen bir düğüm çiftinin birbirine bağlanması ile $p=1$ 'e doğru arttırılacaktır.

-Küçük dünya ağının tespiti: Artan tesadüfilik sürecinde, her tur için ağın ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı ölçülecektir. Küçük dünya ağını veren ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısını veren bağlantı sayısının tespiti ile küçük dünya ağına ulaşılmış olacaktır.

-Küçük dünya ağına ilişkin sonuçların gözlemlenmesi: Küçük dünya ağını veren bağlantı sayısında sistem belirli bir dönem çalıştırılıp gerçek dünya piyasaları ile uyumlu olduğu düşünülen küçük dünya ağında ticarete ilişkin bulgular elde edilecektir.

-Tesadüfî ağı ulaşma: Ticaretin ülkeler arasında giderek yaygınlaşmasını hedefleyen Dünya Ticaret Örgütü politikalarının bir sonucu olarak ülkeler arası artan ticaret bağlarının gelecekte tüm ülkelerin tüm ülkelerle ticaret yaptığı varsayımsal durum için yaratacağı sonuçların gözlemlenebilmesi için tesadüfî ağı ulaşana kadar bağlantı eklenmeye devam edilecektir.

-Son olarak tesadüfî ağın ortaya çıkmasından olası bütün düğüm çiftlerinin birbirine bağlanarak *bütün ağın* ortaya çıktığı duruma kadar sistem çalıştırılıp, bu varsayımsal durumunda yapılacak ticarete ilişkin bulgular elde edilecektir.

Sürecin adımlarından anlaşılacağı gibi burada öncelikli amaç küçük dünya ağını veren bağlantı sayısına ulaşarak sistemi bu bağlantıda belirli dönem çalıştırarak gerçek dünya ile ilişkilendirilebilecek sonuçları elde etmektir. Bu amaca yönelik olarak öncelikle Watts (1999, s.49) tarafından küçük dünya ağlarının, kümelenme katsayısı çok değişmeden ortalama patika uzunluğunun en küçük olduğu noktada ortaya çıkabilmesi için gerekli görülen üç temel varsayımının model için gerçekleştiğini görmemiz gerekmektedir. Bu üç temel varsayımın ilki n , yani burada ülkeleri ifade eden düğüm sayısının sabit olmasıdır. Bu varsayım süreç boyunca 80 düğümün sabit kalması ile sağlanacaktır. İkincisi, düğüm derecesi k 'nın n ile sınırlı olmasıdır. Bu varsayımın sağlanması için bağlantılar, ağda veri n düğüm sayısı sabit ve p ağ üzerinden seçilen herhangi iki düğümün bağlantılı olma olasılığı iken, küçük dünya ağları için olası bağlantı sayısını veren $N(N-1)/2$ formülünden,

$$80(79)/2=3160 \text{ olarak sınırlanmıştır.}$$

Ayrıca bir ağı oluşturmak için her düğümün asgari bir bağlantıya sahip olması gerekir. Aksi takdirde ağda bağlantılı olmayan bölgeler ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple üçüncü varsayım olarak ağın bağlı olduğu kabul edilmektedir. Böylece ortalama patika uzunluğunun sonsuz olması durumu sonucu küçük dünya ağının ortaya çıkışının gözlemlenilememesi sorunundan kaçınılmış olunmaktadır. Bu nedenle ağda bağlı olmayan düğüm sorununun ortaya çıkmaması için, bağlantı ekleme yöntemi olarak Newman-Watts yöntemi seçilmiştir. Yani herhangi bir düğüm çifti arasındaki var olan bağlantı koparılmadan, kısayol olarak adlandırılan yeni bağlantılar eklenerek iki düğüm

arasında bağlantı olma olasılığı $p=0$ 'dan $p=1$ 'e kadar arttırılacaktır. Ayrıca başlangıçta her ülkenin sınır komşusu olduğu sağ ve solundaki ülkelerle bağlı olduğu düzenli halka topolojisi kabul edilmiştir. Halka topolojisi, her ajanın hem sağındaki ve solundaki oyunculara bağlı olmasına hem de süreç dâhilinde belirli olasılıklarla diğer ajanlara bağlanabilmesine izin vermektedir (Tabrizi, 2015). Böylece simülasyon sürecinde her iki komşusuna (doğal olarak) bağlı olduğu varsayılan 80 düğümlü, düzenli halka topolojisi ile başlanıp, Newman-Watts yöntemi ile kısayol eklenmesi ile üçüncü varsayım da sağlanmış olmaktadır. Böylece sistemde ulaşılması arzu edilen küçük dünya ağlarının ortaya çıkması için gerekli şartlar sağlanmış olmaktadır.

Adımları ve bu adımların gerçekleştirilebilmesi için ortaya çıkması gereken küçük dünya ağlarının şartlarını sağladığı belirlenen ajan-temelli ağ modelinin her iki kazanç matrisi için analizinde Python programlama dilinde yazılan program kodları* kullanılacaktır. Python, Guido Van Rossum adlı Hollandalı bir programcı tarafından 90'lı yılların başında geliştirilmeye başlanmış ve 2000'li yıllarda Java, C, C++ gibi dünyanın en çok kullanılan yazılım dillerinden biri haline gelmiştir. Python'un bir paket program değil, programlama dili olması çalışmada kullanılan oyun teorisi, evrimsel algoritma, ağ teorisi gibi kavramları bir arada kullanabilmesine rağmen sınırlı kalan Netlogo, Swarm, TNGLab (Trade Network Game Laboratory), Gams gibi eşdeğerlerine göre daha esnek bir yapı sağlayarak avantajlı konumda olmasını sağlamaktadır. Sunduğu bu esnek çalışma yapısı nedeniyle modelde rahatça değişikliğe gidilebilmesi, bu çalışmada tercih edilmesi için başlıca sebeplerden birisi olmuştur.

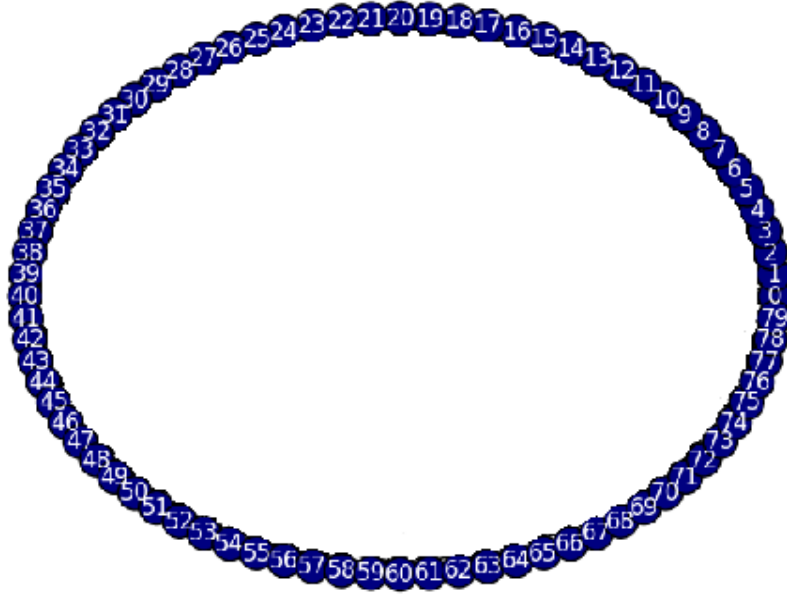
5. 3. 1. Gelişim Seviyesi Aynı Olan Ülkeler Arası Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları (Referans Model)

Uygulamanın ilk basamağı olan bu kısımda öncelikle uluslararası ticaretin ajan-temelli ağ modeli ile simülasyonunun yapılabilmesi için gerekli olan davranış kuralı, evrimsel oyunlarda en iyi sonucu verdiği düşünülen kısasa kısas stratejisi olarak alınmış ve bu stratejiye göre seçim yapabilmeyi sağlayacak kazanç değerinin hesaplanması için Tablo 5. 1. kullanılmıştır. Her turda her ajan için hesaplanacak bu

* Python programlama dilinde yazılan program kodları EK-3'te yer almaktadır.

kazanç değeri, bir sonraki turda benimsenecek stratejiyi (işbirlikli/işbirliksiz) belirleyecektir. Daha sonra analizin adımlarına uygun olarak her turda eklenecek kısayollar çok oyunculu mahkûm ikilemi kazançlarını değiştirerek, bir sonraki tur için ajanların strateji seçimlerinin belirlenmesine de katkıda bulunacaktır.

Şekil 5. 12.'de görülen 80 düğümlü düzenli halka topolojisinde kısasa kısas stratejisi ile stratejilerini belirleyecek oyuncular bu stratejinin gereği olarak başlangıçta işbirlikli stratejide olacaklardır. Ancak, başlangıç durumu için strateji belirleyen 80 oyuncunun her birisi %5 mutasyon oranı ile bozulmaya uğrayıp işbirliksiz stratejiyi tercih etmektedirler. Böylece başlangıç durumu için 80 oyuncu stratejisini, ortalama 4 ülke işbirliksiz stratejide olmak üzere belirlemektedirler.



Şekil 5. 12. Başlangıç-80 Düğümlü Düzenli Halka Topolojisi

Devam eden süreçte ağda rastgele seçilen düğüm ikilileri arasında bağlantı olması olasılığını ifade eden p 'nin arttırılması için Newman-Watts yöntemi ile kısayol ekleme süreci başlayacaktır. Bu yöntemde eklenen kısayollar, olasılık değerini ifade eden p 'nin değerini belirlemektedir. Böylece, yeni eklenen bağlantı sayısı M olmak üzere; p , Denklem 4. 12'de verilen eşitlik olan $p = M / (N(N - 1) / 2)$ ifadesinden sistem tarafından hesaplanmaktadır (Uzuntarla ve Özer, 2008).

Küçük dünya ağı özelliğini yansıtan ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısını veren bağlantı sayısını belirleyebilmek için p olasılığını Denklem 4. 12’de verilen eşitlik aracılığı ile yükselten kısayol ekleme süreci uygulanmış. Her defasında sürece $p=0$ iken başlanıp, 100 dönemde 100 kısayol eklemiş ve her kısayol için ağın ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı hesaplanmıştır. Ardından piyasa yapısının oturması ve eklenen bağlantıların etkilerinin gözlemlenebilmesi için 100 dönem beklenmiştir. Watts ve Strogatz (1998)’in belirttiği gibi bu iki parametrenin normalize edilmiş değerlerinin, eklenen her yeni bağlantı için ölçülmesi ile elde edilen ortalama patika uzunluğu $<$ kümelenme katsayısı* olduğu noktaya kadar 100 kısayol ekleme, 100 dönem bekleme sürecine devam edilmiştir. Ortalama patika uzunluğu $<$ kümelenme katsayısı olduğu noktada ise sistem çalışmasını durdurulup bu bağlantı sayısını kaydetmiştir. Sözü edilen bu süreç Tablo 5. 5.’te gösterilmektedir.

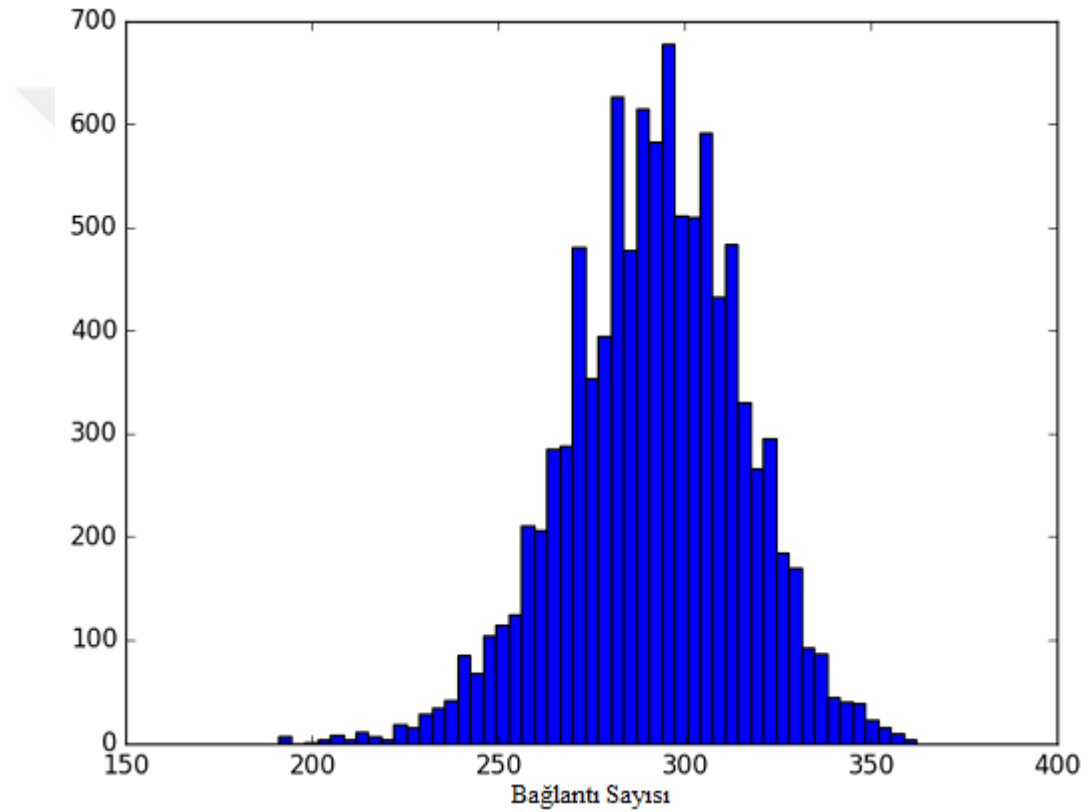
Tablo 5. 5.
Bağlantı Ekleme Süreci

Tur Sayısı	Bağlantı Ekleme	Bağlantı Sayısı
0-100	Evet	0-100
101-200	Hayır	0-100
201-300	Evet	101-200
301-400	Hayır	101-200
401-500	Evet	201-300
501-600	Hayır	201-300
601-700	Evet	301-400
701-800	Hayır	301-400

* Ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısının hesaplanmasında .Net C# Network Library’de (C# Ağ Kütüphanesi) yer alan ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı formüllerinin standart program kodları kullanılmıştır.

Bu şekilde yapılan 10000 tekrar sonucunda sistemin küçük dünya ağı özelliğini gösterdiği bağlantı sayıları histogramı Tablo 5. 6.'te gösterilmektedir*. Histogramdan anlaşıldığı gibi, küçük dünya özelliği gösteren bağlantı sayısı 200 ile 350 arasında ve beklendiği gibi normal dağılıma uygundur. Bu bağlantı sayılarına karşılık gelen tur sayıları ise, Tablo 5. 5.'ten görüldüğü gibi 401-500, 501-600 ve 601-700'dür.

Tablo 5. 6.
10000 Tekrarlı Simülasyon Sonucu Küçük Dünya Ağını Ortaya Çıkaran Bağlantı Sayılarının Histogramı

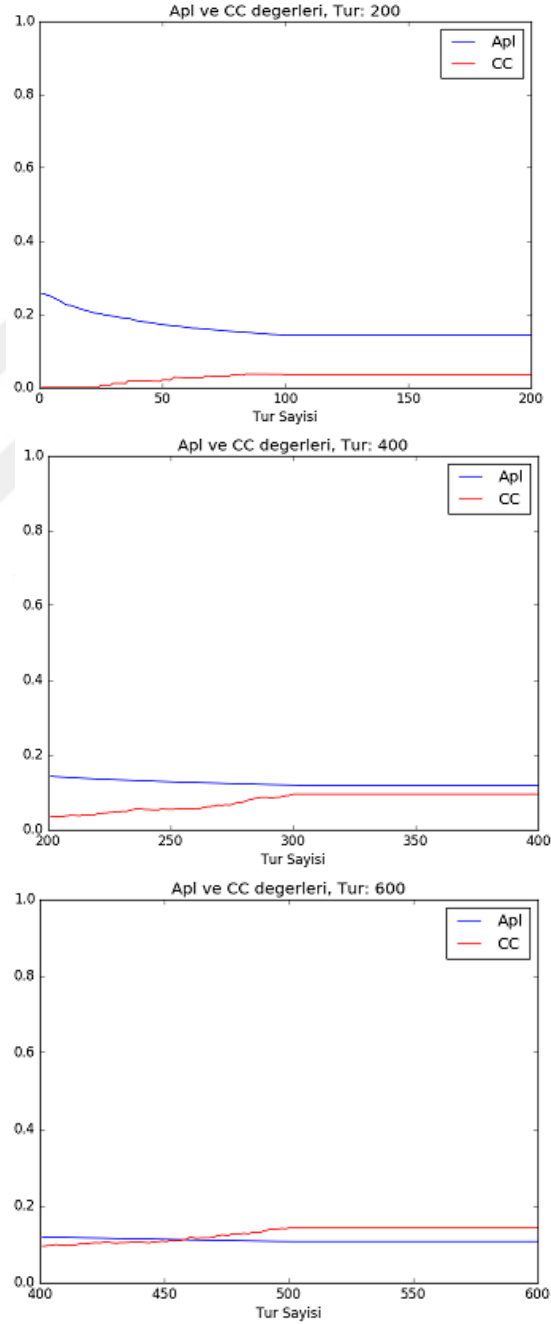


Bu durumda 401-700 arası bir tur sayısında küçük dünya ağlarının ortaya çıktığı sonucuna durumuna ulaşılmaktadır. Bu aralık küçük dünya ağlarını veren bağlantı sayısının tam olarak tespit edilmesi için oldukça geniştir. Bu sebeple küçük dünya ağı özelliğini gösteren tur sayısının belirlenmesi için, yukarıdaki bağlantı sayılarına ait ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın verildiği Tablo 5. 7.'nin üçüncü panelinden

* Histogramı oluşturan bağlantı sayısı değerleri Ek-4'te verilmektedir.

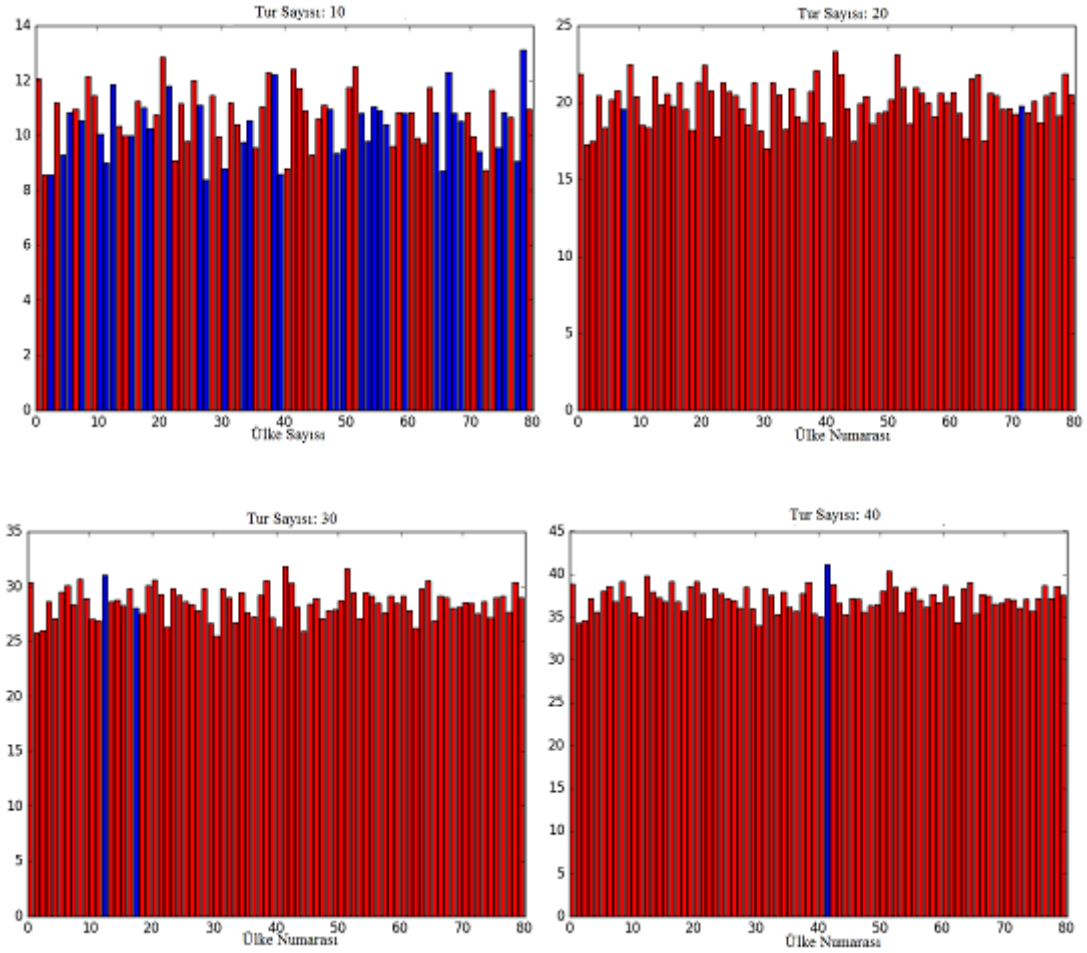
ortalama patika uzunluğu (apl) < kümelenme katsayısı (cc) olduğu noktada küçük dünya ağını veren bağlantıya ait tur sayısının 450 olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak da küçük dünya ağını veren bağlantı sayısının da Tablo 5. 5.'ten 201-300 arasında olduğu sonucuna ulaşılmış olacaktır.

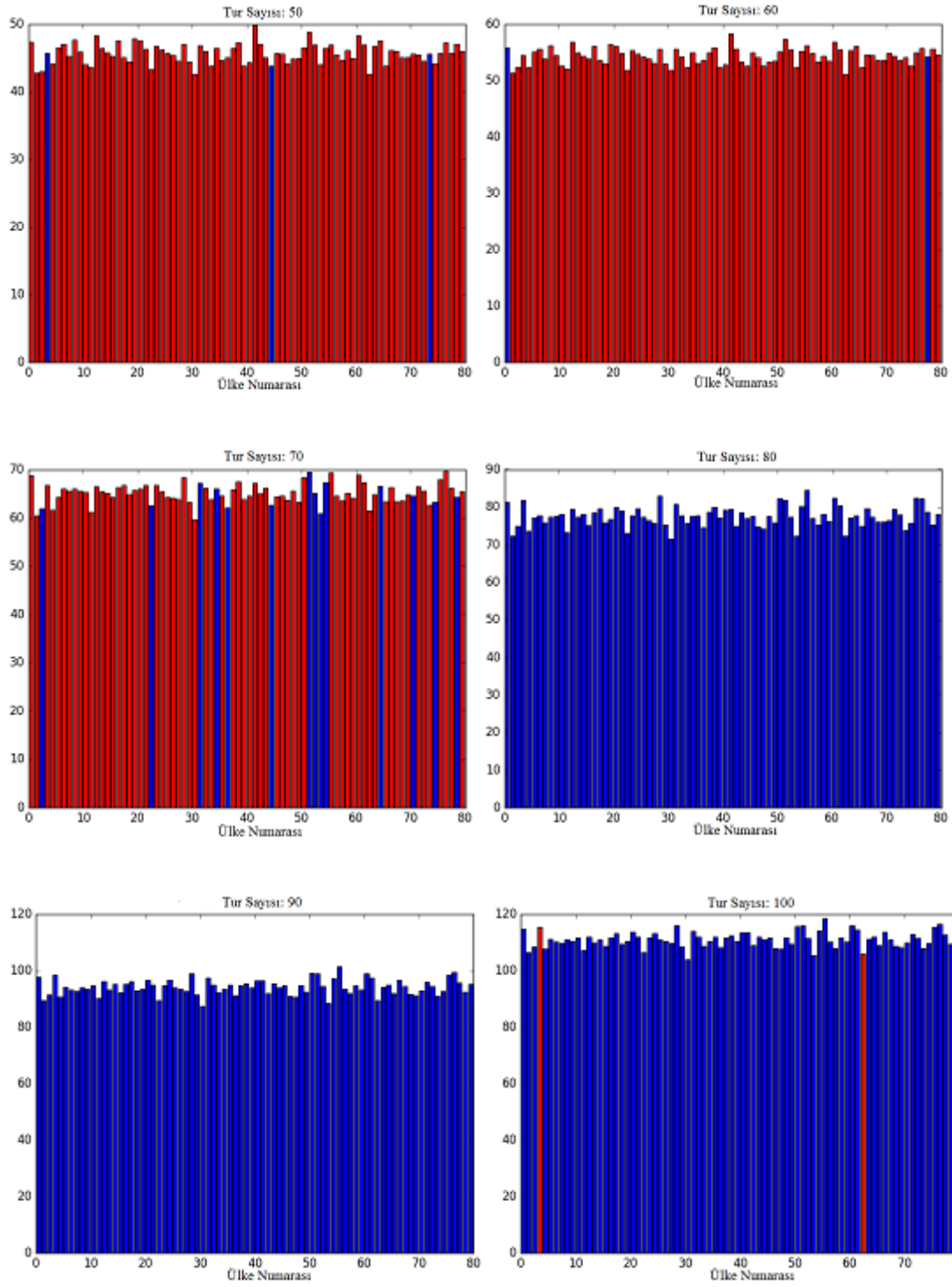
Tablo 5. 7.
Ortalama Patika Uzunluğu ve Kümelenme Katsayısı Karşılaştırması



Küçük dünya ağını veren bağlantı aralığı saptandıktan sonra sistem, analiz adımlarına uygun olarak 201-300 bağlantı arasında, her ülke için iki oyunculu mahkûm ikilemi kazançları Tablo 5. 1.'den, çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazançları ise bağlı bulunduğu tüm oyuncuların dâhil olduğu grup için Denklem 5. 4. ve 5. 5 'ten elde edilip toplanarak, birikimli kazanç tabloları elde edilmiştir. Bu işlem, 201-300 bağlantı arasında her tur bir kısayol ekleme şeklinde sistemin çalıştırılması ile gerçekleştirilmiş, böylece küçük dünya ağı aralığında ortaya çıkan birikimli kazançlar her 10 turda bir olmak üzere Tablo 5. 8.'de verilmiştir.

Tablo 5. 8.
201-300 Bağlantı Arası Birikimli Kazanç Değerleri

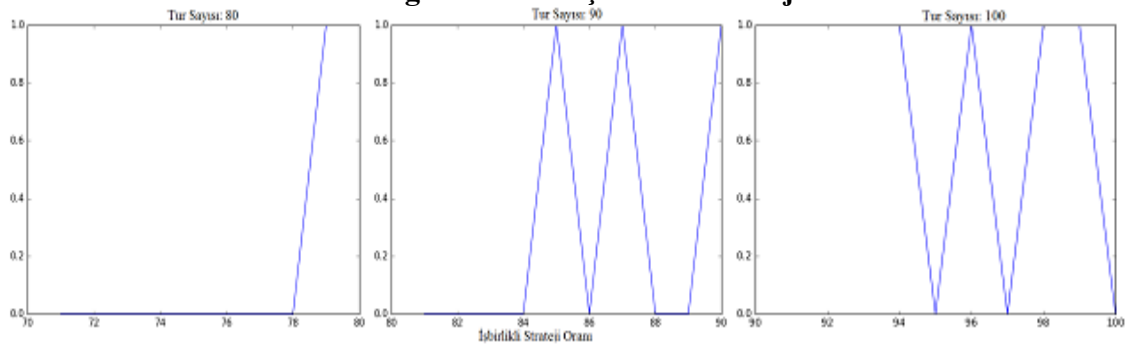




Not: İşbiriksiz stratejideki oyuncular kırmızı, işbirlikli stratejideki oyuncular mavi renk ile ifade edilmektedir.

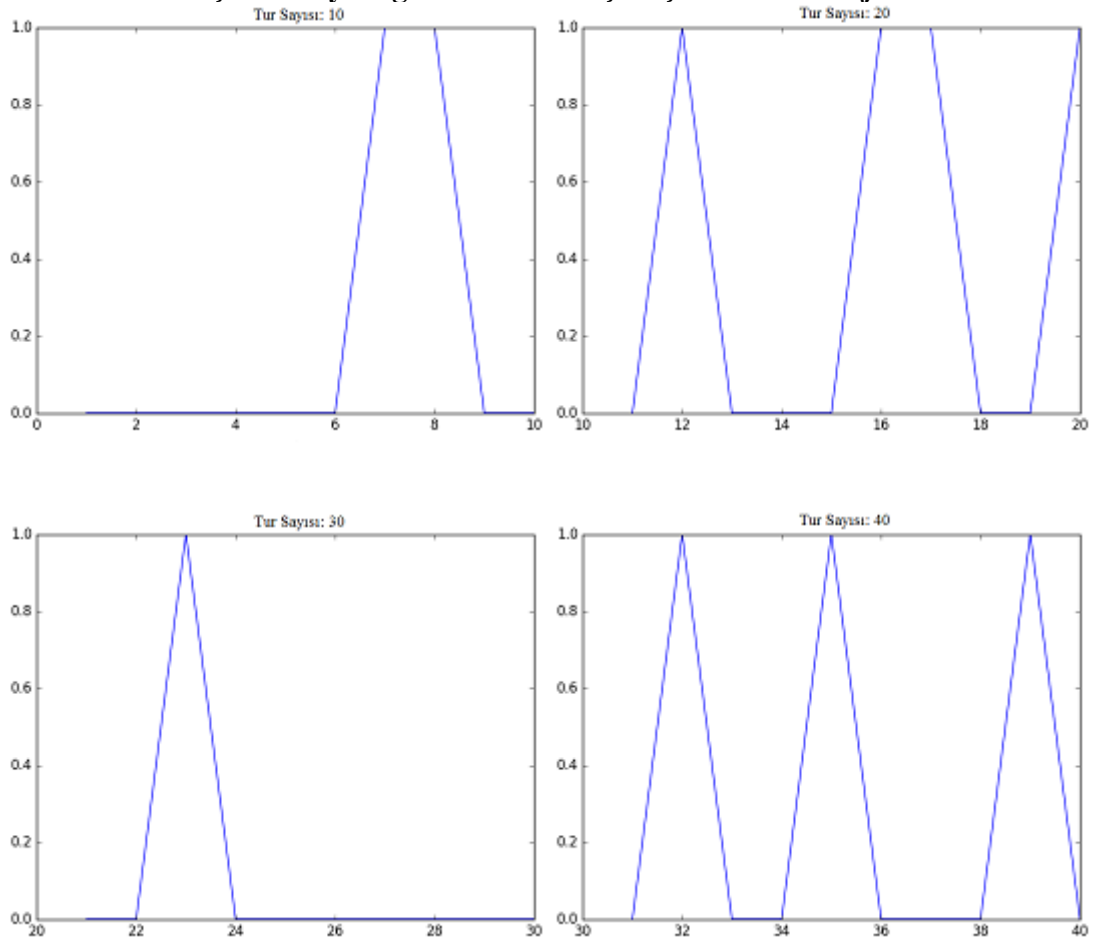
Tablo 5. 8.'deki birikimli kazanç değerleri incelendiğinde, öncelikle oyuna işbirliksiz stratejide başlayan oyuncuların daha fazla kazanç elde ettiği görülmektedir. Bu sebeple 10.turdan sonra 78. tura kadar işbirlikli oyuncu oranı 0'a yakın seyretmektedir. Oyuna işbirliksiz başlayıp, arka arkaya işbirliksiz stratejide oynayan oyuncuların, bulundukları işbirliksiz stratejiye katılım düzeyi yükseldikçe, elde ettikleri kazancın düşmesi ile işbirlikli stratejiye dönmeye başladığı 78. tura kadar birikimli kazancının diğerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Sonraki turlarda ise işbirliksiz stratejide olduğu duruma göre görece az artış göstermek kaydıyla birikimli kazançlarının yine diğer oyuncularından daha yüksek düzeyde seyretmektedir. İşbirliksiz oyuncunun, çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunundan elde edeceği Denklem 5. 5 ile verilen kazanç fonksiyonuna uygun olarak işbirliksiz oyuncunun sayısının artması sonucu düşen işbirlikli oranı nedeniyle kazancının düşmesi beklentimize uygun olarak 78. turdan sonra işbirlikli-işbirliksiz strateji dönüşümünü sağlamaktadır. Yapılan deneylerin hemen hemen hepsinde küçük dünya ağırları özelliği gösteren bağlantı aralığında (201-300), özellikle 270-280 bağlantı civarına kadar işbirliksiz stratejinin dramatik bir şekilde hâkim strateji olduğu ancak bu noktadan sonra düşen kazançlarla birlikte değişime uğradığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu süreçteki işbirlikli ve işbirliksiz stratejileri arasındaki değişime ilişkin fikir oluşturabilmesi için ağdaki işbirlikli strateji oranı; işbirlikli strateji/tüm stratejiler şeklinde oluşturulan işbirlikli strateji oranı ile izlenmiştir. Tablo 5. 8.'de birikimli kazanç değerleri verilen bağlantı aralığı (201-300) için her turdaki işbirlikli strateji oranı Tablo 5. 9.'de 70. turdan itibaren gösterilmektedir. Özellikle 78. turdan sonra strateji değişimleri periyodik olarak gözlemlenmekle beraber sayısal üstünlüğün işbirlikli stratejide olduğu görülmektedir.

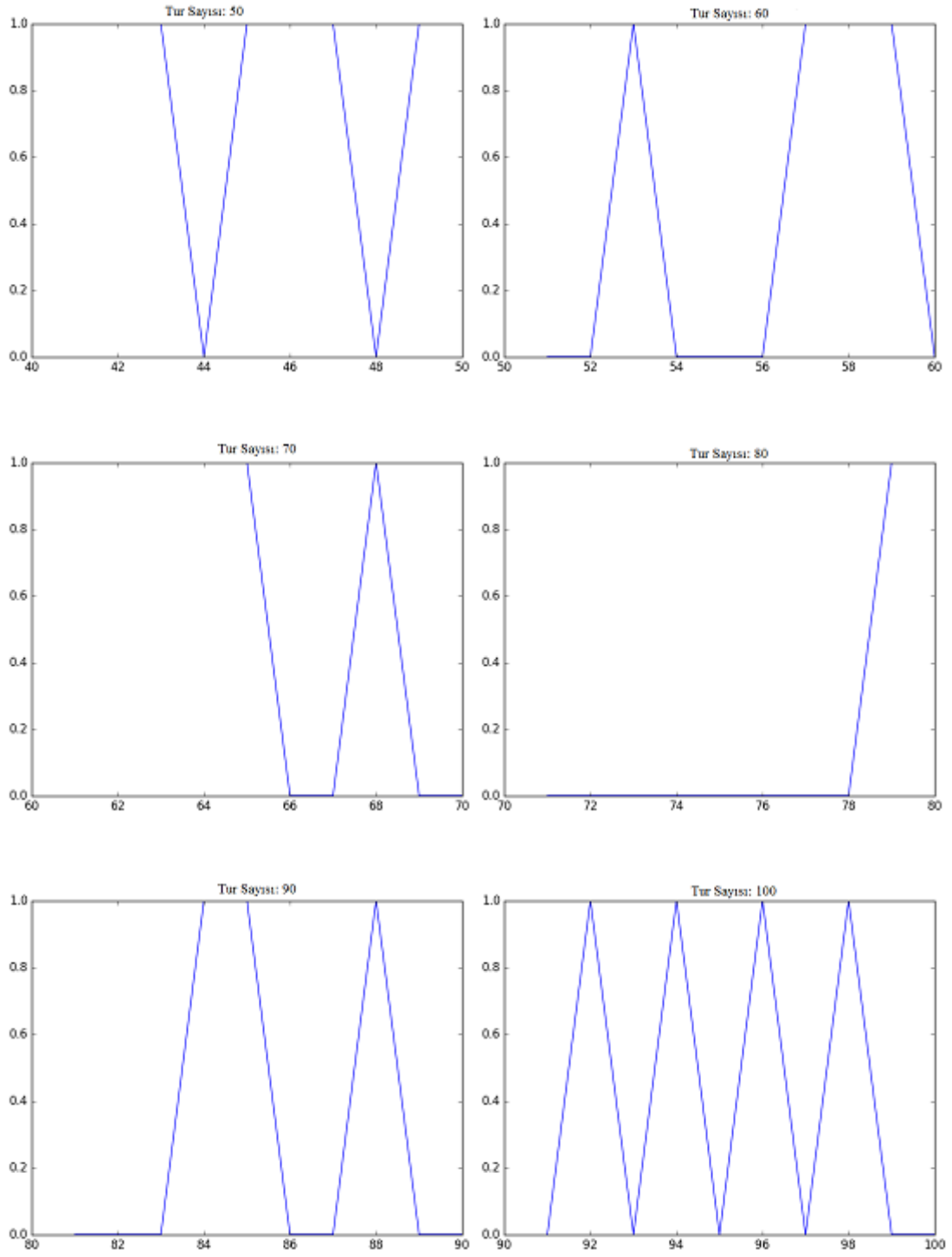
Tablo 5. 9.
270-300 Bağlantı Arası İşbirlikli Strateji Oranı



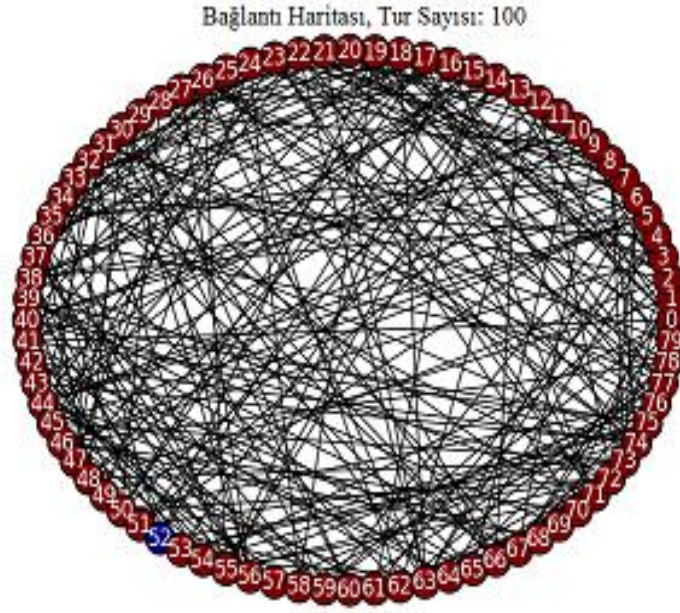
Küçük dünya ağlarını temsil eden 201-300 bağlantı arasında sistemin ne şekilde hareket ettiği buraya kadar yapılan simülasyonlar ile gözlenmiştir. Daha sonra dünyada var olan ticaret ağı yapısının küçük dünya ağları özelliklerini gösterdiği varsayımı altında, nasıl çalıştığına ilişkin yanıt alabilmek için sistem bağlantı sayısı 300’de tutulan küçük dünya ağı, piyasa yapısının oturması için 100 tur çalıştırılarak izlenmiştir. Bu 100 tur boyunca strateji değişimlerinin beklentimize uygun olarak sürekli periyodik dalgalanmalar gösterdiği Tablo 5. 10.’da görülmektedir.

Tablo 5. 10.
Küçük Dünya Ağında 100 Tur için İşbirlikli Strateji Oranı





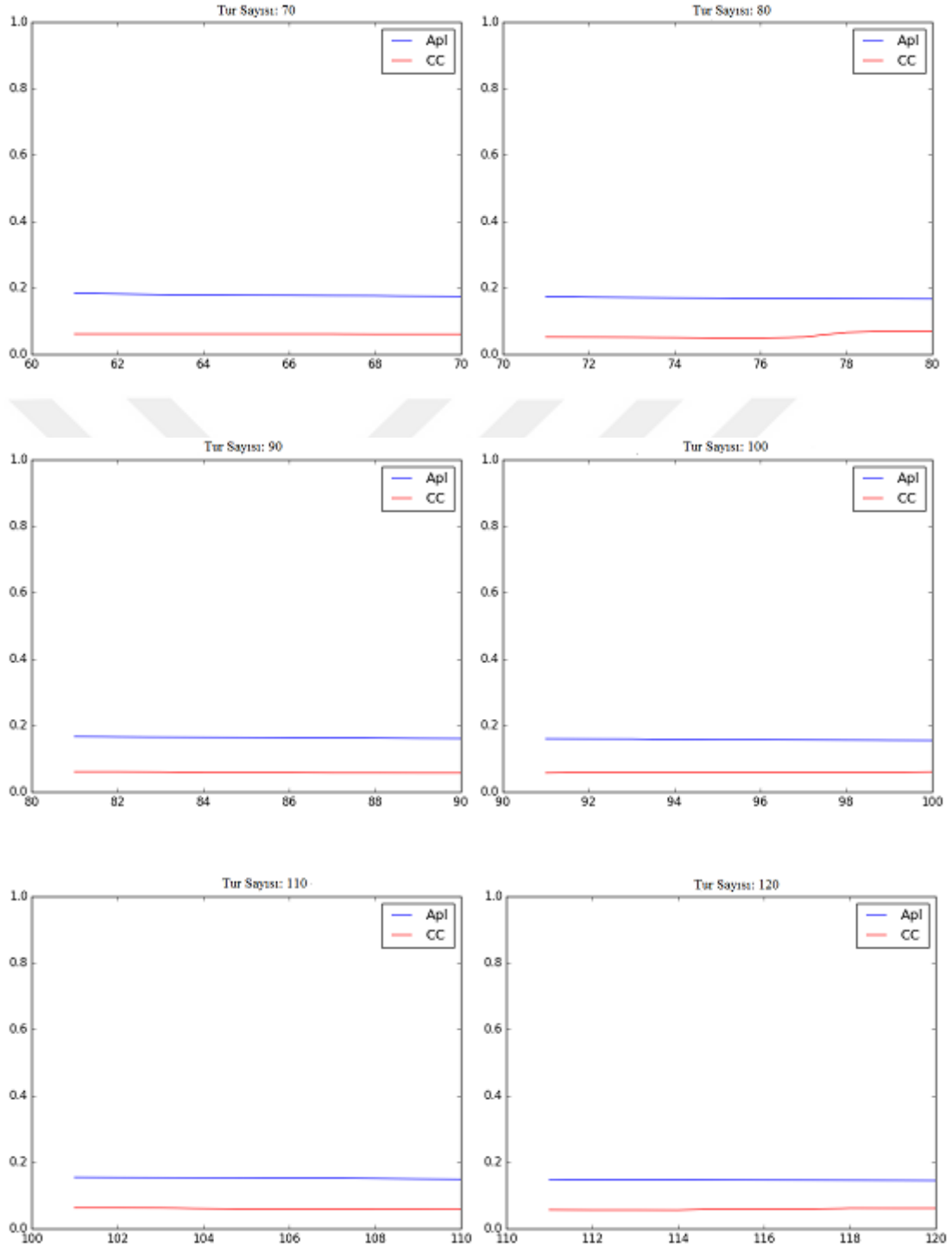
Küçük dünya ağı bağlantı aralığı 201-300 sürecinde periyodik değişim gösteren işbirlikli-işbirliksiz strateji, sistem 300 bağlantıda 100 tur aralıksız çalıştığında işbirliksiz stratejinin seçilmesi ile son bulmaktadır. Bu durum Şekil 5. 13.'deki bağlantı haritasından görülmektedir.

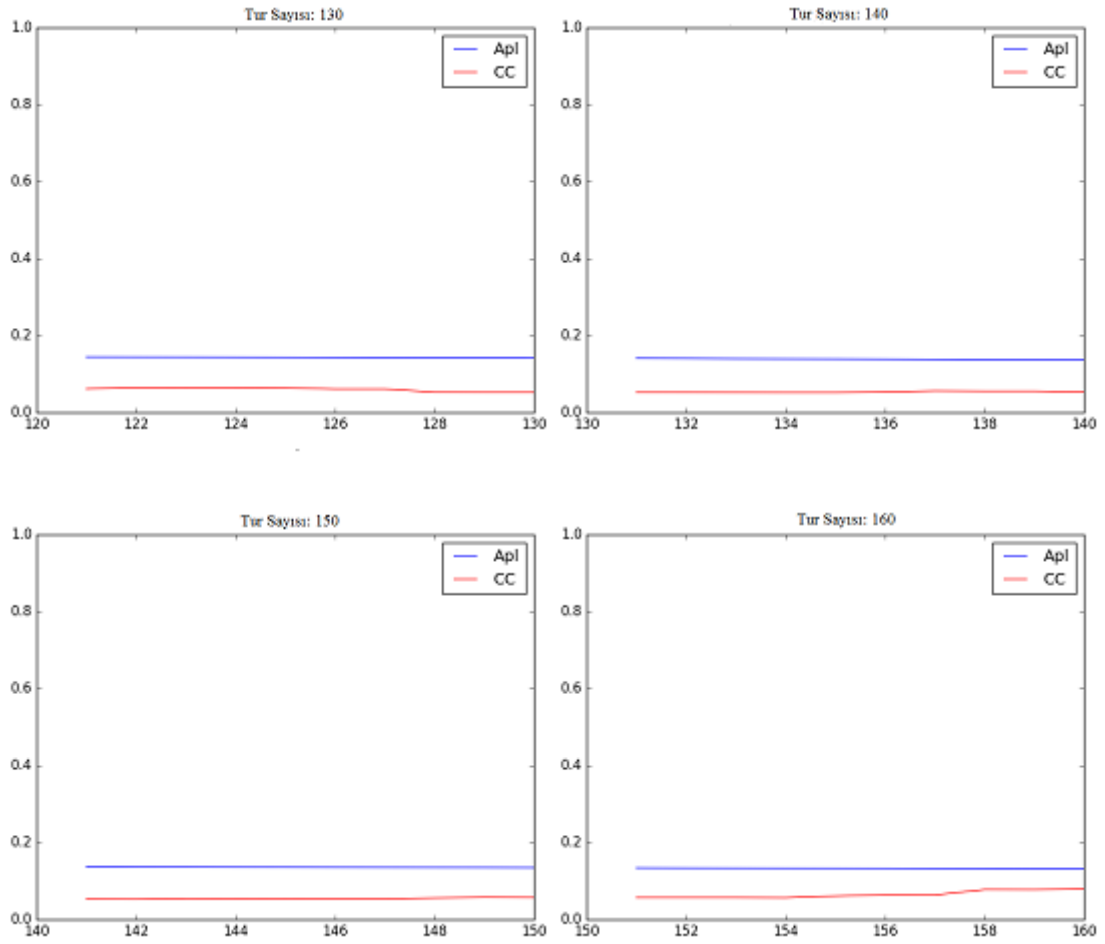


Şekil 5. 13. Küçük Dünya Ağında 100 Tur Sonunda Bağlantı Haritası

Başta verilen analiz adımlarının bir parçası olarak bu aşamadan sonra tesadüfi ağ modeline gidene kadar ağa kısayol eklenmiştir. Ağda oluşabilecek olası tüm bağlantı sayısı 3160 olmasından hareketle, tesadüfi ağ özelliği gösteren 3000 bağlantıdan itibaren, 160 turda toplam 160 bağlantı eklenerek ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısının seyri izlenmiştir. 3160 bağlantıda sistem *tesadüfi bütün ağ*'ın özelliği olan düşük ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı özelliğini göstermektedir. 3000. Bağlantıdan sonra her on turda bir alınan kümelenme katsayısı ve ortalama patika uzunluğu değerleri 3060. bağlantıdan sonra çok düşük seviyede ve durağan olarak, birbirine yakın seyretmekte ve bu durum Tablo 5. 11.'de görülmektedir.

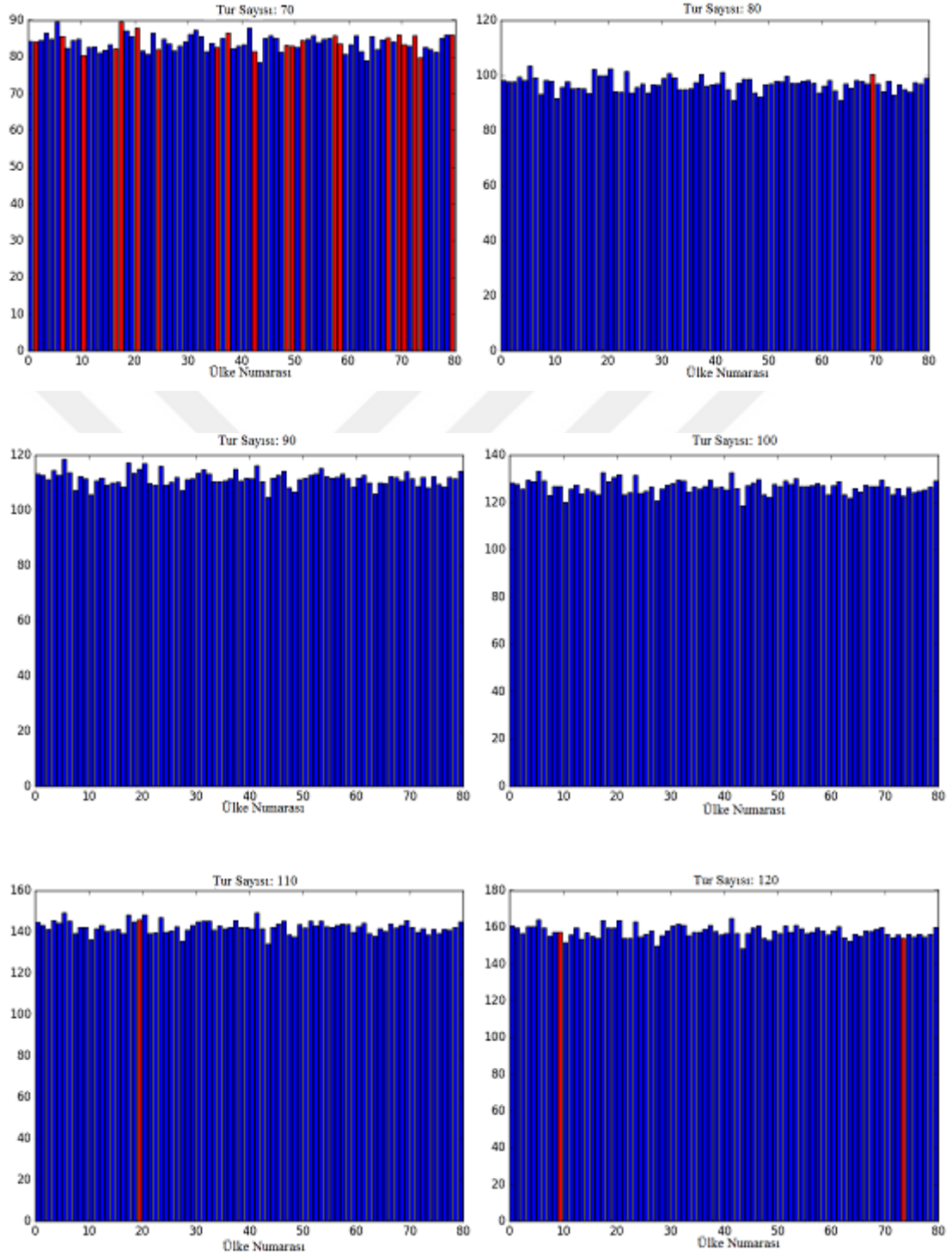
Tablo 5. 11.
Tesadüfî Ağın Ortalama Patika Uzunluğu ve Kümelenme Katsayısı

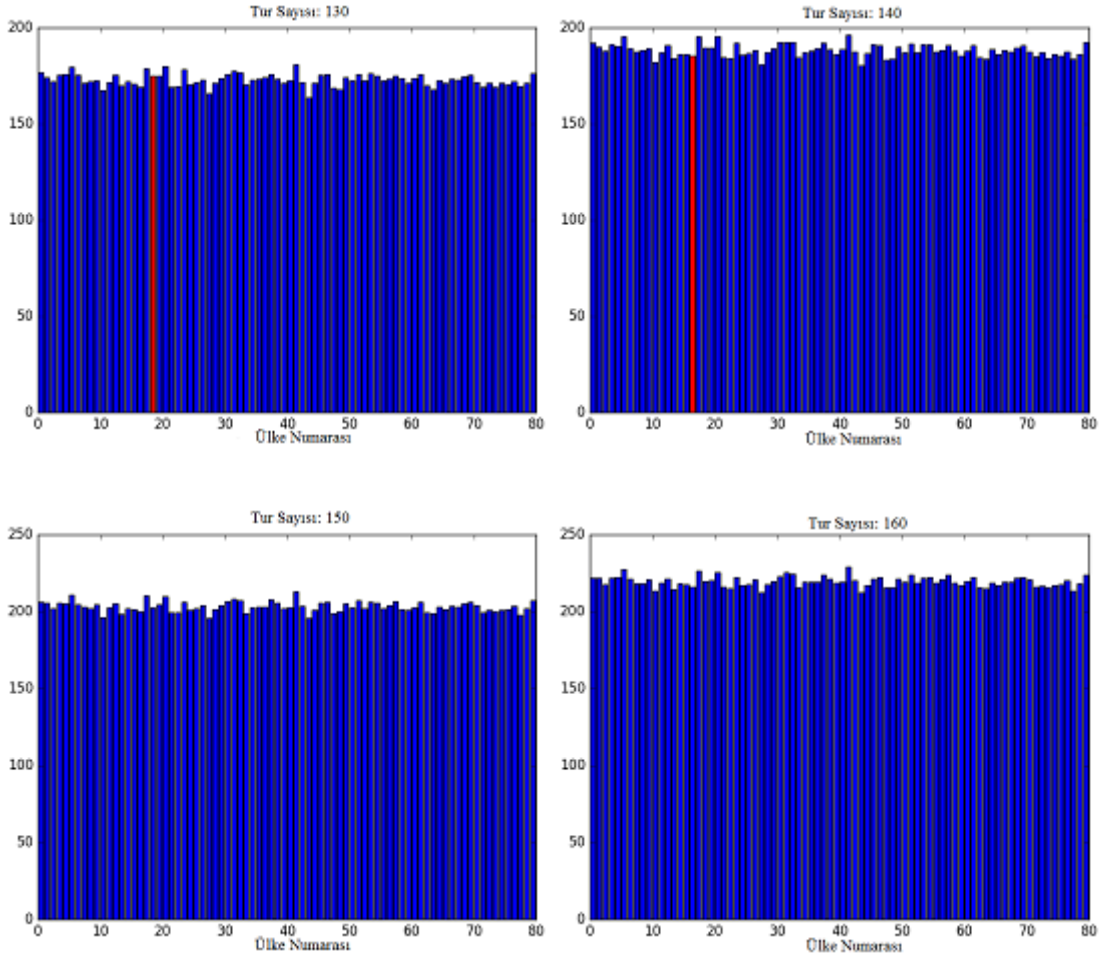




Daha sonra tesadüfi ağ modelini yansıtan 3060 bağlantı ve sonrasındaki birikimli kazanç değerleri incelenmiştir. Bu değerler Tablo 5. 12.'de gösterilmektedir. Özellikle 3060 bağlantı ve sonrasında eklenen kısayollar izlendiğinde stratejilerin işbirlikliye dönmeleri oranları ve işbirlikli stratejide kalma süresinin arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 5. 12.
Tesadüfî Ağın Birikimli Kazanç Değerleri

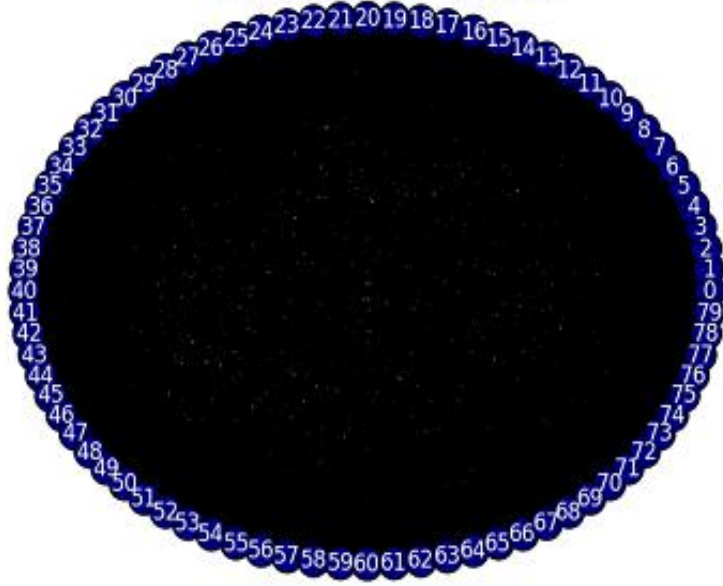




Not: İşbiriksiz stratejideki oyuncular kırmızı, işbirlikli stratejideki oyuncular mavi renk ile ifade edilmektedir.

Son olarak tamamen işbirlikli stratejiye dönen *tesadüfî bütün ağda* oluşan bağlantılar Şekil 5. 14.'de verilmiştir.

Bağlantı Haritası, Tur Sayısı: 160



Şekil 5. 14. 3160 Bağlantı İçeren Tesadüfi Ağ Bağlantı Haritası

5. 3. 2. Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Arası Uluslararası Ticaretin Ajan-Temelli Ağ Modeli Simülasyon Sonuçları (Prebisch-Singer Hipotezi)

Dış ticaretin başlaması ile gelişmekte olan ülkelerde ihracat kalemleri oransal bakımdan küçülürken ithalat kalemlerinde ya bir değişiklik olmayacak ya da artacaktır. Böylece gelişmekte olan ülkelerde ithalat ve ihracat arasında oransal bir fark ortaya çıkacaktır. Dış ticaret haddini ifade eden bu fark, sisteme kazanç matrisinde değişiklik yapılması ile dâhil edilmiştir. Bu noktada öncelikle sisteme yaptığımız bu bilinçli müdahale göz önünde bulundurularak, sistemin çalışmasında farklılık olup olmadığı incelenecektir.

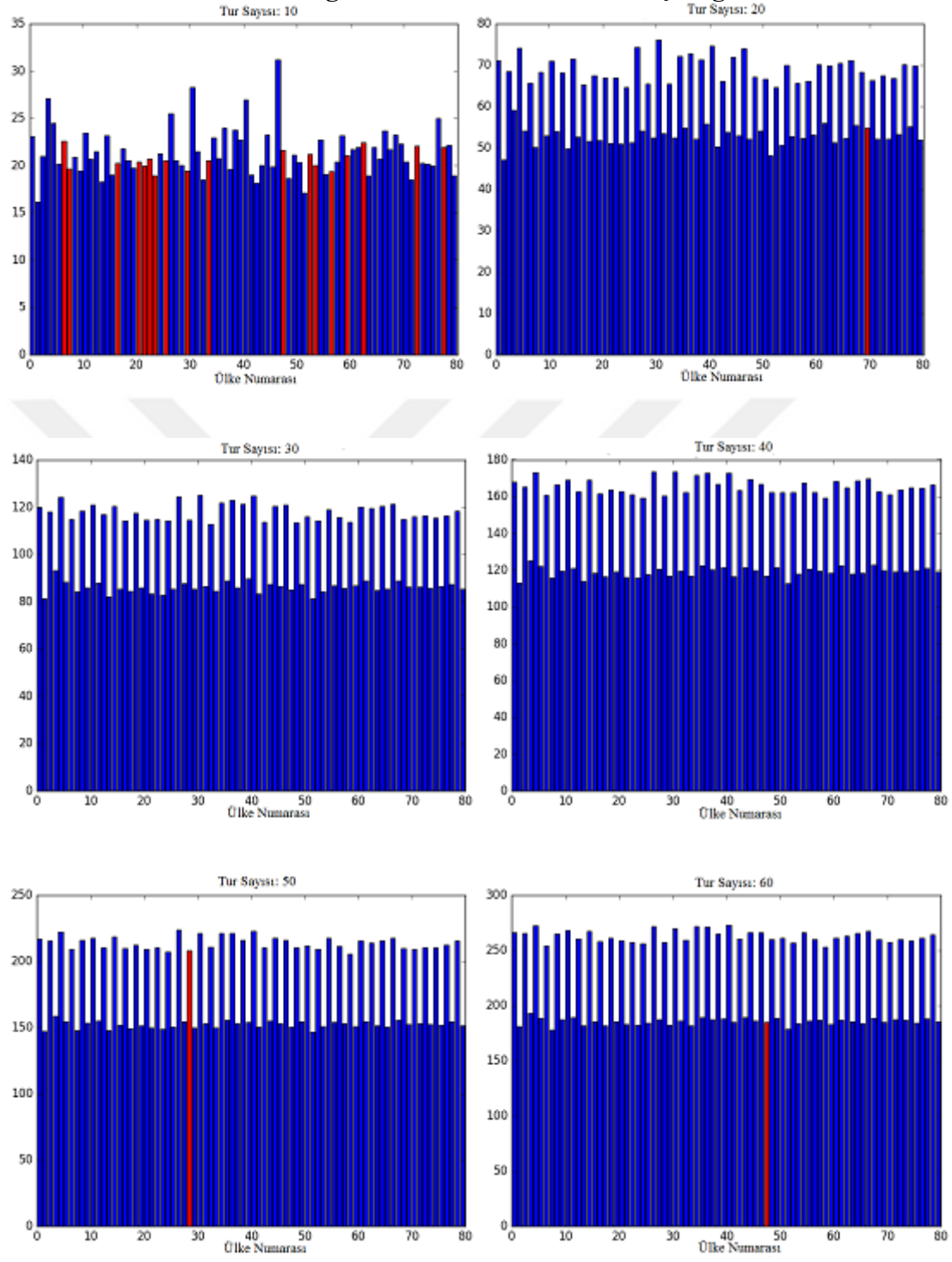
Uygulamanın ikinci basamağı olan bu kısımda öncelikle uluslararası ticaretin ajan-temelli ağ modeli ile simülasyonunun yapılabilmesi için gerekli olan davranış kuralı, evrimsel oyunlarda en iyi sonucu verdiği düşünülen kısasa kısas stratejisine göre seçim yapabilmeyi sağlayacak kazanç değerinin hesaplanması için Tablo 5. 2. kullanılmıştır. Tablo 5. 2.'de belirtilen kazanç farklarının gözlenebilmesi için de, daha önce belirtildiği gibi A ve B olarak iki gruba ayrılan ülkeler, A'nın insani gelişmişlik endeksi > B'nin insani gelişmişlik endeksi olmak üzere; düzenli halka topolojisi

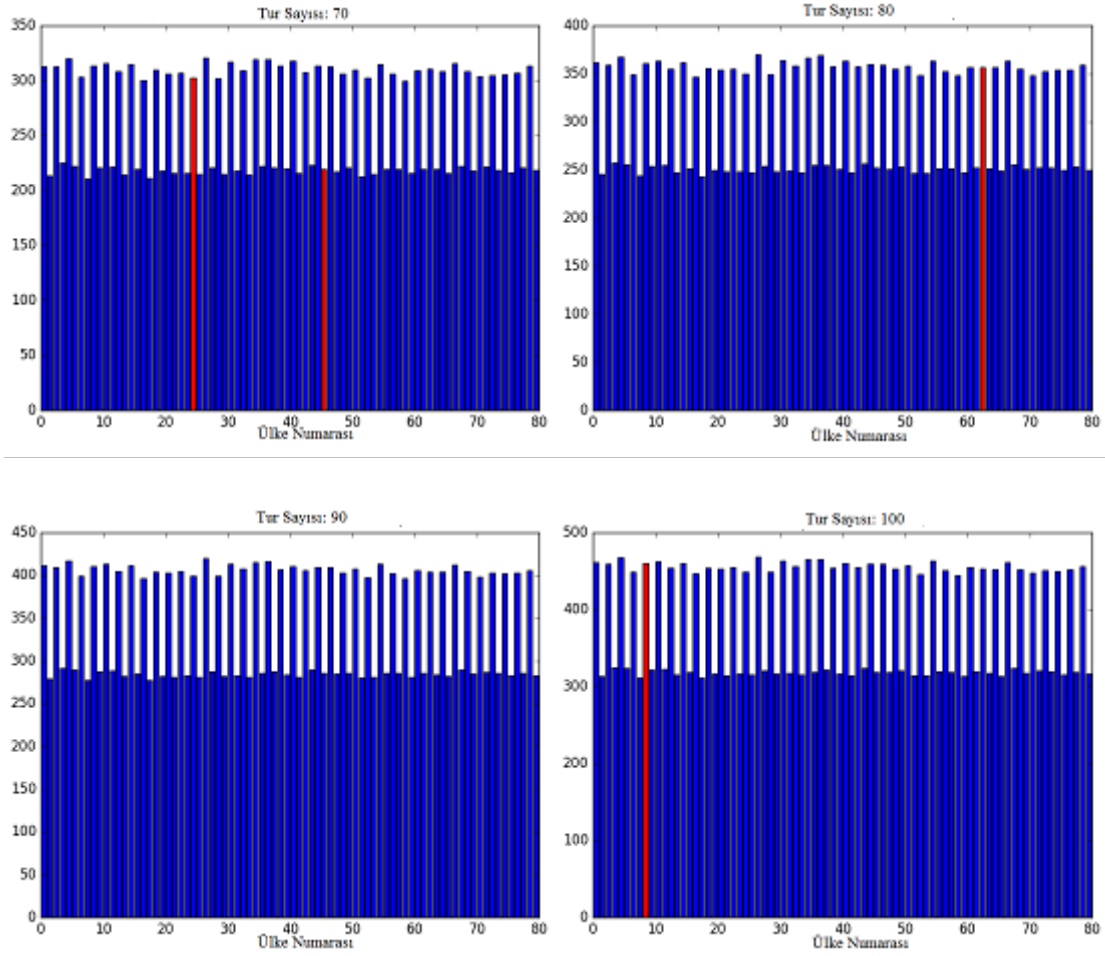
üzerinde A,B,A,B şeklinde sıralanacaktır. Böylece, bu dizilim ve Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını yansıtan kazanç matrisinin kullanılması ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaret ilişkin bulgular elde edilmiş olacaktır.

Bu noktada ilk modelde küçük dünya ağının tespiti için yapılan çalışma, ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı gibi değişkenler düğüm sayısı ve ağın yapısı değişmediği müddetçe kazançlardan bağımsız olarak belirlendiği için, bu model için de kullanılmıştır. Bu sebeple ağ modeli öncelikle, küçük dünya ağı özelliğini gösterdiği 201-300 bağlantı arasında 100 tur, her tur 1 bağlantı eklenmesi koşulu ile çalıştırılmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen birikimli kazançlar Tablo 5. 13.'de gösterilmektedir.

Tablo 5. 13.'de iki oyunculu mahkûm ikilemi oyunu Prebisch-Singer hipotezinin iddiası doğrultusunda hazırlanan kazanç matrisi değerleri ve çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu için Denklem 5. 4 ve Denklem 5. 5'te verilen kazanç fonksiyonlarından elde edilen değerlerin toplamını ifade eden kazanç değerleri, her tur için hesaplanarak birikimli olarak verilmektedir. Burada dikkat çeken ilk önemli nokta, her ne kadar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası kazanç farkları modele yansıtılmış olsa da bu farkların ilk 10 turluk dönemde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında belirgin bir ayrışma yaratmadığıdır. İkinci 10 turluk dönem sonunda ise, az miktarda da olsa bazı gelişmiş ülkelerin bazı gelişmekte olan ülkelerle aynı kazançları elde edebildiği görülmektedir. Bu iki ülke grubu arasındaki fark 30. turun sonundan itibaren iyice belirginleşerek kazançlar arası farklar giderek açılmaktadır. Diğer bir önemli nokta ise, bir önceki modelden farklı olarak küçük dünya ağı özelliği gösteren bağlantı aralığında işbirlikli stratejinin baskın olmasıdır. Bu durumun sebebi temelde, sistemin bazı durumlarda işbirlikli stratejide olan gelişmekte olan ülkelerin, işbirlikli stratejiyi seçen komşularının işbirliksiz stratejiyi seçen komşularından daha fazla kazanç elde edebilmesine izin vermesidir. Bu durumun bir sonucu olarak işbirliksiz strateji kolayca yayılma imkânı bulamamaktadır.

Tablo 5. 13.
201-300 Bağlantı Arası Birikimli Kazanç Değerleri

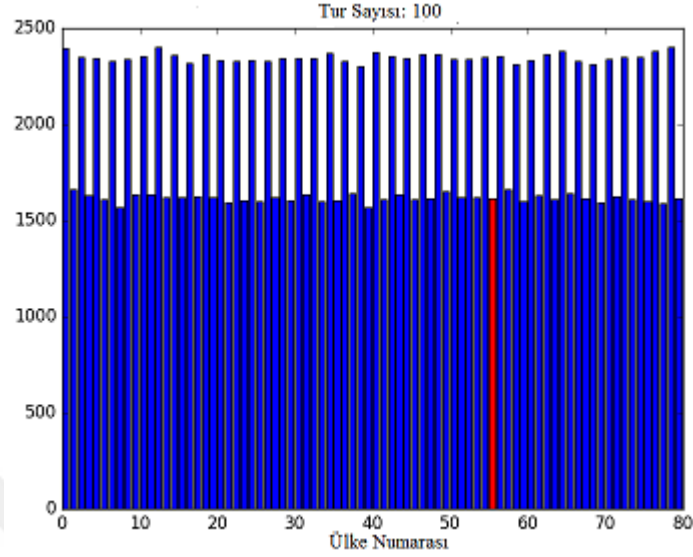




Not: İşbirliksiz stratejideki oyuncular kırmızı, işbirlikli stratejideki oyuncular mavi renk ile ifade edilmektedir.

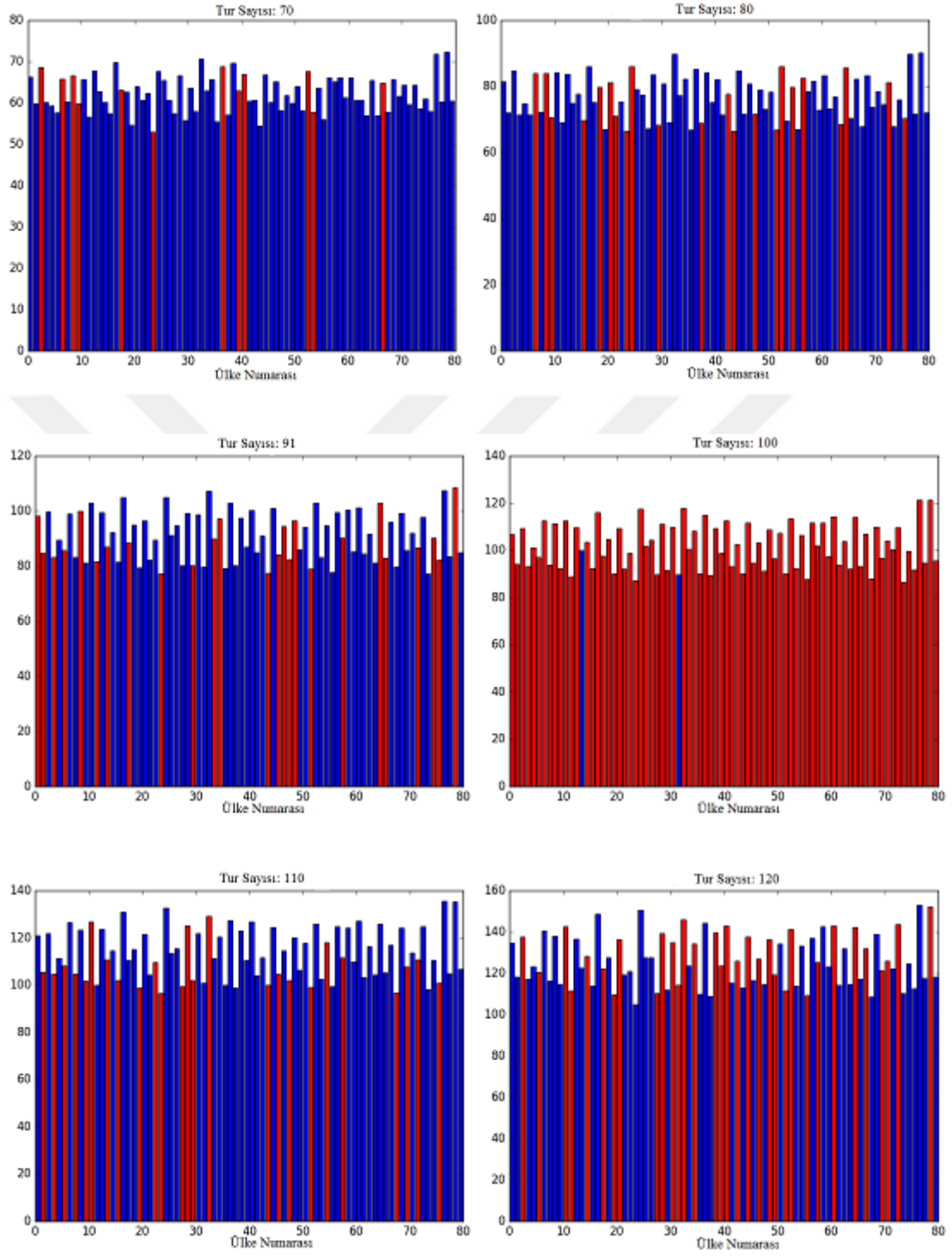
Analizin devamında 300 bağlantı eklenerek küçük dünya ağı özelliği göstermesi sağlanan sistem piyasa yapısının oturması için 100 tur bağlantı eklemeyen çalıştırılmıştır. Bu işlemin sonucunda elde edilen birikimli kazançlar ise Tablo 5. 14.'te verilmektedir. Prebisch-Singer hipotezine ait iddiayı yansıtan ağ modelinin bağlantı ekleme sürecine benzer şekilde, işbirlikli strateji baskın ve strateji dönüşümüne izin vermeksizin kazançlar arasındaki farkı açmaya devam ettiği görülmektedir.

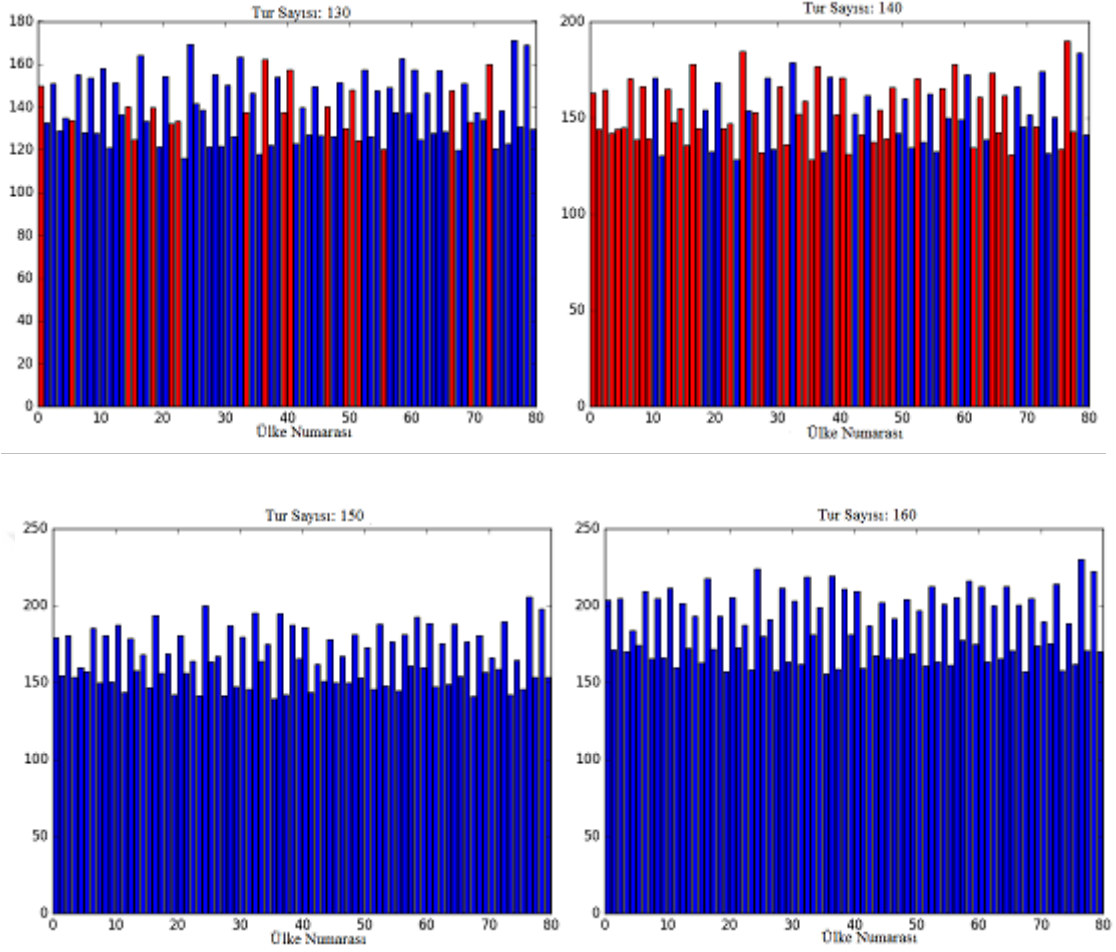
Tablo 5. 14.
Küçük Dünya Ağında 100 Tur Sonunda Birikimli Kazanç Değerleri



Bu aşamadan sonra ağ modeline yine *tesadüfi bütün ağ* modelini oluşturana kadar bağlantı eklenmiştir. Sistemin tesadüfi ağ özelliği olan düşük ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısını gösterdiği bağlantı sayısı 3060'dan ağdaki olası tüm bağlantı sayısı olan 3160'a ulaşana dek 100 turda toplam 100 bağlantı eklenerek, bu son 100 tur için kazançlar ve stratejiler gözlemlenecektir. Ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı parametrelerinin 3060-3160 bağlantı arasındaki seyri bir önceki analizde izlenmiş, 3160 bağlantıda sistemin tesadüfi ağ modeli özelliklerini gösteren *bütün ağ* olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle 3060. bağlantıdan sonra kümelenme katsayısı ve ortalama patika uzunluğunun durağan ve düşük seviyede seyrettiği Tablo 5. 11.'de gösterilmiştir. Bu sebeple ağın, tesadüfi ağ özelliği göstermeye başladığı 3060. bağlantıdan itibaren verilen birikimli kazanç değerleri Tablo 5. 15.'te gösterilmektedir.

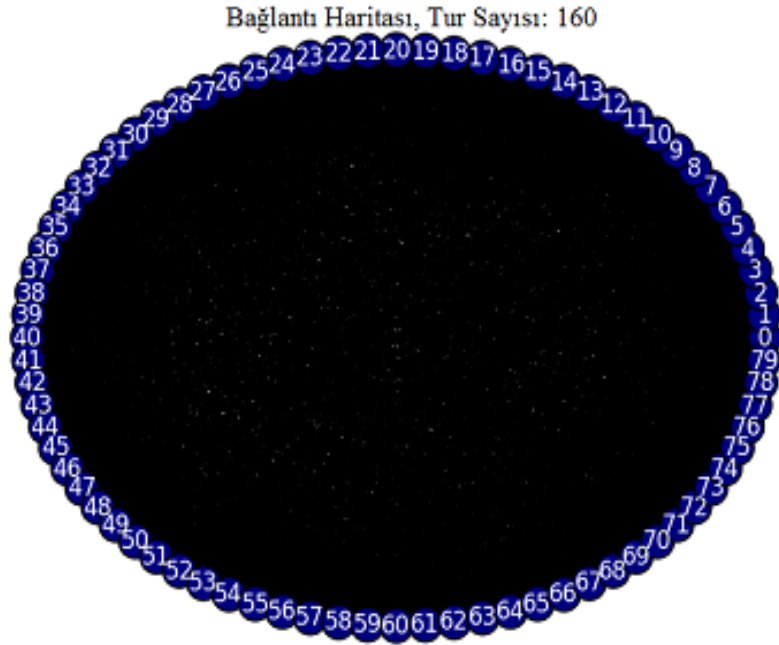
Tablo 5. 15.
Tesadüfî Ağın Birikimli Kazanç Değerleri





Not: İşbiriksiz stratejideki oyuncular kırmızı, işbirlikli stratejideki oyuncular mavi renk ile ifade edilmektedir.

Prebisch-Singer hipotezinin iddiasına göre oluşturulan modelde, küçük dünya ağlarında bir önceki modelin aksine strateji değişimi gözlenmemiş baskın stratejinin işbirlikli strateji olduğu görülmüştür. Tesadüfi ağ durumunda ise, Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını yansıtan bu model sürekli olarak işbirlikli-işbiriksiz stratejisi arasında değişim göstermektedir. Sistem sonuçta işbirlikli stratejiye dönse bile bu 160 turun büyük bölümünde işbiriksiz strateji oranı yarı yarıya daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla işbirlikli-işbirlikli stratejide ülkelerin gelişmişlik seviyelerine göre kazançlarında oluşan bu fark, tesadüfi ağ yapısında oyuncuların işbiriksiz stratejiye yönelmelerini sağlamakta ve bunun bir sonucu olarak da işbiriksiz stratejinin baskın olmasına neden olmaktadır. *Tesadüfi bütün ağ* oluştuğunda, işbirlikli stratejiye dönen sisteme ait bağlantı haritası ise Şekil 5. 15.'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 15. 3160 Bağlantı İçeren Tesadüfi Ağ Bağlantı Haritası

5. 4. Değerlendirme

Bu bölümde önceki bölümlerde ortaya çıkış süreçleri ile detaylı bilgiler verilen teoriler birleştirilerek çalışmanın ana konusunu oluşturan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticarete ışık tutmak amacı ile kompleks uyarlanabilir bir sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan kompleks uyarlanabilir sistemin analizinde kullanılan ajan-temelli modelin topolojisi için ise ticaret ilişkilerini modellemede başarılı olan ağ yapısı uygun bulunmuştur. Sonuç olarak da gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaret ajan-temelli ağ modeli ile analiz edilmiştir.

Bu analizin oluşumuna kaynak olan iktisadi iddia ise Prebisch-Singer hipotezinin iddiasıdır. Prebisch-Singer hipotezi, özellikle iktisatta ortodokstan düşünceden heterodoksa geçiş sürecinin bir yansıması olarak gelişim ve kalkınma üzerine var olan düşüncelerin değişimi ve II. Dünya Savaşı sonrası azgelişmiş/gelişmekte olan ülkelerin bağımsızlığına kavuşması ile ortaya çıkan azgelişmiş/gelişmekte olan ülkelerin gelişmiş ülkelere düzeyine erişebilmesi için ortaya çıkan hipotezlerden birisidir. Prebisch-Singer hipotezi temel olarak, uzun dönemde ticaret hadlerinin ilksel mal üreten gelişmekte olan ülkelerin aleyhine işlerken, imalat

sanayi üretimi yapan gelişmiş ülkelerin lehine işleyeceğini belirtmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretten gelişmiş ülkelerin her zaman daha çok karlı çıkacağını belirten hipotez, çözüm önerisi olarak ilksel mal üreten gelişmekte olan ülkelere sanayileşme ya da ithal ikameci politikalar (ISI) ile (ya da her ikisini birleştirerek) ilksel mal ihracatı yapısının olabildiğince değiştirilmesini tavsiye edilmiştir.

Bu noktada öncelikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretin analiz edilmesi için oluşturulan ajan-temelli ağ modelinde, ajanlara ilişkin davranış kuralları belirlenmiştir. Bu davranış kurallarının oluşturulmasında ise devreye evrimsel oyun teorisi girmiştir. Bu amaçla başlangıçta Conybeare (1987) tarafında uluslararası ticaretin oyun teorisi ile ele alınış biçimi olarak kurgulanan mahkûm ikilemi oyunu, Axelrod (1984)'un en iyi sonucu veren evrimsel stratejisi olan kısasa kısas stratejisine uyarlanıp modele dâhil edilmiştir. Oluşturulan ağ yapısı üzerinde kısasa kısas stratejisi ile her yeni tur için işbirlikli/işbiriksiz stratejilerinden birini seçen ajanlar, bunu yaparken doğal olarak bağlı oldukları düşünülen sağ ve solunda bulunan komşuları ile toplamda iki tane iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu, ağda bağlı bulunduğu tüm ülkelerle ise kazanç fonksiyonları Oh(2015) tarafından belirlenen çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu oynamaktadır. Eş zamanlı olarak oynanan bu üç oyundan elde ettiği toplam kazancını ise kısasa kısas stratejisine uygun olarak sağ ve solundaki oyuncuların kazançları ile karşılaştırarak, kendi kazancı büyük veya eşitse bulunduğu stratejide kalmak, küçük ise strateji değiştirmek şeklinde bir davranış sergilemektedir.

Belirtilen davranış kuralı çerçevesinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticareti analiz etmek için oluşturulan ajan-temelli model, öncelikle ülkeler arası gelişmişlik farkları dâhil edilmeden analiz edilmiştir. Burada amaç ajan-temelli modelin doğrulama ve geçerliliğinin sağlanmış olduğunun kontrol edilmesi ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin analizinde ortaya çıkacak göstergelerin doğruluğunu kontrol etme imkânı sağlanmış olmasıdır. Ayrıca oluşturulan bu yapının gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için uyarlanması sırasında yapılan düzenlemelerin görülmesi imkânı sağladığından, burada kullanılan kompleks uyarlanabilir sistemin başka oyun türleri veya başka iktisadi konular için yenilenerek kullanılmasının önünü açmaktadır.

Belirlenen analiz adımları çerçevesinde davranış kurallarının ülkeler arası gelişmişlik farklarını yansıtmayan kazanç matrisi tarafından belirlendiği ilk modele, tesadüfîlik oranı $p=0$ olan düzenli bir ağ ile başlanarak, gerçek dünya piyasalarını temsil ettiği düşünülen küçük dünya ağları özelliklerini gösteren tesadüfîliğe ulaşmak için Newman-Watts yöntemi ile kısayollar eklenmiştir. Daha sonra günümüz dünyasında uluslararası ticaretin ağ modeli olarak kurgulanmasında iyi bir temsilci olduğu düşünülen (Backstrom, Boldi, Rosa, Ugander ve Vigna, 2012; Willhite, 2001) küçük dünya ağlarının tespiti için her eklenen kısayolda ağın ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı hesaplanmış ve 201-300 bağlantı aralığında küçük dünya ağları özelliklerine ulaşıldığı görülmüştür. Daha sonra, küçük dünya ağları özelliklerini temsil eden bağlantı sayısı 300 olarak kabul edilerek, sistem 300 bağlantıda 100 tur çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu elde edilen en önemli bulgu, söz konusu ağ modeli için sistem küçük dünya ağında 100 tur çalıştırıldığında baskın stratejinin işbirliksiz olduğudur. Bu noktada bu ağ modelinin, evrimsel stratejilere rağmen mahkûm ikilemi oyununun orijinalindeki baskın strateji Nash dengesine sadık kaldığı ve evrimsel stratejilerin işbirlikli olmanın riskini ortadan kaldırmayarak oyuncuları işbirliksiz strateji sonucuna götürdüğü söylenebilir.

İkinci olarak, modelin günümüz dünyasında tamamen karmaşık ilişkiler yapısından oluşan uluslararası ticaretin, ticaret ağlarının genişlemesi ile düşük ortalama patika uzunluğu ve kümelenme katsayısı gösterebilecek olması varsayımından, sistem tamamen uç bir durumu ifade eden tesadüfî ağ varsayımı altında *bütün ağ* oluşturana kadar çalıştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle tesadüfî ağ özelliklerini gösterdiği kesin olan bağlantı sayısı tespit edilmiş ve sistem bu bağlantı sayısından olası tüm bağlantılar sağlanana kadar çalıştırılmıştır. Elde edilen kazanç tabloları tesadüfî ağ varsayımı altında sistemdeki işbirlikli stratejide kalma süresinin arttığı ve sistemin sonunda mutlaka işbirlikli stratejiye döndüğü sonucunu vermektedir. Yani tesadüfî ağ varsayımı altında uluslararası ticaretten kazanç sağlamak isteyen ülkelerin sonunda işbirlikli stratejide kalması, dünya ticaretini yöneten, başta Dünya Ticaret Örgütü (WTO) olmak üzere diğer aktörlerin uluslararası ticarete tercihli veya serbest ticaret anlaşmalarının yaygınlaşmasını desteklemesini de açıklayabilmektedir. Çünkü küçük dünya ağları işbirliksiz strateji ile sonuçlansa da, aslında işbirlikli strateji toplam ticaret hacmini,

toplam kazancı arttırmakta ve yükselen ticaret hacmi aracılığı ile dünya refahını arttırmaya kendini adanmış WTO gibi organizasyonların politikalarını açıklamaktadır. Bu yönüyle analiz, evrimsel stratejilere rağmen hem mahkûm ikilemi oyununun hem de uluslararası ticaretin klasik anlamdaki ön kabullerini destekler nitelikte işbirlikli stratejiye dönülmesi şeklinde sonuçlanmaktadır. Böylece modelin programlama hatalarına duyarlı olmasına rağmen, beklenen sonuçlara uyum sağlaması yönüyle tasarlanan ve amaçlanan şekilde çalıştığı anlaşıldığından doğrulanması yapılmış olmaktadır. Bunun yanı sıra gerçek dünya için artan serbest ve bölgesel ticaret anlaşmalarının sayısı düşünüldüğünde, sürekli işbirlikli stratejiye dönüşün modelin geçerliliğini de sağlamış olduğu anlaşılmaktadır.

Analizin ikinci bölümünde Prebisch-Singer hipotezinin iddiası olan gelişmiş ülkelerin ticaretten, azgelişmiş ülkelere daha fazla kazanacağı görüşünün modern yorumu olan gelişmiş ülkelerin ticaretten, gelişmekte olan ülkelere daha fazla kazanacağı görüşü ele alınmıştır. Bu görüşe istinaden, ticaret hadlerini ifade eden mahkûm ikilemi oyunu kazanç değerleri yeniden yapılandırılarak ajanların davranış kurallarını belirlemek için kullandıkları kısasa kısas stratejisi kapsamında kullanılarak ağ modeline dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ilk olarak küçük dünya ağı özellikleri gösteren 201-300 bağlantı arasında sistemde ilk modelin aksine işbirlikli stratejinin baskın olduğudur. Bunun nedeni bazı durumlarda gelişmekte olan ülkelerin işbirliksiz gelişmiş komşularının, işbirlikli gelişmiş komşusundan daha az kazanmasıdır. Bu nedenle ilk modeldeki gibi baskın stratejinin işbirliksiz olması burada söz konusu olamamaktadır. Ülkeler, karşılarındaki oyuncunun işbirliksiz oynama riskine rağmen evrimsel stratejileri olan kısasa kısas stratejisinin etkisi ile işbirlikli stratejide kalmaya devam etmektedirler. Küçük dünya ağı özelliklerini yansıtan bağlantı sayısının 300 olduğu varsayımı altında, ağ modeli bağlantı eklemekten 100 tur çalıştırıldığında sonuçlar değişmemekte, işbirlikli strateji yine baskın strateji olmaktadır.

Burada önemli bir nokta, modele eklenen kazanç farklılıklarının 201-300 bağlantı arasındaki süreçte ilk 10 turda belirgin farklar yaratmamış olmasıdır. 20. turun sonunda farklar gözle görülmeye başlamakla birlikte, yer yer gelişmiş komşusuyla aynı seviyede birikimli kazanç elde etmiş olan gelişmekte olan oyuncuya rastlanmaktadır.

30. tur ve sonrasındaki turlarda ise aradaki fark artarak açılmaktadır. Özetle ticaretin bu türden bir oyun olması durumunda, evrimsel stratejiler varsayımı altında ilk 10 turda üretim yapısını değiştiremeyen gelişmekte olan ülkeler, uzun vadede gelişmiş ülkelerden az kazanmaya mecbur olmaktadır. Bu durum *yükselen piyasalar* olarak adlandırılan gelişmekte olan ülkelerin ortaya çıkışını açıklamakla birlikte, Prebisch-Singer hipotezinin önerileri doğrultusunda güncel üretim yapısını değiştiren ülkelerin daha yüksek kazanç elde edebilme imkânı sağladığını doğrulamaktadır. Bu doğrultuda, üretim yapısını değiştirme ve yüksek kazancı elde edebilmek için piyasada geçirmesi gereken süre de 10 yıl olarak belirlenmektedir. Bu nedenle ilk 10 yılda ilgili şartları sağlayan yükselen piyasalar da diğer gelişmekte olan ülkelere göre ticaretten fazla kazanma imkânına sahip olacaktır. Sonuç olarak günümüz dünyasında ticaret hadleri gittikçe düşen gelişmiş ülkelerin yerini yükselen piyasaların aldığı görüşü kabul edilirse, yüksek katma değerli üretim yapan gelişmekte olan ülkeleri ifade eden yükselen piyasalar ile düşük katma değerli ürünleri üreten gelişmekte olan ülkeler arasında yapılacak ticaretten yükselen piyasaların daha kazançlı çıkacağı görüşünün geçerli olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Son olarak Prebisch-Singer hipotezi varsayımına dayalı olarak oluşturulan ağ modeli, tesadüfi ağ varsayımı için ilk modeldeki ile aynı şekilde çalıştırılmıştır. Elde edilen bulgularda strateji değişiminin sıklığı göze çarpmaktadır. Bu noktada gelişmekte olan ülkenin komşuları işbirlikli de olsa, işbirliksiz de olsa daha az kazanmasının strateji değişimini hızlandırdığı söylenebilecektir. Ancak, sonuç gelişmiş komşu açısından değerlendirildiğinde, işbirlikli stratejiden elde edilen bu kazanç farkı, işbirliksiz oynamanın riskini (işbirliksiz-işbirliksiz durumundaki az kazancı) almaya değmeyecek bir yapı ortaya çıkaracağından, gelişmiş ülkeleri işbirlikli stratejiye yönlendirecektir. Böylece işbirlikli strateji mutasyona uğramış hiçbir işbirliksiz strateji tarafından yenilemeyerek evrimsel kararlı strateji (ESS) olmaktadır. Yani gelişmekte olan ülkenin az kazanması, dönem dönem popülasyonda işbirliksiz stratejinin artış göstermesine rağmen sonucun yine aynı kalarak baskın stratejinin işbirlikliye dönmesine neden olmaktadır. Ancak işbirliğine rağmen gelişmekte olan ülkeler, kendi üretim yapıları içinde olan ürünleri değiştirmedikleri sürece, ticaretten elde edecekleri kazançları en iyileyememektedir. Bu durum ise, bir önceki modelde de sözü edilen dünya ticaretine

yön veren aktörlerce işbirliğinin özendirilmesi durumunun, piyasalarda gelişmiş-gelişmekte olan ülke ayrımı söz konusu olduğu sürece, kazanç değerlerinin ele alınan modeldeki şeklinde olması varsayımı altında, gelişmiş ülkelerin çıkarlarına hizmet eden bir politika olacağını göz önüne sermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde çalışma, gelişim seviyesi aynı olan ülkeler için küçük dünya ağlarında baskın stratejinin işbirliksiz olduğunu gösterirken, gelişim seviyesi farklı olan ülkeler için küçük dünya ağlarında bu stratejinin işbirlikli strateji olduğunu göstermektedir. Yani gelişim seviyesi aynı olan ülkelerde mahkûm ikilemi oyununun baskın stratejisi olan işbirliksiz strateji tercih edilmekte, işbirlikli olmanın riski ise ortadan kalkmamaktadır. Gelişim seviyesi farklı olan ülkelerde ise işbirlikli strateji ile oyuna başlanması, evrimsel stratejilerin etkisi ve kazanç farklılığı ile birleşerek işbirliksiz stratejiye dönmeyi zorlaştırmakta ve işbirlikli stratejiyi baskın hale getirmektedir. Bu sonuçlar, oyun teorisinin mahkûm ikilemi oyunu ile ilgili öngörülleri ile tutarlılık göstermekle birlikte, Lee, Park ve Cho (2010) tarafından yapılan ve uluslararası ticaret piyasalarının çok ajanlı modelleme ve evrimsel oyun teorisi ile ele alındığı çalışmanın sonuçları ile farklılık göstermektedir. Lee, Park ve Cho (2010) çalışmalarında, ekonomilerin kendinden çok daha güçlü ve işbirlikli ülkelere karşı, daha çok işbirliğini bozma eğilimde olurken, benzer ekonomik güçtekilere karşı işbirliğinde olma eğiliminde olduklarını belirtmektedirler.

Diğer yandan sürekli gelişen ticaret ağları ile gelecekte oluşabilecek tüm ülkelerin tüm ülkelerle ticaret bağları sağladığı varsayımsal durum için oluşturulan tesadüfi bütün ağın sonuçlarında ülkeler arası gelişim farklarının olması veya olmaması için sonuç değişmemekle birlikte, işbirlikli strateji her zaman baskın olmaktadır. Ancak bu durum ülkeler arası gelişim farklarının söz konusu olması durumunda gelişmekte olan ülkenin birikimli kazançlarının her zaman geriden gelmesi ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle günümüz dünyasında var olan ılımlı ticareti ve ticaret anlaşmalarını özendirme politikaları, ülkeler arası gelişim farkları kapanmadığı sürece zaten gelişmiş olan ülkeleri daha da ileriye götürürken, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki farkların asla kapanamamasına yol açmaktadır.

6. SONUÇ

Özellikle son birkaç yüzyılda matematik, fizik, biyoloji gibi deneysel bilgiye dayalı bilimlerde yaşanan teorik gelişmeler, diğer bilim dallarını etkileyerek disiplinler arası yeni çalışma alanlarını ortaya çıkarmıştır. Bu durumun sosyal bilimlere bir yansıması olarak iktisat bilimi içinde disiplinler arası çalışmaların çoğalması ile sonuçlanmıştır. Bu çalışmalar, aynı zamanda iktisat bilimi içerisinde o güne kadar var olan tam bilgili rasyonel birey varsayımını reddederek var olan düşüncenin ortodoks olarak adlandırılması bağlamında, bu düşünceden ayrılarak heterodoks oluşturmuştur. Bugün bu ortodoks düşünce anlayışını neoklasik iktisat temsil etmektedir. Ortaya çıkan heterodoks düşüncelerin bazıları ise neoklasik iktisat ekseninden çıkmayarak sadece var olan sınırlayıcı varsayımları eleştirmesi yönü ile heterodokslaşmakta, bu nedenle de yerleşik iktisat içindeki heterodoks iktisat adı ile anılmaktadır. Yeni heterodoks iktisat ise başta belirtildiği gibi temellerini diğer bilimlerdeki gelişmelerden alarak iktisadi konuları inceleyen düşünce okuludur.

Yeni heterodoks iktisat okulları kapsamındaki çalışmalar özellikle kompleksite ve evrim düşüncelerinin gelişimi ile birlikte artış göstermiştir. İktisadi olayların kompleks yapılar arz ettiğini ifade eden düşünüş biçiminin yaygınlaşması, özellikle kompleks yapıların içerdiği evrim düşüncesinin analizi için geliştirilen evrimsel oyun teorisinin de paralel şekilde gelişim göstermesi ile sonuçlanmıştır.

Bu bağlamda iktisattaki Ortodoks düşüncelere yönelik eleştirilerle ortaya çıkan heterodoks iktisat ile benzer şekilde klasik oyun teorisine getirilen eleştirilerde evrimsel oyun teorisini ortaya çıkartmıştır. Evrimsel oyun teorisi klasik oyun teorisinin varsayımlarını eleştirirken yerlerine varsayımdan daha ziyade esnek kuralları anımsatan ve analizlerin bir anlamda gerçek dünyaya yakınlaşmasını sağlayan kuralları koymaktadır. Sonuç olarak, yapılacak uygulamaya yönelik olarak yeni heterodoks iktisat bağlamında oyun teorisini varsayımlarını değiştirmesi, evrimsel oyun teorisinin

kompleks uyarlanabilir sistemler içine entegre edilerek kullanılması ile sonuçlanacaktır. Bu durum evrimsel oyun teorisinin kompleksite iktisadı içerisinde gelişen ve iktisadi yapıların analizini sağlayan kompleks uyarlanabilir sistemlerin içerdiği evrim düşüncesini ifade etme yeterliliği açısından kompleks uyarlanabilir sistemlere dâhil edilerek, kompleks iktisadi ilişkilerin analizinde kullanılmasının önünü açmaktadır.

Yeni heterodoks iktisat kapsamında ele alınan kompleksite iktisadının barındırdığı kompleksite ve evrim düşüncelerinin bir sentezi olarak ortaya çıkan kompleks uyarlanabilir sistemlerin analizi için ajan-temelli modelleme ve onun analitik destekleyicisi olan ağ modelleri, hesaplanabilir yöntemler sunabilmektedir. Bu bağlamda ajan-temelli modelleme öncelikle ajan, ajan ve diğer ajanlar arasındaki etkileşimler ve ajanla çevresi arasındaki ilişkilerin tanımlanmasını gerektirirken, ajanın diğer ajanlar ve çevresi ile olan etkileşimleri ağ topolojisi üzerinde ifade edilebilmektedir. Bu noktada sistemin içerdiği evrim düşüncesi ajanların kendi kendini uyarlayabilme yeteneğine sahip olduğunu varsayması nedeniyle, ajan ve diğer ajanlar arasındaki etkileşimleri belirleyen davranış kurallarınca ifade edilmektedir.

Çalışma bu bağlamda ele aldığı iktisadi konu olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticareti incelemek için kompleks uyarlanabilir sistem oluşturmaktadır. Oluşturduğu bu sistemi ise ajan-temelli ağ modeli ile analiz etmektedir. Analiz bu noktada, ele aldığımız iktisadi konu olan ülkeler arası ticaret ilişkilerini gerçek dünyadaki kompleks ilişkileri en iyi yansıttığını düşündüğümüz kompleks ağ modeli olan küçük dünya ağı olarak ortaya koymaktadır.

Ajan ve diğer ajanlar arasındaki etkileşimleri belirleyen davranış kurallarının çerçevesinde modele yansıtılması gereken evrim ise çalışma kapsamında, ajanların davranış kuralı olarak, ticaretin ifadesinde kullanılan mahkûm ikilemi oyunu kazançlarına evrimsel strateji olan kısasa kısas stratejisini uygulaması ile ifade edilecektir. Bu noktada çalışmanın ilk ve en önemli amacı, evrimsel stratejileri davranış kuralı olarak benimseyen diğer çalışmalardan referansla (Alexander, 2007; Oh, 2015), ajan-temelli ağ modeli oluşturması ve bu model üzerinde ülkeler arası ticareti incelemeyi mümkün hale getirmesi ile alternatif bir analiz yöntemi ortaya koymaktır.

Oluşturulan ajan-temelli ağ modeli çerçevesinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretin incelenmesinde, azgelişmiş ülkeler için gelişim ve kalkınma teorileri üreten yerleşik heterodoks iktisat içerisinde azgelişmişlik teorileri üreten yapısalcı okulun, kalkınmaya ilişkin görüşünün simgesi olan Prebisch-Singer hipotezinin iddiası kullanılacaktır. Prebisch-Singer hipotezi genel olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ticaretten gelişmiş ülkelerin her zaman daha çok kazanacağını belirtmektedir. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler için, iç piyasanın geliştirilerek sanayileşme ya da ithal ikameci politikalar (ISI) ile ilksel mal ihracat yapısının olabildiğince değiştirilmesini tavsiye etmektedir (Singer, 1949; 1950). Çalışmanın giriş bölümünde sözü edilen bir diğer amacı da, ele aldığı iktisadi konu olan, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası uluslararası ticaretin analizinde Prebisch-Singer hipotezinin iddiası çerçevesinde, alanda yer alan güncel tartışmalara katkı sağlayabilmektir. Ancak bu noktada analiz türü itibarı ile Prebisch-Singer hipotezinin iddiasının gerçek olması durumunda ortaya çıkabilecek sonuçlar için öngörü yapmakta olup, tartışmalara katkısının elde edilecek öngörülerin günümüz dünyası ticaret yapısı ile ilişkilendirilerek yorumlanması şeklinde olacağı dikkatten kaçmamalıdır.

Prebisch-Singer hipotezinin iddiası ajan-temelli ağ modelinde, davranış kuralı olarak belirlenen evrimsel stratejilerin elde edileceği kazanç matrisi değerlerinin değiştirilmesi ve ağ üzerindeki ajanlara tanımlanacak gelişmişlik kodları ile analizi mümkün hale gelmektedir. Çalışma, bu tür farklılıkların evrimsel stratejilerin davranış kuralı olarak belirlendiği ajan-temelli ağ modeline nasıl yansıtılabileceğine dair, Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını ele alarak yaptığı analiz ile diğer çalışmalardan ayrılarak alan yazına katkıda bulunmaktadır. Buradan evrimsel stratejilere dayanan ve ağ modeli ile kurgulanması mümkün olan konularda yapılacak analizlere alternatif bir çözüm yöntemi olarak ajan-temelli ağ modellerini sunmakta olan çalışma, ele alınacak konunun kendine has farklılıklarının da ağ modeline yansıtılabileceğini göstermesi açısından da önem taşımaktadır. Bu yönüyle, başlangıçta kendinden beklenene uygun olarak mahkûm ikilemi dışındaki oyunlara evrimsel stratejilerin uygulanması ile davranış kuralları oluşturulabilecek diğer iktisadi konuların incelenmesinde de alternatif bir yöntem teşkil etmesi bakımından kendinden sonra gelecek çalışmalara katkı sağlamış olmaktadır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticaretin incelenmesi için oluşturulan ajan-temelli ağ modeli ilk etapta, klasik iktisat görüşünün ifadesi olarak ülkeler arası gelişim farkları göz ardı edilerek analiz edilmiştir. Bu analizde davranış kuralı olarak belirlenen kısasa kısas stratejisi ülkeler için, 2 tanesi sağ ve sol komşusu ile oynayacağı iki kişilik mahkûm ikilemi oyunu, 1 tanesi bağlı olduğu tüm ülkelerle oynayacağı çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu olmak üzere; eş zamanlı oynanan bu 3 oyunun kazançları toplamı tarafından belirlenmiştir. Burada çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazancının belirlenmesinde Oh(2015) tarafından belirlenen kazanç fonksiyonları kullanılırken, iki kişilik mahkûm ikilemi kazançları ise klasik iktisadın ticarete ilişkin görüşünü olarak ülkeler arası gelişmişlik farkı göz etmeyen, Tablo 5. 1.'de verilen kazanç matrisi değerlerinden elde edilmiştir. Bu analizin yapılması ajan-temelli modelin doğrulanması ve geçerliliğinin kontrol edilmesini sağlamasının yanında, ülkeler arası gelişmişlik farklarının dâhil edilmesi ile yapılan ikinci adımdan elde edilen bulguların karşılaştırılabilmesi için referans değerlere ulaşılmasını sağlamıştır.

İkinci adımda ise gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticarete ilişkin Prebisch-Singer hipotezi iddiası incelenmiştir. Bu bağlamda davranış kuralı olarak belirlenen kısasa kısas stratejisini belirleyen toplam kazanç için gerekli olan çok oyunculu mahkûm ikilemi oyunu kazancı yine Oh(2015) tarafından belirlenen kazanç fonksiyonları ile hesaplanırken, iki kişilik mahkûm ikilemi kazançları ise bu kez Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını yansıtan kazanç matrisi olan Tablo 5. 2.'den elde edilmiştir.

Analizin ilk adımında, düzenli bir ağ ile başlanan sürece, gerçek dünya piyasalarını temsil ettiği düşünülen küçük dünya ağı özellikleri gösterene kadar Newman-Watts yöntemi ile kısayollar eklenmesi sonucu, 201-300 bağlantı aralığında küçük dünya ağlarına ulaşıldığı görülmüştür. Daha sonra, küçük dünya ağı özelliklerini temsil eden bağlantı sayısı 300 olarak kabul edilerek, sistem 300 bağlantıda 100 tur çalıştırıldığında baskın stratejinin işbirliksiz olduğu görülmüştür. Yani gerçek dünya piyasalarını temsil ettiği düşünülen küçük dünya ağları, klasik iktisadın öngördüğü gibi ülkeler arası gelişmişlik farklarının ticaretteki kazançlar için bir fark yaratmaması durumunda, ülkelerin işbirliksiz stratejiyi seçeceklerini ortaya çıkartmıştır. Bu noktada

bu ağ modelinin, evrimsel stratejilere rağmen mahkûm ikilemi oyununun orijinalindeki baskın strateji Nash dengesine sadık kaldığı ve evrimsel stratejilerin işbirlikli olmanın riskini ortadan kaldırmayarak oyuncuları işbiriksiz strateji sonucuna götürdüğü söylenebilir.

Rastgele seçilen düğüm ikilileri arasında bağlantı olma olasılığı 0'da 1'e doğru yaklaştırıldığında ortalama patika uzunluğu < kümelenme katsayısı olduğu noktada ortaya çıkan küçük dünya ağları durumu teoride, dünya üzerindeki sosyal ilişkileri en iyi modelleme yeteneğine sahip ağ modeli olarak ifade edilmektedir. Bu olasılık 1'e yeterince yakın olduğunda ise ortaya çıkan ağ modeli, rastgele seçilen düğüm ikilileri arasında bağlantı olasılığı yükselmiş ve bu nedenle tesadüfiliği arttırılmış, tesadüfi bir ağ olacaktır. Sistem tesadüfi ağ özelliği gösteren bağlantı sayısından alınarak, olası tüm düğüm ikilileri arasında bağlantının sağlandığı *bütün ağ* oluncaya kadar çalıştırıldığında ise, işbiriksiz stratejide olma durumu değişmiş sistem her seferinde oyuncuların işbirlikli stratejiye dönmeleri ve bu stratejide kalma sürelerinin uzaması ile sonuçlanmıştır. Bu durum, tüm ülkelerin diğer tüm ülkelerle ticaret yaptığı varsayımı altında uluslararası ticaretten kazanç sağlamak isteyen ülkelerin sonunda işbirlikli stratejide kalmasını ifade etmektedir. Bu bağlamda başta Dünya Ticaret Örgütü (WTO) tarafından olmak üzere uluslararası ticarete tercihli veya serbest ticaret anlaşmalarının yaygınlaşması için yapılan çalışmaları da açıklayabilmektedir. Modelin klasik iktisadi görüşün mahkûm ikilemi için yaptığı öngörülerini destekleyen sonuçlara ulaşması programlama hatalarına duyarlı olmasına rağmen, beklenen sonuçlara uyum sağlaması anlamında tasarlanan ve amaçlanan şekilde çalıştığı göstererek, modeli doğrulamış olmaktadır. Aynı zamanda ticaretten elde edilecek kazancın arttırılması için işbirliğinin özendirilmesi sonucu artan serbest ve bölgesel ticaret anlaşmaları ile gerçek dünya politikaları ile gösterdiği uyum açısından geçerli olduğunu da göstermektedir.

Analizin ikinci adımında ise Prebisch-Singer hipotezinin iddiasını incelemeye yönelik olarak, mahkûm ikilemi oyunu kazanç değerleri gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ayırımına göre yeniden yapılandırılarak (Tablo 5. 2.) ajanların davranış kurallarını belirlemek için kullandıkları kısasa kısas stratejisi kapsamında kullanılarak ağ modeline dâhil edilmiştir. Elde edilen bulgular öncelikle küçük dünya ağı özellikleri gösteren

201-300 bağlantı arasında sistemde ilk modelin aksine işbirlikli stratejinin baskın olduğunu göstermektedir. Ülkeler, karşısındaki oyuncunun işbiriksiz oynama riskine rağmen evrimsel stratejileri olan kısasa kısas stratejisinin ve kazanç matrisindeki farkın etkisi ile işbirlikli stratejide kalmaya devam etmektedirler. 300 bağlantıda piyasa yapısının oturması için yeni bağlantı eklemekten 100 tur çalıştırıldığında ise sonuçlar yine değişmemekte ve işbirlikli strateji baskın strateji olmaktadır.

Gerçek dünya piyasalarına ilişkin fikir veren bu modelde en önemli noktalardan birisi sistemdeki ülke farklılıklarına rağmen birikimli kazançlardaki farklılıkların 10. turdan sonra fark edilir hale gelmesidir. Dahası, 20. tura kadar gelişmiş komşusu ile aynı kazançları sağlamış geliştirmekte olan ülkeler gözlemlenmektedir. Bu durum Prebisch-Singer hipotezi kapsamında düşünüldüğünde ülkeler arası gelişmişlik farklarının veri dönemden başlanmak üzere 10 yıl boyunca ülkeler arasında kazanç farkı yaratmadığı, ancak 20 yıldan sonra farkların gözle görülür biçimde açılmasına sebep olduğu söylenebilir. Bu durumda bu 20 yıl içinde Prebisch-Singer hipotezinin önerisi dâhilinde üretim yapısında değişiklik yapamayan geliştirmekte olan ülkeler, 20 yılın sonunda ticaretten gelişmiş ülkelerden daha az kazanç elde eden bir konuma mahkûm kalacaklardır. Dolayısıyla Prebisch-Singer hipotezinin önerileri doğrultusunda güncel üretim yapısını ilk 20 tur içinde emek yoğunundan sermaye yoğununa kaydıran ülkeler, ticaretten gelişmiş ülkeler kadar kazanç elde edebilme imkânı elde etmiş olacaklardır. Bu durum *yükselen piyasaların* ortaya çıkış sürecini de açıklamaktadır. Ticaretten gelişmiş ülkeler kadar kazanç sağlayan yükselen piyasalar günümüz dünyasında ticaret hadleri gittikçe düşen gelişmiş ülkelerin yerini yükselen piyasaların aldığı görüşünü doğrulamaktadır. Böylece gelişmiş ve geliştirmekte olan ülkeler arasındaki ticarete benzer ilişki, yüksek katma değerli üretim yapan geliştirmekte olan ülkeleri ifade eden yükselen piyasalar ile düşük katma değerli ürünler üreten geliştirmekte olan ülkeler arasında yapılacak ticaretten yükselen piyasaların daha kazançlı çıkması şeklinde ortaya yeniden ortaya çıkmaktadır. Bu yönüyle çalışma, Arrighi, Silver ve Brewer (2003), Witowska (2016) gibi araştırmacıların çalışmalarını destekler nitelikte, Prebisch-Singer hipotezinin iddiasının günümüz şekil değiştirerek, yüksek katma değerli üretim yapan geliştirmekte olan ülkeleri ifade eden yükselen piyasalar ile düşük katma değerli ürünler

üreten gelişmekte olan ölkeler arasında yapılan ticaret için halen geçerli olduğu sonucuna ulaşmaktadır.

Son olarak Prebisch-Singer hipotezi varsayımına dayalı olarak oluşturulan ağ modeli, tüm ölkelerin diğeri tüm ölkelerle ticaret yaptığı tesadüfi bütün ağ varsayımı için ilk modeldeki ile aynı şekilde çalıştırılmıştır. Elde edilen bulgularda strateji değışiminin sıklığına rağmen işbiriksiz stratejinin baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum kazanç yapılarından dolayı işbiriksiz stratejinin istilacı olamamasından kaynaklanmaktadır. Çünkü bu model, ilkinden farklı olarak işbirlikli stratejide olan gelişmekte olan ölkelerin işbirlikli komşusunun, kimi zaman işbiriksiz komşusundan daha fazla kazanmasına izin verebilmektedir. Ancak işbirliğine rağmen gelişmekte olan ölkeler, üretim yapılarını ürünleri değıştirmedikleri sürece, ticaretten elde edecekleri kazançları en iyileyememektedir. Bu günümüzde dünya ticaretine yön veren aktörlerce işbirliğinin özendirilmesine karşın, piyasalarda gelişmiş-gelişmekte olan ölkeler ayrımı söz konusu olduğu sürece bu durumun gelişmiş ölkelerin çıkarlarına hizmet eden bir politika olmaktan öteye gidemeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle bu politika, gelişmekte olan ölkelerin kendilerine has üretim yapılarını ve ticaret politikalarını oluşturmaları için destek verilmediğı sürece, gelişmekte olan ölkeler için bir anlam ifade etmemektedir. Bu sonuç Lee (2011, s. 867)'nin çalışması sonucu elde ettiğı bulgular sonucu sunduğı önerilerle benzer ve tutarlıdır. Özellikle WTO'nun 2005 yılındaki Doha Turu'ndan sonra uygulamaya koyduğı, tarım ürünleri gibi emek yoğun ürünlerin ihracatına verdiği destekleri iptal etmesi ve tarım dışı ürünlerde tarife indirimine gitmesi gibi durumlar, gelişmekte olan ölkeleri bağımsız ekonomilere sahip olup kendilerine özel kalkınma planları hazırlamaya mecbur bırakmaktadır. Ölkeler kendi üretim yapılarını değıştirmeden ya da Singer (1949, 1950) tarafından önerildiğı gibi ürün çeşitlendirmesi yapmadan, Prebisch-Singer hipotezi varsayımının geçerli olduğu koşullar altında gelişmiş ölkelerle rekabet edebilecek duruma gelememektedirler. Lee (2011), bu çalışmanın bulgularının götürdüğü bu sonuçlara ek olarak, gelişmekte olan ölkelerin ticaretten elde edecekleri kazançları en iyilemek için kendi aralarında birleşme yoluna gitmelerini de önermektedir.

Her iki modelde, dünyadaki tüm ülkelerin, diğer tüm ülkelerle ticaret yapabildiği varsayımsal bir ortamda çalıştırıldığında, ülkeler arası ticaret anlaşmalarını simgeleyen işbirlikli stratejinin ağıın tümüne yayıldığı bir sonuç vermesi nedeniyle, işbirlikli stratejinin evrimsel kararlı strateji (ESS) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yani işbirlikli strateji mutasyona uğramış hiçbir işbiriksiz strateji tarafından yenilememektedir. Bu nedenle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arası ticarete gelişmekte olan ülkelerin birikimli kazançları düşük seyretse bile, kendileri için en uygun strateji işbirlikli olmaktır. Bu durum ise gelişmekte olan ülkeler açısından görece düşük kazanç elde edilen bir ilişkiye mahkûm olunduğunun göstergesidir.

Çalışmanın, her çalışmada olabileceği gibi bir takım sınırlamaları mevcuttur. Bu nedenle temelde kullanılan ağ modelinin simüle edilmesi şeklinde gerçekleştirildiği için, tüm simülasyon çalışmalarında olduğu gibi anlık deneylere dayalıdır. Dolayısıyla, ortaya konan sonuçların geçerliliği sadece çalışma kapsamında yapılan deneyler ile sınırlıdır. Bu nedenle benzer çalışmaların aynı tür bir yapı içinde tekrar edilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, Alexander (2007) ve Oh (2015) tarafından geliştirilen ajan-temelli ağ modeli ajanlara gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tanımlamaları yapılarak ticaret için yeniden kurgulanmıştır. Bu şekli ile ilk defa kullanılan model farklı konularda yapılacak çalışmalar ile geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Böylece oluşturulan ağ modelinin geçerliliği pekişmiş olacak ve farklı alanlara yeni katkılar sağlanabilecektir. Bu bağlamda çalışma, mahkûm ikilemi oyununa adapte edilen evrimsel stratejiler ile oluşturulan ajan-temelli ağ modeli yapısının, ileriki çalışmalarda küçük ülkelerle ticareti ifade eden tavuk oyunu ve geyik avı oyunu; egemen ve uzlaştıran ülkelerle ticareti ifade eden blöf oyun için (Snyder ve Diesing 1977; Dacey, 1994) uyarlanabilmesini olanaklı kılmaktadır. Bunun dışında evrimsel oyun teorisi ile analizi mümkün ticaret dışı konularda da ajanlara çeşitli tanımlamalar yapılarak elde edilebilecek ajan-temelli modeller için örnek teşkil etmektedir. Hem mahkûm ikilemi oyunu dışındaki oyunlara uyarlanması hem de ticaret dışı konuların analizi için kullanılabilecek olması özellikleri nedeniyle çalışma, çok geniş yelpazede bir çalışma alanına katkı sağlamış olmaktadır. Her çalışma alanının kendine has özelliklerinin

yapıya yansıtılması ile geliştirilmeye açık olduğundan, gelecek çalışmaların farklı konuları ele alarak sistemi geliştirebilmesi beklenmektedir.



KAYNAKÇA

Kitaplar

- Abdou, M., L. Hamill ve N. Gilbert. (2012). Designing and Building an Agent-Based Model. A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See ve M. Batty (Ed.). *Agent-Based Models of Geographical Systems* içinde. London: Springer, 141-165.
- Alexander, J. M. (2007). *The Structural Evolution of Morality*. New York: Cambridge University Press.
- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- Axelrod, R. ve L. Tesfatsion. (2005). A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences. K. L. Judd ve L. Tesfatsion (Ed.). *Handbook of Computational Economics Vol.2: Agent-Based Computational Economics*. Amsterdam: North Holland, 1647-1659.
- Aydınolat, E. (2011). "Sağdan Git Hep Sağdan, Kaldırımın Sağından!" Evrimsel Oyun Teorisi ve Koordinasyon Konvansiyonları. M. Kaymak ve A. Şahinöz (Ed.). *Darwin ve Evrimsel İktisat* içinde. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 41-66.
- Babylonian Talmud*. Seder Nashim, Kethuboth. <http://www.come-and-hear.com/tcontents.html> (19 Mayıs 2014).
- Barabási, A. L. (2002). *Linked The New Science of Networks*. Cambridge: Perseus Publishing.
- Barabási, A. L. (2015). *Network Science*. New York: Cambridge University Press. <http://barabasi.com/networksciencebook/> (28 Eylül 2016).
- Birner, J. (2002). A Conservative Approach to Progress in Economics. S. Boehm, C. Gehrke, H. D. Kurz vd. (Ed.). *Is There Progress in Economics?* içinde. UK: Edward Elgar Publishing.
- Björnerstedt, B.J ve J. Weibull. (1993). Nash Equilibrium and Evolution by Imitation. K. Arrow ve E. Colombatto (Ed.). *Rationality in Economics* içinde. New York: Macmillan.

- Black, J., N. Hashimzade ve M. Gareth. (2009). *A Dictionary of Economics*. (3. Basım). Oxford University Press.
- Blume, L. E. ve S. N. Durlauf. (2001) *The Economy As an Evolving Complex System, III: Current Perspectives and Future Directions*. New York: Oxford University Press.
- Boccaro, N. (2010). *Modelling Complex Systems*. New York: Springer.
- Borel, E. (1921). *Leçons sur les Fonctions*. Paris: Gauthier-Villars.
- Borel, E. (1927). *Leçons sur la Theorie des Fonctions*. Paris: Gauthier-Villars.
- Bretto, A. (2013). *Hypergraph Theory*. London: Springer
- Casti, J. L. (1997). *Would-be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science*. New York: Wiley.
- Casti, J. L. (2000). *Beş Altın Kural 20. Yüzyıl Matematiğinin Önemli Teorileri*. N. Arık (Çev.). İstanbul: Detay Basım (orijinal baskı tarihi 1996).
- Chen, S. H. ve Y.F. Kao. (2016). Herbert Simon and Agent Based Computational Economics. R. Frantz ve L.Marsh (Ed.). *Minds, Models and Milieux* içinde. UK: Palgrave Macmillan, 113-144.
- Conybeare, J. (1987). *Trade Wars*. New York: Colombia University Press.
- Cyper, J. M. ve Dietz J. L. (2009). *The Process of Economic Development* (3. Basım). New York: Routledge.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species*. London: John Murray.
- Dawkins, R. (1976). *Gen Bencildir* (9. Basım). A. Ü. Müftüoğlu (Çev.), Ankara: TÜBİTAK Yayınları (2007 tarihinde yayımlanmıştır).
- Dixit, A. ve S. Skeath. (2004). *Games of Strategy* (2. Basım). U.S.A: W.W. Norton Company Inc.
- Dosi, G. (1990). Economic Change and Its Interpretation or Is There a Schumpeterian Approach. A. Heertje ve H. Perlman (Ed.). *Evolving Technology and Market Structure* içinde. U.S.A: University of Michigan Press.
- Epstein, J. M. ve R. Axtell. (1996). *Growing Artificial Societies Social Sciences from the Bottom Up*. Washington: Brookings Institution Press.
- Eren, E. (1997). *İşletmelerde Stratejik Yönetim ve İşletme Politikası*. İstanbul: Der Yayınları.

- Eren, E. (2011). Yeni İktisatta Ortak Noktalar. E. Eren ve M. Sarfati (Drl.). *İktisatta Yeni Yaklaşımlar* içinde. İstanbul: İletişim Yayınları, 13-45.
- Fisher, R. A. (1930). *The Genetic Theory of Natural Selection*. Oxford: Clarendon Press.
- Frankel, J., E. Stein ve S. J. Wei.(1997). *Regional Trading Blocs in the World Economic System*. U.S.A.: Institute For International Economics.
- Gell-Man, M. (2008). The Rationale for Agent-Based Modelling. N. Ehrentreich (Ed.). *Agent Based Modelling The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited* içinde. London: Springer.
- Gould, S. J. (2013). Ever Since Darwin: Reflections on Natural History. C. Temürcü (Çev.). *Darwin ve Sonrası Doğa Tarihi Üzerine Düşünceler*. İstanbul: Say Yayınları (orijinal baskı tarihi 1979) .
- Gürsakal, N. (2009). *Sosyal Ağ analizi Pajek, Ucinet ve Gmine Uygulamalı*.(1.Basım). Bursa: Dora Yayınları.
- Halévy, E. (1972). *The Growth of Philosophic Radicalism*. Clifton, N.J: A.M. Kelley.
- Harary, F. (1969). *Graph Theory*. Reading: Addison Wesley.
- Hayek, F. A. (1967). *Studies in Philosophy, Politics, and Economics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hayek, F. A. (1988). *The Fatal Conceit: The Errors of Socialism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Homans, G. (1950). *The Human Group*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Itanen, S. (2012). Cellular Automata in Urban Spatial Modelling. A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See ve M. Batty (Ed.). *Agent-Based Models of Geographical Systems* içinde. London: Springer, 69-84.
- Izquierdo, L. R., S. S. Izquierdo ve F. Vega-Redondo. (2012). Learning and Evolutionary Game Theory. *Encyclopedia of the Sciences of Learning* içinde. 1782-1788.
- Jackson, M. O. (2008). *Social and Economic Networks*. U.S.A.: Princeton University Press.
- Kara, M. (2011). Heterodoks Bir Yaklaşım Olarak Oyunlar Teorisi ve ortodoks İktisatla Bir Karşılaştırma. E. Eren ve M. Sarfati (Der.). *İktisatta Yeni Yaklaşımlar* içinde. İstanbul: İletişim Yayınları, 89-104.
- Kay, C. (2011). *Latin American Theories of Development and Underdevelopment* (102. sayı). New York: Routledge.

- Kazgan, G. (2011). Adam Smith ve “Milletlerin Zenginliği” Üzerine. *Milletlerin Zenginliği* içinde. İstanbul: Türkiye İş Bankası Yayınları (orijinal baskı tarihi 1776).
- Lee, F. S. (2008). Heterodox Economics. S. N. Durlauf ve L. E. Blume (Ed.). *The New Palgrave Dictionary* (2.Basım). <http://www.dictionaryofeconomics.com/dictionary> (8 Haziran 2016).
- Linder, S.B. (1961). *An Essay On Trade And Transformation*. Uppsala: Almqvist & Wiksell.
- Luce, R.D. ve H. Raiffa. (1957). *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*. New York: Wiley.
- Manson, S. M., S. Sun ve D. Bonsal. (2012). Agent-Based Modeling and Complexity. A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See ve M. Batty (Ed.). *Agent-Based Models of Geographical Systems* içinde. London: Springer, 125-139.
- Malthus, T. (1798). *An Essay of the Principle of Population*. London: J. Johnson.
- Maoz, Z. (2011). *Networks of Nations: The Evolution, Structure, and Impact of International Networks*. U.S.A.: Cambridge University Press.
- Marshall, A. (1898). Mechanical and Biological Analogies in Economics. A. C. Pigou (Ed.). *Memorials of Alfred Marshall*. London: Macmillan (1925 tarihinde yayımlanmıştır).
- Martinicio, G. (2013). *The Tangled Complexity of the EU Constitutional Process*. New York: Routledge.
- Maynard Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maynard Smith, J. ve G. Price. (1973). The Logic of Animal Conflict. *Nature*. 146, 15-18.
- McCulloh, I., H. Armstrong ve A. Johnson. (2013). *Social Network Analysis with Applications*. New York: Wiley.
- Menger, C. (1883). *Investigations Into the Method of the Social Sciences with Special Reference to Economics*. F.J. Nock (Çev.). New York: New York University Press (1985 tarihinde yayımlanmıştır).
- Menger, C. (1923). *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre, Zweite Auflage*. Vienna: Hölder-Pichler-Tempsky A.G.
- Mieghem, P. V. (2011). *Graph Spectra for Complex Networks*. New York: Cambridge University Pres.

- Mitchell, M. (2009). *Complexity A Guided Tour*. New York: Oxford University Press.
- Montgomery, M. R. (1999). Complexity Theory: An “Austrian” Perspective. D. Colander (Ed.). *Complexity and the History of Economics* içinde. London: Routledge, 227–240.
- Morgenstern, O. (1928). *Wirtschaftsprognose: Eien Untersudhungen ihrer Voraussetzungen und Möglichkeiten*. Wien: J. Springer.
- Morgenstern, O. (1935a). Perfect Foresight and Economic Equilibrium, A. Schotter (Ed.). *Selected Economic Writings of Oskar Morgenstern* içinde. New York: New York University Press (1976 tarihinde yayımlanmıştır).
- Morgenstern, O. (1935b). The Time Moment in Value Theory. A. Schotter (Ed.). *Selected Economic Writings of Oskar Morgenstern* içinde. New York: New York University Press (1976 tarihinde yayımlanmıştır).
- Myerson, R. B. (1991). *Game Theory: Analysis of Conflict*. U.S.A: Harvard University Press.
- Nasar, S. (2011). *A Beautiful Mind*. U.S.A: Simon&Schuster Inc.
- Nash, J. F. (2007). Autobiography. H. W. Kuhn ve S. Nasar (Ed.). *The Essential John Nash* içinde. U.S.A.:Princeton University Press.
- Newman, M. E. J. (2010). *Network An Introduction*. U.S.A.: Oxford University Press.
- Newman, M. E. J., A. L. Barabási ve D. J. Watts (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Oxford: Princeton University Press.
- Oktaş, N. (2005). *Dış Ticarete Giriş*. Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No:1624.
- Osborne, M. (2000). *An Introduction to Game Theory*. U.S.A: Oxford University Press.
- Özel, H. (2011). “Evrimsel İktisat” Yöntem Bilgisi İlkeleri. E. Eren ve M. Sarfatı (Der.). *İktisatta Yeni Yaklaşımlar* içinde. İstanbul: İletişim Yayınları, 135-162.
- Özveren, E. (2007). *Kurumsal İktisat*. Ankara: İmge Yayınları.
- Ricardo, D. (1817). *On the Principle of Political Economy and Taxation*. London: John Murray.
- Robbins, L. (1935). *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. London: Macmillan.
- Roegen, N. G. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. U.S.A.: Harvard University Press.

- Rosser, B. (2009). Computational and Dynamic Complexity in Economics. B. Rosser (Ed.). *Handbook of Complexity Research* içinde. Cheltenham: Edward Elgar, 22-35.
- Rosser, B. (2013). Complexity and Austrian Economics. P. Boettke ve C. Coyne (Ed.). *The Oxford Handbook of Austrian Economics*. Oxford: Oxford University Press.
- Ruelle, D. (2014). *Rastlantı ve Kaos*. D. Yurtören (Çev.). İstanbul: Say Yayınları (orijinal baskı tarihi 1991).C
- Samuelson, P.A. ve W.D. Nordhaus. (1992). *Economics*. New York: McGraw Hilli
- Say, J. B.(1803). *A Treatise on Political Economy* (6.Basım). New York: A.M. Kelley. https://mises.org/sites/default/files/A%20Treatise%20on%20Political%20Economy_5.pdf (21 Mart 2016).
- Schumpeter, J. A. (1954). *History of Economic Analysis*. E. B. Schumpeter (Ed.). New York: Oxford University Press.
- Sedgewick, R. ve K. Wayne (2011). *Algorithms*.(4.Basım). U.S.A.:Addison-Wesley.
- Sertöz, S. (2011). *Matematiğin Aydınlik Dünyası*. (27.Basım). Ankara: Tübitak Yayınları.
- Simon, H.(1957). A Behavioral Model of Rational Choice. *Models of Man: Social and Rational; Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting* içinde. New York: John Wiley and Sons.
- Singer, H. W. (1984). Five Stages in My Thinking on Development. G. M. Meier ve D. Seers (Ed.) *Pioneers in Development* içinde. New York: Oxford University Press. 175-192.
- Smith, A. (1776). *Milletlerin Zenginliği* (5.Basım). H. Derin (Çev.). İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları (2011 tarihinde yayımlanmıştır).
- Snyder, G. H. ve P. Diesing (1977). *Conflict Among Nations: Bargaining, Decisinon Making, and System Structure in International Crises*. U.S.A.: Princeton University Press.
- Van Den Berg, H. (2015). *International Economics A Heterodox Approach* (2. Basım). New York: Routledge.
- Van Steen, M. (2010). *Graph Theory and Complex Networks An Introduction*. Martin Van Steen tarafından basılmıştır.
- Varoufakis, Y. (Ed.). (2001). *Game Theory: Critical Concepts in the Social Sciences*. London: Routledge.

- Vega-Redondo, F. (1996). *Evolution, Games and Economic Behavior*. New York: Oxford University Press.
- Von Neumann, J. (1928). On The Theory of Games of Strategy. S. Bargmann (Çev.). A.W. Tucker ve R.D. Luce(Ed.). *Contributions on the Theory of Games* içinde. Princeton: Princeton University Press, 13-42 (1959 tarihinde yayımlanmıştır).
- Von Neumann, J. (1951). The General and Logical Theory of Automata. L. A. Jeffress (Ed.). *Cerebral Mechanisms in Behavior-The Hixon Symposium, California* içinde. New York: John Wiley. 1-31.
- Von Neumann, J. ve O. Morgenstern. (1944). *Theory of Game and Economic Behaviour*. Princeton: Princeton University Press.
- Watts, D. J. (2003). *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. U.S.A: W.W. Norton Company Inc.
- Webb, J. N. (2007). *Game Theory Decisions, Interaction and Evolution*. London: Springer.
- Weibull, J. (1995). *Evolutionary Game Theory*. Cambridge: MIT Press.
- Wilensky, U. ve W. Rand. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modelling Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, U.S.A: The MIT Press.
- Yang, A., H. A. Abbass ve R. Sarker. (2006). Land Combat Scenario Planning: A Multiobjective Approach. T.D. Wang (Ed). *Simulated Evolution and Learning 6th International Conference Proceedings* içinde. Almanya: Springer.
- Yılmaz, E. (2012). *Oyun Teorisi*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Zamir, S. (1992). Repeated Games of Incomplete Information: Zero-Sum. R.J Aumann ve S.Hart (Ed.). *Handbook of Game Theory with Economic Application Cilt 1* içinde. Holland: Elsevier Science Publishers, 110-154.

Sürekli Yayınlar

- Akal, Ş. (2014). Gerçek ve Model Ağların Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*. 11.41, 251-272.
- Al-Suwailem, S. (2011). Behavioural Complexity. *Journal of Economic Surveys*. 25.3, 481-506.
- Al-Suwailem, S. (2012). Complexity and Endogenous Instability. *Research in International Business and Finance Elsevier*. 30, 393-410.
- Arrighi, G., B. J. Silver ve B. D. Brewer. (2003). Industrial Convergence, Globalization and the Persistence of the North-South Divide. *Studies in Comparative International Development*. Spring, 3-31.
- Arrow, K. J. ve G. Debreu. (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, 22.3, 265-290.
- Arthur, B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. *Economic Journal*. 99.394, 116-131.
- Arthur, B. (1990). Positive Feedbacks in the Economy. *Scientific American*. 262.2, 92-99.
- Arthur, B. (1994). Inductive Reasoning and Bounded Rationality. *American Economic Review*. 84, 406-411.
- Arthur, B. (1999). Complexity and the Economy. *Science*. 284, 107-109
- Aslan, N. ve D. Yörük. (2008). Teoride ve Uygulamada Dış Ticaret Hadleri ve Kalkınma İlişkisi. *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*. 25.2, 33-69.
- Atik, H. (2006). Tercihlerde Benzerlik Teorisi: Türkiye ve Bazı Komşu Ülkelerin Dış Ticareti Üzerine Bir Analiz. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*. 61.2, 33-43.
- Aumann, R. J. (1976). Agreeing to Disagree. *Annals of Statistics*. 4, 1236-1239.
- Aumann, R. J. ve M. Maschler. (1985). Game Theoretic Analysis of a Bankruptcy Problem from the Talmud. *Journal of Economic Theory*, 36, 195-213.
- Axtell, R. L. ve J. M. Epstein. (1994). Agent-Based Modelling: Understanding Our Creations. *The Bulletin of The Santa Fe Institute*, 9.2, 28-32.
- Barabási, A. L. ve R. Albert (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*. 286.5439, 509-551.

- Barabási, A. L., H. Jeong, Z. Néda, E. Ravasz, A. Schubert ve T. Vicsek. (2002). Evolution of the Social Network of Scientific Collaborations. *Physica A Statistical Mechanics and its Applications*. 311, 590-614.
- Berryman, M. J. ve S. D. Angus. (2009). Tutorials on Agent Based modelling with Netlogo and Network Analysis with Pajek. *World Scientific Review*, 9.6, 1-27.
- Bernoulli, D. (1738). Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk. L.Sommer (Çev.). *Econometrica*. 22.1, 22-36 (1954 tarihinde yayımlanmıştır).
- Binmore, K. ve L. Samuelson. (1991). Evolutionary Stability in Repeated Games Played By Finite Automata. *Journal of Economic Theory*. 57, 278-305.
- Bernoulli, D. (1738). Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk. L.Sommer (Çev.). *Econometrica*. 22.1, 22-36 (1954 tarihinde yayımlanmıştır).
- Binmore, K. ve L. Samuelson. (1991). Evolutionary Stability in Repeated Games Played By Finite Automata. *Journal of Economic Theory*. 57, 278-305.
- Borgatti, S. P. (1995). Centrality and AIDS. *Connections*. 18.1, 112–115.
- Borgatti, S. P. (2005). Centrality and Network Flow. *Social Networks*. 27,55-71.
- Borgatti, S. P. ve M. G. Everett. (2006). A Graph-theoretic Perspective on Centrality. *Social Networks*. 28, 466-484.
- Bonacich, P. (1987). Power and Centrality: A Family of Measures. *American Journal of Sociology*. 92.5, 1170-1182.
- Bonacich, P. (1991). Simultaneous group and individual centralities. *Social Networks*. 13, 155–168.
- Börner, K., S. Sanyal ve A. Vespignani. (2007). Network Science. *Annual Review of Information Science & Technology*. 41, 537-607.
- Brouwer, L.E.J. (1912). Über Abbildung von Mannigfaltigkeiten. *Math Annalen*. 71, 97-115.
- Bunzel, H. ve T. J. Vogelsang. (2005). Powerful Trend Function Tests That are Robust to Strong Serial Correlation with an Application to the Prebisch-Singer Hypothesis. *Journal of Business and Economic Statistics*. 23, 381-394.
- Cecconi, F., M. Campenni, G. Andrighetto ve R. Conte. (2010). What Do Agent-Based and Equation-Based Modelling Tell Us About Social Conventions: The Clash Between ABM and EBM in a Congestion Game Framework. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 13.1, 6.
- Conybeare, J. (1984). Public Goods, Prisoner's Dilemma and the International Political Economy. *International Studies Quarterly*. 28.5, 5-22.

- Costa, L. da F., F. A. Rodrigues, G.Travieso ve P. R. Villas Boas. (2007). Characterization of Complex Networks: A Survey of Measurements. *Advances in Physics*.56.1,167-242.
- Dacey, R. (1994). Inducing Fair Trade Out of Hegemonic Trade. *Synthese*. 100.3, 497-504.
- David, P. A. (1985). Clio and the Economics of QWERTY. *The American Economic Review*. 75.2, 332-337.
- Davis, J.(2006). The Nature of Heterodox Economics. *Post-Autistic Economics Review*. 40, 23-30.
- Dulupçu, M. A. (2002). Kalkınma İktisadı Üzerine Bazı Düşünceler. *Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*. 1/2002. 31-52.
- Editorial (2007). Advances in Experimental and Agent-Based Modeling: Asset Markets, Economic Networks, Computational Mechansim Design and Evolutionary Game Dynamics. *Journal of Economic Dynamics & Control*. 31,1801-1807.
- Ellison, G. (1993). Learning, Local Interaction, and Coordination. *Econometrica*. 61.5, 1047-1071.
- Erdős, P. ve A. Rényi. (1959). On Random Graphs. *Publicationes Mathematicae*. 6, 290-297.
- Erdős, P. ve A. Rényi. (1960). On the Evolution of Random Graphs. *Publicationes Mathematicae Institute of Math*. 5, 343-347.
- Ercan, F. ve Ö. Biçen. (2005). İktisat ve Kalkınma Ekonomisi: Kalkınma İdeolojisinin Sosyalizasyonu Olarak Kalkınma Ders Kitaplarının Eleştirisi. *Ekonomik Yaklaşım*. 16.57, 51-102.
- Erkan, B. (2016). Ana Akım(ortodoks-Neoklasik) İktisat Öğretisi Eleştirisi: Heterodoks Yaklaşım İhtiyacı. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*. 8.14, 25-40.
- Euler, L. (1741). Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. *Commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae*. 8, 128-140.
- Fisher, F. M. (1989).Games Economists Play: A Noncooperative View. *Rand Journal of Economics*. 20.1, 113–124.
- Fisher, E. O. ve V. Kakkar. (2004). On the Evolution of Comparative Advantage in Matching Models. *Journal of International Economic*. 64, 169-193.
- Foss, N. (2000). Austrian Economics and Game Theory: A Stocktaking and an Evaluation. *Review of Austrian Economics*. 13, 41-58.

- Foster, J. (2000). Competitive Selection, Self-Organization and Joseph A. Schumpeter. *Journal of Evolutionary Economics*. 10.3, 311-328.
- Freeman, L. C. (1977). A set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*. 40.1, 35-41.
- Freeman, L. C. (1978/1979). Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. *Social Networks*. 1, 215-239.
- Freeman, L. C. (1980). The Gatekeeper, Pair-Dependency, and Structural Centrality. *Quality and Quantity*. 14, 585-592.
- Friedman D. (1991). Evolutionary Games in Economics. *Econometrica*. 59, 637-666.
- Friedman, D. (1998). On Economic Applications of Evolutionary Game Theory. *Journal of Evolutionary Economics*. 8, 15-43.
- Fudenberg, D. ve D. M. Kreps. (1993). Learning Mixed Equilibria. *Games and Economic Behaviour*. 5, 320-367.
- Gallegati, M. ve A. Kirman. (2012). Reconstructing Economics: Agent Based Model and Complexity. *Complexity Economics*. 1, 5-31.
- Gardner, M. (1970). The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "Life". *Scientific American*. 223.10, 120-123.
- Gell-Man, M. (1996). Complexity at Large. *Complexity*. 1.5, 3-5.
- Ghoshray, A. (2011). A Reexamination of Trends in Primary Commodity Prices. *Journal of Development Economics*. 95, 242-251.
- Gintis, H. (2000). Classical Versus Evolutionary Game Theory. *Journal of Consciousness Studies*. 7.1-2, 300-304.
- Gowdy, J. (1997). Introduction: Biology and Economics. *Structural Change and Economic Dynamics*. 8, 377-383.
- Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*. 78.6, 1360-1380.
- Güzel, C. ve H. Özel. (2011). İktisat ve Sosyal Teoride Evrim Düşüncesi. *Amme İdaresi Dergisi*. 44.3, 1-26.
- Hamill, L. ve N. Gilbert. (2010). Simulating Large Social Networks In Agent-Based Models: A Social Circle Model. *Emergence Complexity Organization*. 12.4, 78-94.
- Hamilton, W. D. (1967). Extraordinary Sex Ratios. *Science*. 156.3774, 477-488.

- Hands, D. W. (2015). Orthodox and Heterodox Economics in Recent Economic Methodology. *Erasmus Journal for Philosophy and Economics*. 8.1, 61-81.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*. 162.3859,1243-1248.
- Harsanyi, J.C. (1967). Games With Incomplete Information Played by “Bayesian” Player I-III. *Managment Science*. 14.3,159-182.
- Harvey, D.I., N. Kellard, J. Madsen ve M.E. Wohar. (2010). The Prebisch–Singer Hypothesis: Four Centuries of Evidence. *Review of Economics and Statistics*. 92, 367–377.
- Holdrege, C. (2005). The Gene: A Needed Revolution. *Context*. 14: 14-17. <http://natureinstitute.org/pub/ic/ic14/gene.htm> (5 Haziran 2016).
- Illing, G. (1995). Spieltheorie in den Wirtschaftswissenschaften. *Wirtschaftswissenschaftliches Stadium*. N. Gültekin (Çev.). *Ekonomik Yaklaşım*. 6 .18-19, 151-158 (1995 tarihinde yayınlanmıştır).
- Israel, G. (2005). The Science of Complexity: Epistemological Problems and Perspectives. *Science in Contex*. 18.3, 479-509.
- Jolly, R. (1976). The World Employment Conference: The Enthronement of Basic Needs. *ODI Review*, 2, 34.
- Kakutani, S. (1941). A Generalization of Brouwer’s Fixed Point Theorem. *Duke Mathematical Journal*. 8, 457-459.
- Kalai, E. ve E. Lehrer. (1993). Rational Learning Leads to Nash Equilibrium. *Econometrica*. 61.5, 1019-1045.
- Kandori, M. ve G. J. Mailath. (1993). Learning, Mutation and Long Run Equilibria in Games. *Econometrica*. 61.1, 29-56.
- Karaca, A. A. ve B. Şahin. (2010). Kalkınma Modellerine Teorik Yaklaşımlar. *Anadolu BİL Meslek Yüksekokulu Dergisi*. 5.18, 38-47.
- Kırer, H ve Y. A. Çırpıcı. (2016). A Survey of Agent-Based Approach of Complex Networks. *Ekonomik Yaklaşım*. 27.98, 1-28.
- Kim, T., S. Pfaffenzeller, A. Rayner ve P. Newbold. (2003). Testing for Linear Trend, with Application to Relative Primary Commodity Prices. *Journal of Time Series Analysis*. 24, 539– 551.
- Korte, C. ve S. Milgram. (1970). Acquaintance Networks Between Racial Groups: Application of the Small World Method. *Journal of Personality and Social Psychology*. 15.2, 101-108.

- Krugman, P.(1991). The Move Toward Free Trade Zones. *Economic Review*. November/December, 5-25.
- Kuhn, H.W. ve A. W. Tucker. (1958). John Vo Neumann's Work in The Theory of Games and Mathematical Economics. *Bulletin of the American Mathematical Society*. 64, 100-122.
- Lakra, S., T. V. Prasad ve G. Ramakrishna. (2014).Representation of a Sentence Using a Polar Fuzzy Neutrosophic Semantic Net. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Special Issue on Natural Language Processing, 1-8.
- Lawson, T. (2006). The Nature of Heterodox Economics. *Cambridge Journal of Economics*. 30, 483-505.
- Lee, C. K. (2011). World Trade Organization (WTO) Negotiations Between Developing and Developed Countries: An Evolutionary Game Theory Approach. *International Journal of Management*. 28.3, 867-879.
- Lewontin, R. C. (1961). Evolution and the Theory of Games. *Journal of Theoretical Biology*. 1, 382-403.
- Love, J. L. (1980). Raúl Prebisch and the Origins of the Doctrine of Unequal Exchange. *Latin American Research Review*.15.3,45–72.
- Macal, C. M. ve M. J. North. (2010). Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation. *Journal of Simulation*. 4, 151-162.
- McGinty, M. (2010). International Environmental Agreements as Evolutionary Games. *Environ Resource Econ*. 45, 251-269.
- Milgram, S. (1967). The Small-World Problem. *Psychology Today*. 1.1, 61-67.
- Myerson, R. B. (1996). Nash Equilibrium and the History of Economic Theory. *Journal of Economic Literature*. 36, 1067-1082.
- Nash, J. F. (1950a). Equilibrium Points in n-Person Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 36.1, 48-49.
- Nash, J. F. (1950b). The Bargaining Problem. *Econometrica*. 18.2, 155-162.
- Nash, J. F. (1951). Non-cooperative Games. *Annals of Mathematics*. 54.2, 286-295.
- Nash, J. F. (1953). Two-Person Cooperative Games. *Econometrica*. 21.1, 128-140.
- Newman, M. E. J. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*. 43, 167-256.

- Newman, M. E. J. ve D. J. Watts. (1999). Renormalization Group Analysis of the Small-World Network Model. *Physics Letters A*. 263, 341-346.
- Nell, G.(2010). Competition as Market Progress: An Austrian Rationale for Agent-Based Modeling. *The Review of Austrian Economic*. 23, 127-145.
- Richardi, M. G. (2012). Agent-Based Computational Economics: A Short Introduction. *The Knowledge Engineering Review*. 27.2, 137-149.
- Samuelson, L. ve J. Zhang. (1992). Evolutionary Stability in Asymmetric Games. *Journal of Economic Theory*. 57, 363-391.
- Sarkar, P. ve H. W. Singer. (1991). Manufactured Exports of Developing Countries and Their Terms of Trade Since 1965. *World Development*. 19.4, 333-340.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamics Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*. 1, 143-186.
- Shadmeri, M. T. A., F. Khadem ve A. Ghadimi. (2014). Economic School Thought: Mainstream, Orthodox and Heterodox Economics. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*. 3.12a, 24-30.
- Shapiro, C. (1989). The Theory of Business Strategy. *RAND Journal of Economics*. 20.1, 125-137.
- Singer, H. W. (1949). Economic Progress in Underdeveloped Countries. *Social Research*. 16.1, 1-11.
- Singer, H. W. (1950). The Distribution of Gains Between Investing and Borrowing Countries. *The American Economic Review*. 40.2, 473-485.
- Soytaş, U. (2002). Evrimsel Oyun Teorisi Üzerine Bir Not. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi İİBF Dergisi*. 5, 198-206.
- Street J. H. ve D. D. James. (1982). Institutionalism, Structuralism and Dependency in Latin America. *Journal of Economic Issues*. 16.3, 673-689.
- Szilagyi, M. N. (2003). An Investigation of N-Person Prisoners Dilemma. *Complex Systems*. 14,155-174.
- Talbott, S. L. (2001). The Lure of Complexity. *Context*. 6, 15-19. <http://natureinstitute.org/pub/ic/ic6/complexity.htm> (13 Mayıs 2016).
- Taşçı, D. (2007). 21. Yüzyılın Bilimi: Şebekeler Bilimini ve Barabási'yi Anlamak. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*. 2.2, 27-39.
- Taşçı, H. M. ve M. E. Erçakar. (2016). Prebisch-Singer Tezinin Dış Ticaret Hadleri Aracılığıyla Türkiye için Test Edilmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 14.2, 232-249.

- Taylor, P.D. ve L. Jonker. (1978). Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics. *Math. Biosci.* 40, 145.
- Toye, J. ve R. Toye. (2003). The Origins and Interpretation of the Prebisch-Singer Thesis. *History of Political Economy*. 35.3, 437-467.
- Tucker, A.W. (1950). A-Two Person Dilemma, *Stanford Üniversitesi Tezsizleri*. On Jargon: The Prisoner's Dilemma isminde. *UMAP Journal*. 1, 101 (1980 tarihinde yayımlanmıştır).
- Tuncel, C. O. (2008). Heterodoks Bir Mikro İktisat Teorisine Doğru: Evrimci İktisadın Teknolojik Gelişme Yaklaşımı ve Firmanın Doğası. *Ekonomik Yaklaşım*. 19 .69, 1-32.
- Uzzi, B., L. A. Amaral ve F. Reed-Tsochas. (2007). Small-World Networks and Management Science Research: A Review. *European Management Review*. 4, 77-91.
- Veblen, T. (1898). Why Economics is not an Evolutionary Science. *Quarterly Journal of Economics*. 12.
- Veblen, T. (1900). Preconceptions of Economic Science. *Quarterly Journal of Economics*. 14.2, 240-269.
- Von Neumann, J. (1937). Über ein Ökonomisches Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwerschen Fixpunktsatzes. G. Morgenstern (Çev.). On an Economic System and a Generalization of Brouwer Fixed Point Set. *The Review of Economic Studies*. 13.1, 1-9 (1945-1946 yılı sayısında yayımlanmıştır).
- Watts, D. J. (1999). Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon. *American Journal of Sociology*. 105.2, 493-527.
- Watts, D. J. ve S. H. Strogatz. (1998). Collective Dynamics of 'Small-World' Networks. *Nature*. 393, 440-442.
- Waxman, B. (1988). Routing of Multipoint Connections. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 6.9, 1617-1622.
- Willhite, A. (2001). Bilateral Trade and 'Small-World' Networks. *Computational Economics*. 18, 49-64.
- Witkowska, E. A. (2016). Reconsideration of the Prebisch-Singer Hypothesis. *Real-World Economics Review*. 76, 95-108.
- Yamada, H. ve G. Yoon (2014). When Grilli and Yang Meet Prebisch and Singer: Piecewise Linear Trends in Primary Commodity. *Journal of International Money and Finance*. 42, 193-207.

- Yay, T. (2005). İktisadın Kapsamı ve Yöntemi Üzerine. *Ekonomik Yaklaşım*. 16.57, 1-33.
- Zaidi, F. (2012). Small World Networks and Clustered Small World Networks With Random Connectivity. *Social Networks Analysis and Mining*. 3.1, 51-63.



Diğer Yayınlar

- Acemoğlu, D., A. Özdağlar. (2009). Graph Theory and Social Networks. *MIT Ders Notları*. <http://economics.mit.edu/files/4620> (7 Ocak 2016).1-18.
- Alkemade, F. (2004). Evolutionary Agent-Based Economics. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven Institute for Programming Research and Algorithmics.
- Anderson, P. W., K. Arrow ve D. Pines. (1988). *The Economy as an Evolving Complex System*. Santa Fe Institute Series, U.S.A.: Westview Press.
- Andiz, M. B. (2015). *Euler-Graf Teorisi, Çizgeler Kuramında Belitler, Ölçüm, Çizgileri, Königsberg Köprüleri*.
<https://www.researchgate.net/publication/283462876> (7 Mart 2016).
- Arthur, B (2013). Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought. *Santa Fe Institute Working Paper*. 2013-04-012.
- Arthur, B., S. N. Durlauf ve D. Lane. (1997). *The Economy as an Evolving Complex System II*. Redwood: AddisonWesley.
- Backstrom, L., P. Boldi, M. Rosa, J. Ugander, ve S. Vigna (02-04 Mayıs, 2012). Four Degrees of Separation. *4th Annual ACM Web Science Conference*. Paris: Le Palais des Congres de Paris. 33–42.
- Büyük Türkçe Sözlük*, (2014)., http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&view=bts (23 Mayıs 2014).
- Bruun, C. (2004). Agent-based Computational Economics - An Introduction. *Aalborg University Department of Economics, Politics and Public Administration Discussion Paper*.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.85.2063&rep=rep1&type=pdf> (27 Aralık 2015).
- Çağatay, N. (2005). Gender Inequalities and International Trade: A Theoretical Reconsideration. *Centro Interdisciplinario de Estudios Sobre el Desarrollo (Kalkınma Üzerine İnterdisipliner Çalışmalar Merkezi)*. No.136.
- Callahan, P. (t.y.). What is the Game of Life. <http://www.math.com/students/wonders/life/life.html> (4 Ekim 2016).
- Chan, S. (31 Ekim- 6 Kasım 2001). Complex Adaptive Systems, *M.I.T. Research Seminar in Engineering Systems*, U.S.A.

- Chen, Q., H. Chang, R. Govindan, S. Jamin, S. J. Shenker ve W. Willinger. (25-27 Haziran, 2002) The Origin of Power Laws in Internet Topologies Revisited. *21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. New York: Hilton Hotel.
- Colander, D. (2008). Complexity and the History of Economic Thought. *Middlebury College Economics Discussion Paper*. No.08-04.
- Colander, D. (2009). Moving Beyond the Rhetoric of Pluralism: Suggestion for an “Inside-the-Mainstream” Heterodoxy. *Middlebury College Economics Discussion Paper*. No.09-15.
- Colander, D., R. Holt ve B. Rosser. (2003). The Changing Face of Mainstream Economics. *Middlebury College Economics Discussion Paper*. No.03-27.
- Complexity Science Focus (2016). *What is Complexity Science?* <http://www.complexity.ecs.soton.ac.uk/index.php?page=q1> (1 Ağustos 2016).
- Cowan, R. ve J. H. Miller. (1990). Economic Life on a Lattice: Some Game Theoretic Results. *Santa Fe Institute Economic Research Program Working Paper*. 90-010.
- Davis, J. ve E. M. Sent. (2006). Heterodoxy’s Strategic Pluralism. *European History of Economics Society Meetings*. Porto, Portugal.
- Dillon, D. (2001). Institutional and Individual Qualities of Expert Interdisciplinary Work. *GoodWork Project Report Series No.22*. U.S.A.
- Dinç, N. T. (2014). Grafların Yeni Çarpımı Üzerinde Bazı Parametrelerin İncelenmesi, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eğilmez, M. (2012). Büyüme Başka Şey Gelişme Başka. <http://www.mahfiegilmez.com/2012/09/buyume-baska-sey-gelisme-baska.html> (25 Şubat, 2017).
- Eğilmez, M. (2013). Ortodoks ve Heterodoks Ekonomi Politikaları. <http://www.mahfiegilmez.com/2013/04/ortodoks-ve-heterodoks-ekonomi.html> (23 Temmuz 2016).
- Eren, E. (17 Nisan 2009). Yeni İktisatta Ortak Noktalar, İktisadi Düşünce Girişimi. *İktisatta Yeni Yaklaşımlar Çalıştayı*. İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi.
- Eren, E. (2013). Kompleksite İktisadı ve Ajan-Temelli Modelleme: Metodolojik Bir Yaklaşım. *Türkiye Ekonomik Kurumu Tartışma Metni*. 2013/3.
- Fletcher, J. A. ve M. Zwick. (2000). Simpson’s Paradox Can Emerge From the N-Player Prisoner’s Dilemma: Implications for the Evolution of Altruistic Behavior.

System Science Faculty Publications and Presentations. Portland State University.

Flood, M. M. (1952). Some Experimental Games. *RAND Cooperation*. Santa Monica, California.

Fontana, M. (2008). The Complexity Approach to Economics: A Paradigm Shift. *University of Torino Department of Economics Working Paper Series*. No.01/2008.

Gilbert, N. (2004). Agent-based Social Simulation: Dealing with Complexity. <http://wiki.comres.org/pds/AgentBasedModeling/AbssDealingWithComplexity.pdf> (15 Temmuz 2016).

Golovko, A. (17-19 Haziran 2009). Çekim Modeli: Avrasya Ülkelerinin Dış Ticareti. *Anadolu Uluslararası İktisat Kongresi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Güngör, K. (2014). *İktisadın Tarihine Kısa Bir Bakış ve Merkantilizmden Günümüze İktisadi Düşünceler*. http://www2.aku.edu.tr/~kgungor/kamil_gungor.pdf .

Introduction to Network Theory. (t.y.) https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1011/PrincComm/slides/graph_theory_1-11.pdf (11 Ocak 2016).

Işık, S. (2014). *Evrimsel İktisat ve Teknoloji Yönetimi*. https://prezi.com/fdr_f2l9y_cs/evrimsel-iktisat-ve-teknoloji-yonetimi/ (7 Temmuz 2016).

Johannsen, W. L. (1909). *Elemente der Exakten Erblchkeitslehre*. *Free Software Foundation*. http://caliban.mpipz.mpg.de/johannsen/elemente/johannsen_elemente_der_exakten_erblchkeitslehre_2.pdf. (23 Temmuz 2016).

Karaca, İ. (2013). *Topoloji Ders Notları*. <http://fen.ege.edu.tr/~ismetkaraca/topoloji.pdf> (25 Ağustos 2016).

Lee, S.H., H. S. Park ve S. B. Cho. (18-23 Temmuz, 2010). Empirical Analysis of International Trade Market Using Evolutionary Multi-Agent Modeling with Game Theory. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Spain: Centre Convencions Internacional Barcelona.

Macal, C. M. ve M. J. North. (4-7 Aralık, 2005). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *2005 Winter Simulation Conference*. Orlando: Hilton in the Walt Disney World Resort.

Macal, C. M. ve M. J. North. (9-12 Aralık, 2007). Agent-Based Modeling and Simulation: Desktop ABMS. *2007 Winter Simulation Conference*. Washington: J.W. Marriott Hotel, 95-106.

- Macal, C. M. ve M. J. North. (7-10 Aralık, 2008). Agent-Based Modeling and Simulation: ABMS Examples. *2008 Winter Simulation Conference*. Miami: Hotel Intercontinental, 101-112.
- Marshall, A. (2008). *The Concise Encyclopedia of Economics*. Library of Economics and Liberty. <http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Marshall.html>. (16 Ağustos 2016).
- Masça, M. (t.y.). Uluslararası İktisat. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Ders Notları*. http://blog.aku.edu.tr/mmasca/files/2016/12/Ulus_ikt_ders_notu_2011_2012.pdf (28 Şubat 2017).
- McKenzie, A. (2009). Evolutionary Game Theory. E. N. Zalta (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* içinde. <http://plato.stanford.edu/entries/game-evolutionary/> (27 Şubat 2016).
- Montmort, P. R. (1713). *Essay d'analyse sur les Jeux de Hazard*. <http://gallica.bnf.fr/ark:/f25.image/12148/bpt6k110519q/> (25 Mayıs 2014).
- Nash, J.F. (1950c). Non-cooperative Games. Princeton University, *Doktora Tezi*. Princeton. https://www.princeton.edu/mudd/news/faq/topics/NonCooperative_Games_Nash.pdf adresinden (9 Ekim 2014).
- Net C# Network Library (2016). *NetworkComms.Net*. <https://github.com/MarcFletcher/NetworkComms.Net> (21 Şubat 2016).
- Oh, Y. J. (2015). Agent-Based Network Modelling for The 2008 Financial Crisis and The Sluggish Recovery. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Dallas: University of Texas.
- Oligopoller ve Oyun Teorisi. (2014). http://www.acikders.org.tr/pluginfile.php/1576/mod_resource/content/1/HAFT_A_09_OLIGOPOLLER.pdf?forcedownload=1 (1 Ekim 2014).
- Prebisch, R. (1950). The Economic Development of Latin America and Its Principle Problems. *United Nations Publications*. No.50.
- Soyyigit Kaya, S. (2015). Uluslararası Ticaret İlişkilerine Kompleks Ağ Yaklaşımı: Türkiye Örneği, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Spielman, D. A. (2010). Erdős-Rényi Random Graphs: Warm Up. *Yale University Ders Notları*. <http://www.cs.yale.edu/homes/spielman/462/2010/lect3-10.pdf> (18 Ekim 2016).
- Sterbenz, J. P. G. (2013). Regular Networks. *University Of Kansas Ders Notları*. <https://www.ittc.ku.edu/~jpgs/courses/scinets/lecture-regular-nets-display.pdf> (12 Eylül 2016).

- Sturgeon, S. (2014). Boij-Söderberg Decompositions, Cellular Resolutions, and Polytopes. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Kentucky: University of Kentucky.
- Tabrizi, R. D. (2015). Representing And Measuring Networks. *Simon Fraser University Ders Notları*.
http://www.sfu.ca/~rda18/L3_RepresentingMeasuringNetworks.pdf (25 Şubat 2016).
- Uzuntarla M. ve M. Özer. (26-30 Kasım, 2008). Biyolojik Nöral Ağda Ağ Topolojisi ve İyon Kanal Gürültüsünün Uzaysal Senkronizasyona Etkileri. *Eleco International Conference on Electrical and Electronics Eng.* Bursa: Tüyap Bursa Fuar.
- Verstraete, J. (2014). *Graph Theory*. <http://math.ucsd.edu/~jverstra/154-part4-2014.pdf> (25 Eylül 2016).
- Valle, V. (2000). Chaos, Complexity and Deterrence. <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/ndu/valle.pdf>. (13 Temmuz 2016).
- Yalçıntaş, A. (2010). İktisat Düşüncesinde Evrimci Yol: İktisat Güncel Evrim Teorisine Ne Kadar Katkı Yaptı?, *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi GETA Tartışma Metinleri*. No.108.

EKLER



EK 1. Brouwer ve Kakutani Sabit Nokta Teoremlerine Bir Bakış

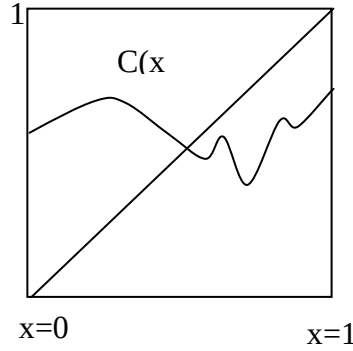
Topolojist L.E.J. Brouwer (1912), yaptığı çalışma ile modern topolojinin temelleri üzerine çok önemli noktaları oluşturmakla beraber, minimaks teoreminin dayanmakta olduğu sabit nokta teoremine ilişkin ilk ispatı da bilim dünyasına sunmuştur. Teorem ilerleyen yıllarda matematiğin yanı sıra ekonomi, fizik gibi bilimlerin içinde de kullanılmasıyla günümüzdeki önemli iktisadi teorilerin (genel denge teorisi gibi) ve uzay bilimlerine ilişkin önemli gelişmelerin (ay'a gidilmesi, uzaya mekik fırlatılması gibi) temeli olmuştur.

Brouwer'in Sabit Nokta Teoremi

X kompakt ve konveks topolojik uzay iken; f , X 'i kendisine dönüştüren sürekli bir fonksiyon olsun, f 'nin X uzayında bir sabit noktası yani, $f(x^*)=x^*$ eşitliğini sağlayan bir x^* noktası vardır (Brouwer, 1912).

Verilen teoremin daha iyi anlaşılabilmesi için, teoremde sözü geçen topolojik uzay yapısının ve dönüşüm kavramının daha iyi açıklanması gerekmektedir. Topoloji geometrik cisimlerin yırtılmadan, kesilmeden ve kırılmadan sürekli olarak şekil değiştirme ve çarpıtılma sonucunda değişmeden kalan özelliklerini gösterir. Bir uzayda, iki nesnenin yakın olduğunu söylememiz söz konusu ise, topolojik bir uzay söz konusudur (Casti, 2000, s.48). Bir cismin sürekli olarak şekil değiştirerek bir diğerine dönüşmesi için, öncelikli olarak iki cismin birbirine denk olması gerekir. İşte öncelikli olarak cisimlerin birbirine denk olması, sonrasında ise dönüştürülecek cismin bir sabit noktasının (değişmeden kalan özelliğini taşıyan) olup olmaması topolojinin konusunu oluşturmaktadır.

$x=[0,1]$ aralığında var olan aşağıdaki gibi bir kare düşünelim;



Şekil E1.1. Sabit Nokta Oyunun Gösterimi

Kaynak: John L. Casti, *Beş Altın Kural 20. Yüzyıl Matematiğinin Önemli Teorileri*. (N.Arık Çev.). İstanbul: Detay Yayıncılık, 2000, s.54.

0 ve 1 aralığında bu iki kenarı birleştiren ve kareyi bölen $C(x)$ eğrisi en az bir noktada köşegene değmek zorundadır. Bu eğri ve bunun gibi çizilecek her eğri $0 \leq x \leq 1$ aralığında bir dönüşümdür. x 'in bu aralıktaki her noktası $C(x)$ 'te bir nokta ile ilişkilidir. Köşegen doğrusu üzerindeki noktalar ise, kendisine dönüşülen noktalardır. Yani, köşegen üzerindeki herhangi bir noktaya giden x noktası, C dönüşümünün bir sabit noktasıdır (Casti, 2000, s.54-55).

Yukarıdaki sabit nokta oyununu stratejiler vektörü ile ifade etmek söz konusu olduğunda $i=1,2,3,\dots,n$ elemanlı bir strateji vektörü, diğer stratejilerinde bulunduğu vektörler uzayında A gibi bir matris ile çarpıldığında değişmeyen nokta olacaktır. Yukarıda iki boyutlu olarak anlatılan bu olay, çok boyutlu uzaya taşındığında, stratejiler vektörü, A matrisi ile her çarpıldığında, vektörler uzayında oluşan konveks politop'un bir noktasından başka bir noktasına yer değiştirecektir (Nash, 1950c, s.3). Bu işleme A matrisi ile çarpılan stratejiler vektörü değerlerinin bir önceki değerler ile aynı çıkması durumuna kadar devam edildiğinde, artık her yeni çarpım aynı değerlere ulaşılmasına neden olacaktır. Bu son vektör, A dönüşümü uygulandığında sabit kalan noktadır.

Luce ve Raiffa (1957) da Von Neumann'ın minimaks teoremini kanıtlarken Brouwer'in Sabit Nokta Teoremi'nden yararlanmıştır. Çalışmalarında, Brouwer'in sonlu boyutlu Öklidyen uzayda, küresinin (ya da topolojik olarak küremsiye yakın bir şeyin) bir noktasıyla, küresinin başka bir noktasında eşleşen herhangi bir sürekli dönüşümün en az bir sabit noktaya sahip olduğunu ispatlandığı Sabit Nokta Teoremi'nden yola çıkarak, herhangi en iyi nokta bir sabit nokta ve herhangi sabit nokta bir en iyi nokta ise,

her sıfır toplamı iki oyunculu oyun karma strateji denge noktasına sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Sabit nokta yukarıda iki boyutlu ve n boyutlu olarak anlatılan dönüşüm sürecinden dolayı aynı zamanda karma strateji denge noktasını gösteren noktanın varlığını da ispat etmektedir. Brouwer'in Teoremi açıklamada küresinin seçilmiş olması, küresinin sınırlı ve kapalı olması ancak sınırı olmamasından kaynaklanmaktadır. Kenarı olmayan tek parça yüzeylere kapalı yüzeyler denir. Örneğin dünya gibi bir kürenin yüzeyinden ayrılamazsınız. Küresimler, topolojik olarak dönüşüm yapılması ve buna bağlı olarak da sabit noktanın varlığından söz edilebilmesi için temel varsayımlardan biri olan cisimlerin dönüştüğü cisimlerin uzayına denk olması koşulunu sağlamada kolaylık sağladığı için, bu noktadan yola çıkılması teoremi kanıtlamada kolaylık sağlamaktadır (Casti, 2000, s.53).

Nash (1950a) iki oyunculu oyunlardan yola çıkarak, n oyunculu sıfır toplamı olmayan sonlu oyunlara dair bir genişletme yaparken, bu tür oyunlardaki denge noktasına dair bir sayfalık incelemede yapmıştır. Tez çalışmasından önce yapmış olduğu bu çalışmada, Kakutani Teoremi'ne referans vererek, oyunda sabit nokta olması durumunda denge noktasının olacağını ve bu denge noktasının karma stratejilerden (ya da sıfır ve bir olasılıklarından oluşan yani saf stratejiye denk düşen karma stratejilerden) oluşacağını iddia etmiştir. Nash bu çözümü tartışmak için, çalışması ile birlikte Von Neumann'a gittiğinde kendisi "Bu çok önemsiz, sadece sabit nokta teoremi" demiştir (Nasar, 2011, s.93-94). Nash'in karma stratejilere ilişkin bu ve bundan sonra gelecek olan Brouwer'in Sabit Nokta teoremini kullanarak yaptığı çalışma (1950c) kendisine Nobel ödülünü getirmiştir.

Kakutani Sabit Nokta Teoremi

S 'nin R^n Öklidyen uzay'ın boş olmayan, kompakt ve konveks bir alt kümesi olduğunu varsayalım. φ , S 'de tanımlı ve S 'nin tüm alt kümeleri ile eşleşen $\varphi \rightarrow P(S)$ bir fonksiyon ve tüm $x \in S$ için, $\varphi(x)$ boş olmama ve kapalı konveks olma özelliklerini sağlıyorsa, φ bir sabit noktaya sahiptir (Kakutani, 1941).

Brouwer'in Sabit Nokta Teoremi'nden farkı, teoremlerin anlatımından da anlaşılacağı üzere, Kakutani'de φ bir sabit noktaya sahip olurken, Brouwer'de $f(x^*) = x^*$

eşitliğini sağlayan bir x^* noktasının var olmasıdır. Yani birisinde, sabit noktanın eleman durumunda var olması söz konusu iken, diğerinde eşitlik olarak mevcuttur.

Yukarıdaki sabit nokta teoremi oyun teorisi ve stratejilerle ilişkilendirildiğinde, S her oyuncu tarafından oyunda seçilen karma stratejiler kümesi, $\varphi(x)$ oyuncunun stratejisinin diğer oyuncuların stratejilerine verilecek en iyi karşılıktır. Bu karşılık, çok sayıda ve birbirine eşit iyilikte olabileceğinden tek bir değer değil, değerler kümesidir. φ 'in sabit noktası ise, oyunun *Nash Dengesi* olarak tanımlanır.

Yukarıda anlatılan minimaks teoremine ilişkin tüm kanıtlardan ve özellikle kanıtların temelinde yatan Brouwer'in sabit nokta teoreminden sonra, Von Neumann'ın (1937) yapmış olduğu çalışmada (her mal için) arz ve talebin eşit olduğu noktanın ve bu noktaya ait fiyatların olduğunu söylemekle ne demek istediği daha net bir görünüm kazanmıştır (Kuhn ve Tucker, 1958, s.109-110). Bu durumun ispatı ise, bu noktanın belirli bir dönüşümün sabit noktası olduğunun kanıtlanması ile mümkündür. (her iki kişilik sıfır toplamlı oyunu en iyi yapan bir karma strateji denge noktası olduğu gibi.) Bu ispatın yapılması ile elde edilen en önemli sonuçlardan bir diğeri de, Von Neumann'ın (1937) çalışmasından yola çıkarak, ekonomideki fiyat belirleme mekanizmasının, n boyutlu uzayda politop'un bir noktasından diğerine hareket eden dinamik bir mekanizma olduğunun anlaşılmış olmasıdır. Teorinin buraya kadar olan bölümünden anlaşılacağı gibi Brouwer'in Sabit Nokta Teoremi, bize sabit noktanın ne olduğuna ilişkin garanti bir bilgi sağlamak üzerine değil, sadece var olup olmadığının araştırılması üzerinde bilgi verirken, (sabit noktayı sağlayan eşitliğin olup olmadığı) Kakutani Sabit Nokta Teoremi sabit noktanın varlığını garanti altına almaktadır (sabit noktanın eleman olup olmadığı). Bu açıdan her iki teoremde, bir sabit noktaya sahip olmayı, oyuncular açısından karma stratejiler ile kazancı en iyileyen ve minimaks noktasına karşılık gelen denge noktasının oyunda varlığının anlaşılmasında önem taşımaktadır.

EK 2. Axelrod'un Kısasa Kısas (TFT) Stratejisi

Axelrod tarafından düzenlenen bilgisayar simülasyonuna 5 farklı disiplinden 14 oyuncu katılmıştır. Axelrod (1984) çalışmasında, bu simülasyon sonucunda elde ettiği sonuçları sunmaktadır. Yapılan turnuva çalışması kapsamında oyunun kuralları önceden belirlenmiştir. Bu kurallara göre;

4. Her katılımcı her turda işbirlikli ya da işbirliksiz stratejilerinden birini sonuç olarak veren bir program yazacaktır.
5. Program önceden oynanmış oyunlara ilişkin geçmişi karar almada kullanma yetisine sahip olacaktır.
6. Round-Robin* olarak yapılandırılan turnuvada her katılımcı bir diğeri ile ikili olarak eleştirilecektir.
7. Rastlantısal stratejiler kullanılabilir.
8. İşbirlikli ya da işbirliksiz stratejilerin seçiminde eşit olasılık söz konusudur.
9. Her program diğeri ile iki yüz defa karşılaşacak ve deneyin tamamı beş kez tekrarlanacaktır.
10. Her iki oyuncunun da işbirliği yapması durumunda her ikisi de 3 puan, ikisinin de işbirliksiz stratejiyi seçmesi durumunda her ikisi de 1 puan, bir tanesi işbirlikli stratejiyi seçerken bir diğeri işbirliksiz stratejiyi seçmesi durumunda işbirlikli stratejideki 0 puan, işbirliksiz stratejideki ise 5 puan kazanacaktır (Axelrod, 1984, s. 28-33).

Yapılan deney sonucunda Toronto Üniversitesi'nden Profesör Anatol Rapoport tarafında gönderilen program en iyi sonucu veren ve *TIT-FOR-TAT (TFT)* yani *kısasa*

* Turnuvada yer alan takımların birbirleri ile karşılaşmalarını ve oyunu kimin kazandığını göstermeye yarayan yöntem.

kıyas olarak adlandırılan strateji ile kazanmıştır. TFT, ilk turda işbirlikli davranışla başlamakla beraber, devam eden turlarda diğer oyuncuların önceki turda uyguladıkları stratejiyi benimsemekle devam etmektedir. Böylece en iyi kazancı veren strateji için işbirliğini sadece başlatmak değil, devam ettirmek de önem kazanmaktadır.

İlk turnuva sonucunda ortaya çıkan bu şaşırtıcı sonuç Axelrod'u analizlerini derinleştirmek adına ikinci bir turnuva düzenlemeye sevk etmiştir. Böylece, ilk turnuvadan çok daha fazla (6 ülkeden 64 katılımcı) programın katılması ve ilk turnuvanın sonuçlarından hepsinin haberdar edilmesi ile düzenlenen ikinci turnuvada da kazanan yine TFT stratejisi ile Rapoport olmuştur (Axelrod, 1984, s.20) Bu turnuvalar sonucunda bir karar alma kuralını başarılı kılan dört özellik olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlardan ilki, gereksiz çatışmadan kaçınmak için, diğer oyuncu işbirliği yaptığı sürece işbirliği yapmaktır. İşbirliksiz stratejiyi tercih edenlerle karşı karşıya kalmanın kışkırtıcılığına rağmen intikam amaçlamadan misilleme ile cevap verilmelidir. Bunu gerçekleştirirken de affedici olmak gerekmektedir. Son olarak da, davranışların şeffaf olması sayesinde diğer oyuncular açısından, herhangi bir oyuncunun davranış kalıplarını adapte edebilir hale getirmesi açısından önem arz etmektedir (Axelrod, 1984, s.20).

EK 3. Python Program Kodları

```
import numpy as np

import networkx as nx

import matplotlib.pyplot as plt

from math import exp,log

from random import random,randint

from statistics import mean

# çift sayili olanlar a

# tek sayili olanlar b

# sabitler

sehir_sayisi = 80

isbirliksiz_orani = 0.5

mutasyon_orani = 0.01

rasgele_sehir = 0

birikim = np.zeros(sehir_sayisi)

isbirlikci = np.ones(sehir_sayisi,dtype=np.int)

isbirlikci_tarihi = []

topoloji = np.zeros([sehir_sayisi,sehir_sayisi])

apl = []

cc = []

def Initialize():

    # topoloji matrisinin olusturulmasi

    # herkes sagdaki ve soldaki sehirle komsu

    topoloji[0][-1] = 1
```

```

topoloji[-1][0] = 1

for i in range(sehir_sayisi-1):

    topoloji[i][i+1] = 1

    topoloji[i+1][i] = 1

# rasgele sehir baglantisi

# rasgele_sehir = sehir_sayisi//3

x=[randint(0,sehir_sayisi-1) for p in range(0,rasgele_sehir)]

y=[randint(0,sehir_sayisi-1) for p in range(0,rasgele_sehir)]

for i in range(rasgele_sehir):

    topoloji[x[i]][y[i]]=1;

    topoloji[y[i]][x[i]]=1;

# isbirlik yapmayanların seçilmesi

# her kişi için zar at

for i in range(sehir_sayisi):

    isbirlikci[i] = random()>isbirliksiz_orani

# q = randint(0,sehir_sayisi);

# Apl ve CC değerlerinin esit olduğu bağlantı sayısının histogramının hesaplanması

def kesisim_noktasi_histogrami(tur_sayisi):

    Initialize();

    hst = []

    x_coords,y_coords = np.where(topoloji==0)      #bos bağlantıları bul

    for h in range(tur_sayisi):

        lst = np.random.permutation(range(len(x_coords))) #eklenme sırası

        G = nx.from_numpy_matrix(topoloji)

        for i in range(500):

```

```

G.add_edge(x_coords[lst[i]],y_coords[lst[i]])

if i>190:

    apl = nx.average_shortest_path_length(G)/sehir_sayisi*4

    cc = nx.average_clustering(G)

    if apl<cc:

        print([h,i])

        hst.append(i)

        with open('hist.txt','a') as f:

            f.write(str(i)+' ')

        break

# Histogrami cizdirme

plt.figure(4)

plt.hist(hst,50)

plt.show()

# Histogram onceden hesaplandiyse dosyadan alinan bilgilerle gosterilmesi

def kesisim_histogrami_gosterme():

    with open('hist.txt') as f:

        hst = [int(x) for x in next(f).split()]

    plt.figure(4)

    plt.hist(hst,50)

    plt.title('Kucuk Dunya Tur Sayisi Histogrami')

    plt.xlabel('Tur Sayisi')

    plt.savefig('hist.png', bbox_inches='tight')

    plt.show()

# kazanc matrisleri

```

```

standart_model = [[(0.3,0.3),(1.1,0)],[(0,1.1),(0.6,0.6)]]

prebisch_singer = [[(0.3,0.3),(1.1,0)],[(0,1.1),(1,0.6)]]

# verilen sehrin komsularini bulur

def komsulari_bul(sehir_no):

    komsu = [sehir_no]

    for i in range(sehir_sayisi):

        if topoloji[sehir_no][i] == 1:

            komsu.append(i)

    return komsu

# isbirlikli ve isbirliksiz sehirlerin listesini verir

def isbirlikci_sehir_listesi():

    sehir_isbirlikci = np.ma.masked_array(np.arange(sehir_sayisi),mask=1-
isbirlikci).compressed()

    sehir_isbirliksiz =
np.ma.masked_array(np.arange(sehir_sayisi),mask=isbirlikci).compressed()

    return sehir_isbirlikci,sehir_isbirliksiz

# sehire ve komsuluklarına göre tüm komsuların kazançlarının hesaplanması

def f1(sehir_no):

    m=0.5

    c=0

    d=1/4

    # komsulari bulma

    komsu = komsulari_bul(sehir_no)

    isbirlikci_komsu = isbirlikci[komsu]

    p = mean(isbirlikci_komsu)    # isbirlikci oranı

    kazanc = np.zeros(len(isbirlikci_komsu))

```

```

for i in range(len(isbirlikci_komsu)):

    if isbirlikci_komsu[i] == 1: #komsu isbirlikci ise

        kazanc[i] = m*p+c

    else:                #komsu isbirliksiz ise

        kazanc[i] = m*p+d

return kazanc

# sehire ve komsuluklarına gore tum komsuların kazançlarının hesaplanması

def f2(sehir_no):

    m=0.5

    c=0

    d=1/4

    # komsuları bulma

    komsu = komsulari_bul(sehir_no)

    isbirlikci_komsu = isbirlikci[komsu]

    p = mean(isbirlikci_komsu)    # isbirlikci oranı

    kazanc = np.zeros(len(isbirlikci_komsu))

    for i in range(len(isbirlikci_komsu)):

        if isbirlikci_komsu[i] == 1: #komsu isbirlikci ise

            kazanc[i] = 1.0/2.5*exp(m*p)+c

        else:                #komsu isbirliksiz ise

            kazanc[i] = 1.0/2.5*exp(m*p)+d

    return kazanc

# verilen kazanc matrisine göre ülkenin ve sağ komşusunun kazancını hesaplar

def tekil_kazanc_hesapla(sehir_no,kazanc_matrisi):

    kazanc = [0,0]

```

```

i = isbirlikci[sehir_no] # sehir isbirlikci mi

a = sehir_no%2;          # sehirin gelismislik durumu

# # soldaki sehir icin:

# sehir_sol = sehir_no-1

# i_sol = isbirlikci[sehir_sol]

# kazanc += kazanc_matrisi[i][i_sol][0]

# sagdaki sehir icin:

sehir_sag = (sehir_no+1) % sehir_sayisi

i_sag = isbirlikci[sehir_sag]

kazanc[0] += kazanc_matrisi[i][i_sag][a]

kazanc[1] += kazanc_matrisi[i][i_sag][1-a]

return kazanc

def coklu_kazanc_hesapla(sehir_no,kazanc_modeli):

    komsu = komsulari_bul(sehir_no)

    kazanc = kazanc_modeli(sehir_no)

    return kazanc[0]

# topolojiye rasgele baglanti ekler

def baglanti_ekle():

    global topoloji

    x_coords,y_coords = np.where(topoloji==0)

    baglanti = randint(0,len(x_coords)-1)

    topoloji[x_coords[baglanti],y_coords[baglanti]] = 1

    G = nx.from_numpy_matrix(topoloji)

    apl.append(nx.average_shortest_path_length(G)/sehir_sayisi*4)

    cc.append(nx.average_clustering(G))

```

```

# bir turun simule edilmesi

def tur(kazanc_matrisi,kazanc_modeli):

    global birikim

    global isbirlikci

    global isbirlikci_tarihi

    kazanclar = np.zeros(sehir_sayisi)

    # kazanclari hesapla

    for i in range(sehir_sayisi):

        tekil_kazanclar = tekil_kazanc_hesapla(i,kazanc_matrisi)

        kazanclar[i] += tekil_kazanclar[0]

        kazanclar[(i+1)%sehir_sayisi] += tekil_kazanclar[1]

        kazanclar[i] += coklu_kazanc_hesapla(i,kazanc_modeli)

    # en kazancli komsulari bul ve onların isbirliktelik modellerini benimse

    yeni_isbirlikci = np.zeros(sehir_sayisi,dtype=np.int)

    for i in range(sehir_sayisi):

        komsular = komsulari_bul(i);

        en_kazancli_komsu = np.argmax(kazanclar[komsular])

        yeni_isbirlikci[i] = isbirlikci[en_kazancli_komsu]

    isbirlikci = yeni_isbirlikci

    # her sehir için mutasyon hesapla

    for i in range(sehir_sayisi):

        if random()<mutasyon_orani:

            isbirlikci[i] = 1 - isbirlikci[i]

    isbirlikci_tarihi.append(mean(isbirlikci))

    return kazanclar

```

```

def
simulasyon(baslangic_baglanti_sayisi,bitis_baglanti_sayisi,tur_sayisi,kazanc_matrisi,ka
zanc_modeli):

    global topoloji

    global birikim

    eklenen_baglanti = 0

    for i in range(baslangic_baglanti_sayisi):

        baglanti_ekle()

        eklenen_baglanti += 1

    for i in range(tur_sayisi):

        print(i)

        kazanclar = tur(kazanc_matrisi,kazanc_modeli)

        # print(kazanclar)

        birikim = np.add(birikim,kazanclar)          # toplam birikimlerin hesaplanmasi

        if eklenen_baglanti<bitis_baglanti_sayisi:

            baglanti_ekle()

            eklenen_baglanti += 1

        else:

            apl.append(apl[-1])

            cc.append(cc[-1])

def figurler(isim,baslangic = 0, bitis = -1):

    # Simlasyon isbirlikci orani

    plt.figure(1)

    plt.clf()

    plt.plot(range(baslangic+1,bitis+1),isbirlikci_tarihi[baslangic:bitis])

    plt.title('Isbirlikci Orani, Tur: %d' % bitis)

```

```

plt.xlabel("Tur")

plt.axis([baslangic,bitis,0,1])

plt.savefig('oran'+isim+'.png', bbox_inches='tight')

# plt.show()

# Her ajanin toplam kazanci

sehir_isbirlikci,sehir_isbirliksiz = isbirlikci_sehir_listesi()

plt.figure(2)

plt.clf()

plt.bar(sehir_isbirlikci,birikim[sehir_isbirlikci],color='b')

plt.bar(sehir_isbirliksiz,birikim[sehir_isbirliksiz],color='r')

plt.title('Sehirlerin Toplam Kazanci, Tur: %d' % bitis)

plt.xlabel('Sehir Numarasi')

plt.savefig('kazanc'+isim+'.png', bbox_inches='tight')

# plt.legend(['Isbirlikci','Isbirliksiz'], loc=4, borderaxespad=0.3)

labels={}

for i in range(sehir_sayisi):

    labels[i]=str(i)

# Topoloji Grafigi ve baglantilar

plt.figure(3)

plt.clf()

G = nx.from_numpy_matrix(topoloji)

pos=nx.circular_layout(G)

nx.draw(G,pos,cmap=plt.get_cmap('jet'),node_color=isbirlikci)

nx.draw_networkx_labels(G,pos,labels,font_size=12,font_color='w')

plt.title('Baglanti Haritasi, Tur: %d'% bitis)

```

```

plt.savefig('topoloji'+isim+'.png', bbox_inches='tight')

# apl ve cc degerlerinin gosterimi

plt.figure(4)

plt.clf()

plt.plot(range(baslangic+1,bitis+1),apl[baslangic:bitis],'b')
plt.plot(range(baslangic+1,bitis+1),cc[baslangic:bitis],'r')

plt.title('Apl ve CC degerleri, Tur: %d' % bitis)

plt.xlabel('Tur Sayisi')

plt.legend(['Apl','CC'])

plt.axis([baslangic,bitis,0,1])

plt.savefig('aplcc'+isim+'.png', bbox_inches='tight')

# plt.show()

# simulasyon ve figurler

Initialize()

for i in range(4):

    simulasyon(0,100,200,standart_model,f1)

    figurler(str(i),i*200,(i+1)*200)

    #print(i)

```

EK 4. Histogramı Oluşturan Bağlantı Sayıları Değerleri

269 290 339 303 275 307 277 322 274 299 308 309 305 297 269 290 269 329 278 256
310 273 291 319 243 250 298 284 314 255 322 329 269 295 243 314 263 277 299 290
274 283 314 317 294 266 274 252 253 278 299 296 292 233 280 300 297 317 286 279
270 254 228 317 330 265 276 243 283 271 318 303 250 294 279 285 273 261 284 289
284 283 285 272 250 302 235 277 303 317 299 316 297 285 270 267 292 292 358 271
274 281 322 320 303 300 303 287 306 305 339 333 324 320 299 282 310 259 281 331
272 271 268 283 323 307 309 289 323 311 276 337 302 305 312 284 256 305 291 281
292 319 285 280 321 308 306 308 330 290 315 270 258 295 273 325 294 275 285 272
323 296 293 263 279 298 309 293 283 280 251 296 321 301 267 258 298 281 333 322
293 234 256 289 307 302 289 271 322 285 341 282 288 275 291 256 259 281 263 260
270 268 325 329 291 300 300 265 262 329 309 287 297 273 301 293 309 316 210 286
333 293 318 264 315 323 266 308 298 269 247 277 271 300 301 292 288 304 287 292
288 261 294 307 332 306 254 314 291 293 278 305 285 327 312 299 267 288 295 283
295 291 297 268 341 259 265 330 287 284 279 276 270 269 276 303 313 301 275 256
292 324 324 250 338 301 311 279 306 283 270 323 311 319 320 298 308 262 269 289
274 284 290 322 274 284 325 297 293 284 341 274 247 314 306 275 273 301 306 305
216 318 275 307 269 308 312 283 330 315 299 300 314 283 301 248 282 296 334 269
270 306 301 264 291 315 282 289 281 249 277 291 285 257 278 298 289 328 263 292
251 281 277 306 280 336 319 297 286 323 299 323 288 301 234 279 270 306 316 248
280 241 301 305 329 296 311 329 290 270 286 205 306 273 284 270 314 297 286 297
309 277 304 249 328 279 281 282 306 320 311 292 301 321 309 317 281 314 288 280
267 301 244 273 275 318 315 313 313 293 342 299 321 291 282 256 272 272 290 285
279 282 293 346 300 297 297 257 260 272 303 284 303 304 294 333 256 317 291 321
292 236 275 269 310 287 300 327 237 317 253 303 326 235 292 263 293 311 280 283
310 316 303 322 271 309 303 269 310 302 301 270 299 278 224 297 313 283 301 257
244 239 332 326 293 317 286 290 260 255 292 288 300 292 277 290 286 267 238 307
293 297 302 271 259 278 247 274 348 289 283 313 323 274 326 298 269 317 311 302
311 305 297 304 269 322 305 253 266 308 281 267 329 267 330 303 299 249 340 296

300 320 315 271 240 301 286 266 267 310 289 312 306 282 290 230 295 270 273 334
325 278 323 328 276 249 308 302 268 259 317 259 240 283 274 284 296 267 300 288
288 279 306 323 340 277 298 281 318 260 280 330 299 301 285 219 324 310 277 361
301 338 306 235 291 277 282 311 278 261 252 308 272 274 290 306 329 228 333 306
289 284 275 308 295 300 292 317 245 280 298 290 312 279 306 330 315 323 280 252
263 284 316 300 332 293 315 293 253 292 316 282 313 296 303 267 309 273 277 288
307 275 300 325 308 272 290 312 275 292 282 288 262 326 324 284 264 274 290 313
303 321 289 281 316 339 301 284 333 319 280 302 323 298 272 312 275 303 293 283
295 304 311 280 316 327 306 255 296 284 309 285 249 292 295 289 321 297 275 347
261 283 303 295 296 266 308 289 286 284 301 336 277 282 293 301 270 282 270 317
301 338 301 288 265 309 336 270 311 292 312 283 286 296 275 305 292 272 301 322
312 263 278 311 266 280 282 306 349 322 281 314 287 300 305 311 309 301 257 255
291 283 315 302 288 303 265 347 305 329 292 292 313 336 339 282 282 288 265 313
335 322 277 314 321 305 313 341 244 287 290 303 288 249 283 250 304 322 316 264
304 262 316 320 290 279 308 280 319 312 286 311 352 300 294 291 258 330 310 295
248 294 324 327 286 301 295 313 276 328 275 298 302 271 284 286 296 322 281 262
276 283 253 272 260 286 291 316 321 295 270 303 302 297 308 308 325 315 274 305
325 271 294 243 308 301 314 256 278 322 340 292 241 313 253 327 275 288 282 308
267 268 292 302 274 239 285 298 296 288 290 309 240 286 273 315 292 300 318 281
319 283 298 321 303 302 346 315 264 321 296 341 280 267 293 304 313 298 285 236
313 284 330 306 312 265 302 241 308 240 285 291 298 307 291 252 284 307 300 300
310 284 304 285 265 280 266 257 285 285 268 294 302 305 292 278 270 270 291 291
336 274 329 283 303 291 297 333 266 273 319 338 267 294 285 293 334 280 293 321
320 333 322 268 280 319 334 307 315 238 289 320 271 285 284 324 240 269 276 325
278 263 262 310 265 274 278 317 304 276 310 293 291 287 304 293 280 275 289 319
299 299 259 268 280 267 293 280 292 246 292 287 300 252 343 305 244 269 285 314
258 302 296 279 297 289 290 325 282 299 252 324 283 299 278 316 299 276 266 273
267 305 281 278 270 272 326 320 282 344 303 314 293 269 232 298 286 300 269 275
257 290 279 294 279 273 326 306 275 298 295 256 315 301 257 270 273 312 340 294
271 296 296 314 269 310 304 295 255 315 302 281 278 291 292 295 308 323 302 285
271 283 287 283 286 249 275 264 296 330 286 290 275 265 249 275 310 283 288 269
284 295 287 270 304 292 314 325 311 266 270 274 305 308 315 291 276 313 313 293

281 255 308 271 256 276 252 294 310 246 316 287 311 308 271 300 282 300 292 312
278 302 261 265 284 278 293 315 293 291 279 284 243 240 313 320 274 293 316 295
291 278 275 305 360 290 298 289 322 281 283 301 306 298 262 319 286 291 251 306
289 291 306 296 328 281 314 282 303 286 287 251 278 275 285 267 303 286 266 301
255 329 303 279 339 259 322 336 266 291 297 251 244 262 312 281 323 300 284 269
235 311 285 291 277 300 308 277 325 317 272 313 287 312 272 311 309 305 288 342
326 308 301 268 292 289 322 289 284 323 285 332 272 237 271 325 300 333 312 260
311 317 280 304 302 285 316 268 263 266 299 314 294 267 236 298 276 317 277 304
258 302 304 293 249 295 257 287 277 260 270 297 268 214 278 305 261 271 250 334
325 291 279 315 243 300 280 307 202 280 295 323 285 293 304 327 315 278 305 277
277 279 270 290 306 284 317 293 317 297 297 302 298 299 311 286 275 280 312 282
312 284 285 308 300 256 285 293 285 272 308 251 306 266 275 259 351 330 284 276
263 294 291 284 276 306 268 309 237 330 283 258 299 260 292 296 294 293 286 262
355 280 292 311 248 312 281 282 299 305 323 293 305 282 312 315 288 328 300 247
273 300 282 286 319 287 319 278 258 286 270 279 294 322 300 319 313 315 290 296
317 261 326 266 303 315 263 266 283 275 277 315 342 319 290 250 258 267 310 301
313 275 306 278 299 241 293 292 332 312 299 285 320 309 303 320 298 289 329 321
278 303 339 275 295 286 315 276 307 274 321 286 334 273 300 283 287 251 316 271
319 332 251 302 276 285 270 307 300 297 272 301 272 304 292 285 276 292 300 283
293 309 287 301 279 214 258 235 303 306 269 309 261 287 271 245 276 282 317 304
293 266 281 307 295 286 312 317 289 260 289 279 292 344 305 259 312 266 301 277
293 270 344 286 289 297 292 293 281 278 289 331 239 303 296 296 261 265 291 288
300 269 259 268 304 295 308 274 297 306 323 281 284 331 300 278 284 283 289 269
306 308 314 258 315 319 289 328 334 314 272 318 280 266 279 293 324 304 318 290
335 306 314 271 292 321 323 300 269 342 303 311 250 329 300 293 283 314 245 316
277 287 311 293 220 335 298 305 280 294 283 272 302 306 296 284 278 321 308 284
305 312 301 289 297 237 326 275 304 274 310 268 281 317 294 259 275 264 293 304
272 296 266 299 293 287 287 294 274 273 343 301 313 268 315 270 290 285 271 313
264 269 271 327 327 287 293 282 344 309 288 286 272 269 264 320 264 311 331 303
313 285 262 227 302 291 295 226 261 285 256 265 286 290 281 305 298 236 266 303
313 336 291 253 331 298 297 293 282 268 260 306 318 311 267 304 277 320 291 294
244 279 273 281 313 302 256 273 282 268 295 318 297 322 281 281 289 277 302 246

277 284 250 292 324 314 332 294 276 284 349 283 289 258 241 315 288 289 290 300
336 315 279 297 315 283 288 294 316 295 300 287 300 311 254 336 298 284 296 293
290 329 337 302 291 269 258 272 303 302 332 299 267 284 283 324 296 264 260 281
304 297 352 271 266 294 276 299 310 280 297 222 311 277 279 299 289 270 289 268
285 293 271 273 318 304 262 291 284 291 325 242 307 312 266 265 295 272 265 278
301 284 242 293 350 314 291 310 306 300 331 296 292 296 292 295 300 262 267 297
285 314 267 313 330 272 301 311 294 299 285 263 305 328 312 304 306 306 267 310
298 301 255 289 268 328 300 297 303 311 307 299 275 348 273 293 297 310 284 255
324 307 279 254 264 289 301 317 307 325 270 314 342 241 310 309 321 288 273 302
329 299 303 302 290 319 297 293 308 330 239 307 269 285 253 314 287 303 303 300
265 331 296 284 315 319 314 302 275 303 319 270 255 313 271 312 259 307 294 346
275 294 307 292 307 281 281 312 273 293 303 259 302 288 297 254 301 259 287 292
276 265 271 286 269 279 281 281 269 247 301 310 314 339 314 295 305 295 293 308
308 284 297 280 278 289 283 291 312 300 278 303 275 297 273 267 329 274 295 305
273 292 315 253 285 240 246 293 264 278 297 313 273 247 258 337 240 269 308 331
305 303 267 301 314 297 299 310 309 256 283 333 263 278 329 295 320 311 298 330
243 279 342 287 301 325 327 275 273 262 266 301 245 315 309 267 223 317 325 267
306 276 308 250 270 266 293 289 273 304 279 287 307 258 281 282 289 270 277 343
278 269 313 252 316 284 301 305 328 289 294 292 302 310 311 311 269 303 251 258
270 287 306 296 299 283 337 300 306 319 251 292 286 251 324 254 273 324 302 267
286 256 276 302 321 274 306 279 288 309 317 259 270 310 238 278 271 314 257 279
294 321 296 271 350 289 305 289 273 298 309 304 308 320 298 292 308 304 292 275
326 306 314 287 243 316 319 301 321 338 322 302 311 275 233 301 310 322 273 292
294 307 286 318 296 294 310 280 283 297 232 293 283 301 299 290 272 317 298 353
281 314 209 312 287 268 276 304 319 323 319 288 293 313 299 314 295 248 317 316
283 318 305 295 280 281 302 305 301 298 269 302 309 289 301 334 297 288 298 252
294 287 277 312 296 290 305 297 293 314 236 297 262 312 296 296 264 344 274 326
284 277 329 325 266 256 310 307 292 296 294 302 261 308 289 294 294 293 306 229
305 260 284 280 322 283 276 284 247 293 290 305 248 245 315 277 329 275 309 330
290 281 351 335 280 284 330 315 309 287 296 252 301 288 263 280 304 285 311 265
302 299 274 265 284 300 314 309 322 306 308 267 302 276 290 284 294 261 293 292
285 296 323 281 273 279 295 313 307 266 275 318 285 258 292 281 305 322 338 308

281 278 266 252 239 310 297 285 252 276 295 268 292 273 316 264 276 298 311 268
276 267 282 282 309 272 301 298 290 318 288 256 315 312 306 292 323 335 291 272
286 255 342 325 318 315 279 313 271 309 270 335 293 275 289 316 270 291 281 278
304 272 277 306 294 310 287 266 310 336 269 304 308 236 287 235 307 316 287 301
305 294 296 261 316 310 302 308 272 300 282 311 269 339 271 258 243 294 269 274
272 282 330 280 315 299 288 281 292 312 327 289 297 259 285 272 273 279 295 314
287 265 278 314 289 261 287 302 324 317 258 298 260 269 277 341 286 290 278 283
278 315 289 288 273 293 298 327 266 321 250 308 282 275 273 292 311 250 257 293
288 246 264 321 297 287 328 318 282 301 299 300 297 303 309 283 245 283 273 316
262 276 323 293 281 296 297 257 313 304 308 283 295 314 292 335 306 268 270 277
325 281 194 323 294 299 296 316 267 328 269 296 290 306 273 302 316 236 268 283
318 312 278 300 249 318 250 289 239 298 279 334 308 277 292 320 251 284 240 291
314 275 308 261 313 253 282 298 295 333 306 285 256 296 298 279 306 308 301 294
327 318 244 314 295 304 298 283 302 302 279 271 331 238 242 261 298 262 287 239
321 336 300 297 294 288 298 292 284 289 267 314 259 251 282 271 265 290 304 297
325 273 337 327 251 317 302 309 248 227 303 329 308 352 321 279 245 349 310 316
294 259 279 281 293 281 298 308 293 289 267 312 307 308 283 273 320 295 307 269
298 274 272 323 298 300 278 295 294 307 269 306 259 293 322 242 252 284 314 275
274 321 286 334 299 334 291 297 282 299 285 292 285 276 329 255 294 273 337 311
275 312 319 262 288 309 316 315 297 312 293 291 262 310 306 246 274 269 299 254
276 283 298 310 325 282 300 346 326 261 292 281 313 286 297 312 253 323 318 286
278 279 302 319 291 320 249 273 240 253 297 302 275 298 296 300 312 284 315 305
321 221 317 297 297 293 308 290 300 269 304 294 356 302 240 301 319 316 293 248
265 304 256 249 306 311 302 279 241 279 320 304 309 291 267 333 291 311 299 289
306 328 284 309 300 294 285 302 279 264 278 309 281 295 294 306 273 281 296 284
258 295 303 292 262 321 343 316 293 321 317 300 283 301 240 310 316 289 255 271
358 291 341 308 281 303 308 292 326 277 291 286 282 260 271 271 277 289 309 266
296 294 268 303 292 254 310 304 292 299 323 257 266 273 265 259 313 273 277 259
293 320 254 300 337 312 238 275 298 307 301 305 291 320 297 327 305 306 331 295
294 285 309 272 279 284 291 265 280 303 289 282 294 321 326 306 294 304 275 288
316 287 297 284 288 311 282 279 341 315 284 310 307 292 329 300 298 309 253 319
288 283 295 285 288 291 280 324 280 266 262 313 284 323 300 281 267 307 330 298

273 265 350 286 320 313 294 302 256 285 323 300 276 305 310 278 285 304 287 331
286 294 236 311 274 304 280 303 317 263 308 302 240 316 264 280 280 313 256 327
291 241 305 291 292 299 281 300 303 292 300 292 317 320 285 291 273 297 321 323
271 339 325 293 288 310 321 302 304 288 257 305 291 295 307 252 294 266 289 316
298 314 285 323 312 299 322 233 286 301 312 255 301 289 296 307 292 317 299 263
270 284 297 279 297 250 331 282 248 255 276 191 269 297 315 323 299 337 277 329
269 272 285 302 309 307 295 280 275 328 263 317 293 276 292 319 299 260 293 299
277 271 333 280 268 243 314 304 258 308 239 297 238 286 284 317 286 331 258 316
256 265 295 299 292 304 299 292 280 275 271 298 263 318 323 303 293 327 232 312
302 269 305 279 275 311 315 310 314 304 268 296 310 312 254 282 280 265 277 330
300 320 318 291 330 342 318 281 321 285 297 294 283 335 323 280 278 246 327 278
256 252 321 329 338 302 278 248 283 299 305 282 311 285 316 230 306 276 292 310
271 308 265 283 303 318 280 310 285 284 272 302 290 295 301 240 299 264 320 320
317 298 285 303 295 298 317 244 310 288 291 246 298 280 273 309 272 347 334 269
286 330 307 287 301 294 272 316 271 270 301 319 270 252 286 299 265 306 294 306
284 289 261 325 294 282 320 292 270 295 297 268 300 284 261 295 277 299 286 288
301 286 344 279 338 284 283 282 317 305 316 277 314 297 316 278 278 264 298 284
285 292 264 302 306 302 268 316 309 267 248 322 280 276 318 304 250 283 316 276
274 307 262 335 296 304 296 307 298 263 271 313 260 302 313 279 318 332 218 257
338 302 303 277 307 323 295 296 292 268 297 281 321 282 312 251 305 328 313 305
301 347 330 312 308 325 206 213 282 297 296 245 293 267 329 319 334 278 308 295
239 292 309 284 314 294 311 272 280 260 256 292 285 298 271 269 296 303 280 285
264 340 285 282 332 275 296 270 266 247 295 259 262 293 269 282 241 268 290 358
303 286 310 261 316 271 265 282 267 314 315 268 293 309 276 294 304 304 298 301
276 314 304 270 303 287 292 321 288 291 302 316 304 255 302 270 287 336 310 274
274 288 293 309 271 303 306 317 318 286 291 333 310 252 261 276 268 249 299 316
303 298 253 262 302 270 240 343 257 306 324 295 314 302 303 261 311 282 303 299
239 285 296 309 265 300 296 333 324 296 294 314 294 261 261 309 245 286 318 267
288 290 331 296 322 261 313 355 275 300 282 283 305 317 284 310 289 280 321 287
307 293 291 286 305 271 295 289 222 272 337 263 230 296 260 265 292 239 302 295
297 295 306 296 288 283 290 251 262 283 262 306 278 341 304 296 281 308 326 281
265 271 303 314 271 303 217 283 312 291 288 281 327 271 337 320 243 297 279 262

306 352 303 306 275 261 302 300 316 316 339 310 286 313 314 273 274 284 314 264
299 316 273 258 318 287 284 268 268 306 264 271 282 277 270 313 313 243 291 265
265 277 314 276 255 324 310 286 274 301 285 337 254 262 283 282 291 307 300 322
267 281 294 310 274 340 251 282 295 290 224 285 274 296 311 304 289 266 293 311
302 296 314 291 314 266 256 283 316 291 293 288 305 265 319 328 299 319 345 291
289 254 295 291 290 280 289 304 308 311 323 283 292 282 327 284 281 324 274 307
300 280 278 272 272 302 241 315 284 294 267 299 306 259 299 270 306 285 275 267
238 294 281 289 295 289 294 281 316 248 309 287 317 296 295 293 309 239 307 246
292 331 271 308 310 322 266 261 286 278 300 299 337 286 312 306 267 300 330 269
282 278 290 263 296 326 302 233 322 262 274 346 291 326 281 295 313 290 324 327
254 307 285 272 297 293 298 293 284 286 298 296 296 299 283 287 274 261 293 295
245 294 297 323 254 300 257 346 272 311 265 311 294 284 293 285 268 268 300 303
303 295 278 275 290 250 282 308 274 292 307 301 258 281 329 321 284 288 278 278
318 318 298 319 272 281 303 302 282 291 293 255 289 289 257 289 328 277 287 269
318 292 325 294 309 263 320 283 318 294 244 322 280 278 269 281 280 291 275 277
272 238 334 268 292 305 283 314 275 307 301 256 321 268 320 244 289 294 278 284
299 307 317 280 287 289 261 307 303 305 316 253 293 320 287 274 294 285 300 305
298 310 307 271 260 314 303 292 280 263 263 298 292 281 319 297 284 350 246 295
308 314 278 300 313 268 319 313 290 261 290 241 320 300 263 287 260 279 251 344
323 270 323 317 272 300 280 295 304 315 296 308 292 312 318 327 294 324 277 295
284 314 307 337 303 318 293 279 287 309 278 268 282 321 307 282 293 286 273 285
334 246 292 268 273 294 306 277 284 304 254 298 278 304 307 270 250 317 286 306
279 319 294 339 253 306 321 309 283 298 309 304 286 316 305 282 293 277 300 325
314 280 306 279 327 305 302 281 295 304 307 292 321 292 287 288 346 316 290 293
298 287 298 280 283 302 264 276 275 265 291 326 248 290 290 311 258 277 273 305
271 317 305 281 314 331 292 289 313 305 288 312 286 298 282 265 286 276 336 255
305 283 308 286 271 299 304 332 263 295 317 290 317 300 314 261 291 289 327 291
245 318 222 316 317 282 279 272 305 282 299 354 283 304 287 285 283 269 320 292
276 303 333 315 304 310 309 308 307 291 275 301 283 308 191 282 253 289 257 348
292 286 301 273 300 341 290 292 315 280 260 231 322 302 248 288 290 313 294 269
283 272 282 337 280 292 275 322 257 267 306 254 280 269 324 285 247 275 299 277
236 315 319 311 284 281 261 299 307 303 334 303 295 309 279 273 303 272 305 252

323 310 311 301 282 315 315 264 287 241 275 293 330 310 271 300 293 301 340 321
241 332 286 288 296 294 250 305 259 274 270 296 302 281 299 309 286 297 295 289
286 292 276 298 288 328 320 326 300 278 313 315 278 312 281 282 268 281 291 313
326 287 249 287 232 317 296 277 327 282 310 260 297 325 295 295 275 245 326 264
296 281 271 330 318 236 278 276 278 287 241 282 283 317 306 293 294 319 284 256
294 315 271 290 271 346 293 307 281 294 249 316 327 229 290 272 255 301 285 317
282 297 287 309 307 264 295 334 237 337 268 312 267 349 298 243 289 300 260 280
292 287 313 295 341 250 286 274 313 319 250 283 240 316 278 352 272 266 297 325
320 336 280 319 280 310 313 286 305 286 270 294 290 281 267 321 295 292 285 290
294 300 284 282 318 254 284 285 309 235 288 286 284 295 271 247 260 276 313 259
219 276 288 281 257 326 326 278 305 265 291 276 275 278 330 310 314 307 282 338
289 273 291 288 326 287 348 263 307 275 281 320 312 285 326 308 284 287 302 274
331 298 304 315 267 281 243 258 310 295 263 304 309 312 263 286 286 270 283 302
299 271 280 286 328 281 308 280 314 331 309 299 273 234 269 292 278 289 276 304
294 301 238 301 300 302 297 302 314 283 291 259 286 335 308 324 238 264 321 275
277 303 310 302 278 285 288 274 291 284 273 296 235 289 248 264 267 290 295 278
277 282 312 317 292 311 306 303 275 263 262 271 307 304 277 289 318 271 319 281
317 297 281 290 277 285 266 232 332 303 292 300 274 234 327 286 302 318 250 280
346 289 253 296 274 288 302 299 275 293 306 313 271 324 306 301 272 303 305 297
289 328 289 304 337 281 276 277 309 214 264 249 286 300 294 298 287 277 213 293
270 283 305 303 293 322 284 305 264 308 292 297 293 255 262 315 309 276 300 294
274 256 276 281 307 282 297 311 312 285 281 268 308 297 305 313 338 244 291 319
294 313 258 291 316 310 303 292 272 302 316 314 257 241 274 302 319 329 310 301
243 236 297 295 281 298 285 290 268 299 299 269 322 295 296 260 301 289 266 310
306 285 298 258 290 224 299 316 277 314 281 290 276 305 281 258 257 301 278 259
262 240 304 279 262 315 280 243 273 325 238 255 291 287 302 307 269 287 315 297
287 330 297 263 303 304 308 301 284 314 328 275 191 263 260 322 293 260 285 235
207 283 301 301 296 309 272 297 302 313 310 331 287 279 315 316 273 311 267 302
324 333 251 293 319 313 316 291 260 345 244 277 300 286 294 300 342 301 305 283
321 276 293 291 299 285 254 262 301 294 310 301 262 296 304 343 280 308 291 269
311 281 279 288 261 308 320 324 316 311 284 300 294 313 270 307 284 298 301 290
275 272 300 319 264 265 293 310 262 240 298 327 243 295 272 289 314 299 257 312

292 300 291 253 287 358 309 232 292 336 306 333 282 257 288 251 309 267 231 277
327 290 309 301 203 294 311 303 296 344 297 299 327 273 310 330 297 319 276 314
309 308 286 294 311 309 280 283 279 260 287 263 350 287 263 308 287 295 327 270
304 264 323 273 301 301 290 275 299 295 329 314 295 245 273 269 331 290 301 275
303 326 191 267 319 257 290 290 293 277 313 260 279 269 288 278 312 324 280 292
299 317 338 266 315 302 243 303 263 313 295 288 306 290 287 286 312 285 310 290
309 295 297 311 269 293 279 266 267 296 305 280 280 280 292 255 331 267 300 289
270 271 322 275 276 256 322 278 283 291 362 280 283 274 317 293 293 299 303 305
306 261 324 292 309 305 230 283 260 337 271 270 274 292 322 312 346 272 293 310
299 288 289 352 273 281 283 302 268 293 282 298 282 260 326 318 281 280 302 290
298 286 304 315 282 321 284 276 345 283 253 260 286 295 295 276 278 240 294 342
353 242 291 249 298 290 259 247 289 265 285 258 255 311 297 321 276 238 288 254
303 300 306 304 299 287 307 322 291 342 309 270 287 307 289 272 300 284 294 290
284 260 290 304 332 307 276 258 320 264 293 302 295 274 302 295 294 272 297 277
308 290 294 300 309 292 292 325 291 311 264 269 275 273 342 330 295 260 303 251
279 303 329 318 316 266 304 284 289 296 328 294 316 300 282 270 305 282 297 283
314 320 289 318 304 312 301 295 294 303 275 249 311 298 300 294 254 299 257 295
302 314 291 335 301 291 323 261 321 293 262 240 292 289 296 284 279 266 298 284
305 326 248 275 318 281 271 278 300 280 278 320 272 291 261 279 272 277 290 289
284 322 275 267 291 288 315 280 304 300 273 290 320 315 307 268 326 308 297 290
332 282 277 269 321 271 304 272 309 274 295 304 298 300 303 281 327 302 305 297
296 236 298 283 290 321 278 341 305 287 251 306 296 240 299 281 319 301 277 257
317 317 261 296 296 290 257 270 257 309 289 313 273 311 277 252 312 251 282 295
282 301 299 307 290 326 318 292 326 300 269 279 272 317 311 309 278 299 294 248
274 318 311 258 276 262 311 283 264 313 298 286 307 282 301 289 280 274 297 316
300 267 331 346 294 304 303 265 272 276 304 274 224 285 260 306 306 301 258 310
293 275 294 264 261 249 299 296 320 252 312 225 316 290 284 257 308 296 314 329
275 290 298 281 286 284 295 302 237 304 289 298 269 287 266 343 291 268 306 305
252 291 303 297 303 319 286 309 309 234 301 284 306 309 292 267 311 346 286 326
294 296 319 266 282 272 320 306 272 277 318 277 284 281 297 310 287 302 262 311
313 279 285 267 309 319 331 296 262 283 333 285 282 281 237 274 256 276 301 261
289 259 291 320 298 278 277 273 290 309 292 305 298 264 264 258 284 313 240 288

238 300 289 293 254 269 293 288 259 332 285 272 321 314 300 319 318 273 269 339
238 326 259 327 320 211 316 289 327 324 261 304 274 259 268 307 288 278 273 304
324 264 255 292 320 293 337 275 323 250 311 309 317 300 262 251 325 257 283 305
296 271 301 277 315 306 301 302 268 288 288 299 294 296 278 273 258 283 309 279
318 303 309 297 276 323 311 309 295 308 272 292 304 278 289 255 309 266 269 322
298 310 253 252 289 305 268 263 269 319 293 306 230 309 277 286 276 260 275 313
294 302 340 271 270 295 302 305 289 284 305 286 232 311 317 276 309 254 328 332
229 306 265 305 300 306 301 314 256 292 285 239 277 254 319 300 307 307 249 284
276 294 304 277 272 280 282 259 266 299 316 275 284 307 288 293 312 277 292 295
256 308 300 328 273 315 302 275 297 302 318 276 312 279 332 293 330 317 294 308
294 277 232 318 324 280 323 266 317 303 287 271 301 331 263 265 306 288 290 279
291 291 289 348 268 272 286 312 261 303 300 304 332 282 298 267 323 310 350 255
311 280 257 300 276 302 327 240 288 268 330 311 267 256 320 314 288 273 332 272
263 303 320 300 293 238 271 249 327 306 279 262 279 270 278 300 288 245 274 274
285 301 291 310 276 261 309 322 330 265 292 303 285 305 301 295 270 247 264 305
331 267 287 319 284 282 284 314 217 283 302 300 351 320 302 299 290 308 290 295
258 316 328 306 286 297 295 324 314 317 277 315 256 279 277 304 322 317 284 270
297 290 271 289 314 309 291 227 281 269 280 302 286 317 297 304 306 292 317 270
315 301 293 304 288 315 324 293 284 323 281 306 306 323 241 301 271 308 303 311
310 258 283 313 295 285 291 284 336 275 282 291 283 279 309 312 280 286 296 292
316 286 297 284 281 254 267 327 282 307 265 324 336 280 283 293 262 276 293 315
256 301 327 294 292 310 305 319 316 289 298 284 303 304 275 308 255 300 303 307
280 291 283 293 283 275 297 296 304 348 317 312 303 212 299 270 314 330 318 266
312 309 281 302 326 253 300 308 321 276 318 313 301 289 310 271 310 327 310 298
311 303 329 283 340 261 316 295 247 280 293 319 311 309 226 330 306 295 310 256
311 295 299 255 298 318 302 266 309 280 313 275 304 265 256 259 282 286 302 287
259 279 331 297 295 273 275 338 299 294 228 303 268 319 281 227 321 262 274 315
270 265 286 284 293 275 296 282 306 312 332 314 301 279 292 307 317 312 322 319
272 265 312 305 318 294 295 279 286 335 283 280 289 297 255 314 308 335 288 303
289 301 283 302 280 285 314 301 280 323 293 249 296 260 305 294 284 267 296 294
273 289 298 324 252 324 278 271 260 286 307 316 287 267 287 273 279 250 301 283
296 244 301 341 276 306 270 287 301 214 294 282 323 283 356 304 289 301 293 263

253 339 327 277 304 320 260 345 291 270 254 259 282 233 351 292 273 293 270 273
313 276 323 288 281 284 280 311 269 295 269 301 326 310 329 268 283 307 285 301
298 323 281 317 307 252 256 312 293 279 269 333 296 283 257 330 283 288 245 287
262 304 315 320 307 300 284 307 336 310 335 308 320 253 313 294 313 300 274 293
293 265 326 244 333 257 299 287 267 298 272 281 282 288 293 318 306 246 311 268
310 313 296 291 252 276 267 293 310 279 260 268 287 310 288 301 274 243 278 253
271 276 287 258 291 296 314 304 332 266 299 306 328 324 284 308 302 240 275 257
333 294 324 282 314 299 306 302 317 277 281 266 304 275 271 277 270 296 286 298
295 298 254 299 302 307 294 302 315 308 253 314 265 327 285 303 269 322 315 338
253 274 295 294 307 313 278 334 262 304 288 307 285 259 275 315 313 247 272 318
295 279 285 248 306 250 326 311 302 259 326 253 302 275 283 245 281 280 268 326
288 288 292 309 299 308 280 283 252 288 267 283 257 311 318 286 288 249 239 210
281 253 325 322 292 289 250 299 324 301 315 305 309 287 316 278 290 302 306 265
287 280 295 253 297 298 287 303 290 282 295 330 355 307 305 286 270 290 259 271
287 313 351 265 293 299 293 305 285 289 304 307 315 254 260 293 324 268 322 291
322 293 356 336 327 287 290 314 283 302 269 263 306 287 281 305 306 272 313 285
298 268 319 332 293 323 326 273 303 265 290 301 313 293 296 273 298 266 228 287
288 319 291 298 287 282 318 265 300 322 261 257 269 308 311 295 293 260 314 251
315 294 276 308 262 278 278 299 308 248 292 320 284 284 340 285 287 301 306 298
314 293 294 295 265 310 312 261 271 264 288 258 286 241 305 308 272 285 264 290
285 263 273 324 274 283 287 290 285 286 289 250 229 281 288 304 282 263 309 298
297 290 318 294 305 307 301 326 289 313 296 286 319 321 279 286 283 332 284 284
283 334 332 285 230 326 286 284 292 315 292 289 259 279 275 289 308 191 296 261
304 312 286 327 319 321 244 317 308 288 326 345 286 279 325 300 270 344 287 309
276 302 300 293 247 286 295 299 243 303 293 291 316 289 242 310 282 254 278 307
316 293 276 301 274 292 310 267 308 317 299 319 314 308 303 286 307 289 294 261
282 299 290 268 277 321 309 308 214 305 303 287 297 287 299 326 278 291 274 313
315 245 305 317 281 311 275 234 258 340 276 299 254 319 282 294 287 281 251 261
305 324 289 315 331 316 298 257 271 301 265 280 309 324 283 333 280 342 319 318
258 274 278 256 273 283 300 291 272 315 271 283 288 295 310 302 298 292 282 313
275 280 265 284 261 292 279 319 319 277 297 284 275 299 277 294 290 275 281 326
275 277 332 269 304 324 308 315 290 318 292 316 269 296 283 308 278 288 317 316

281 293 281 300 333 263 296 294 262 282 300 300 294 313 310 292 274 317 332 317
322 301 307 270 298 264 279 261 320 305 304 325 300 275 319 296 294 279 269 279
286 264 269 318 269 255 250 302 326 326 265 298 312 299 290 288 280 297 309 302
275 288 295 288 324 279 308 272 276 306 293 259 252 293 324 288 307 320 291 297
277 293 324 302 304 337 302 305 265 269 285 255 290 293 299 295 316 292 304 289
296 281 274 297 291 339 306 270 267 300 287 325 314 317 279 258 246 305 290 245
263 277 302 322 287 247 314 329 295 308 268 303 291 283 262 299 288 273 280 306
311 312 306 289 318 319 270 275 281 295 273 310 317 322 280 312 284 319 281 255
323 255 305 286 287 265 301 271 281 295 288 272 308 302 310 316 278 342 294 313
296 274 295 299 292 299 286 295 267 294 296 300 278 288 348 290 296 316 292 306
282 286 298 256 316 267 291 280 291 299 331 274 303 277 275 271 306 290 294 299
289 235 290 318 265 246 293 275 308 322 324 302 313 291 278 315 299 274 275 325
306 306 303 259 300 278 304 293 297 303 302 306 291 304 289 322 307 271 311 306
332 288 239 277 297 295 319 277 309 305 301 286 291 295 286 250 315 290 289 307
271 251 311 244 313 276 282 288 293 308 301 278 230 235 310 330 346 291 253 319
273 272 285 275 334 284 323 289 273 275 295 336 296 305 303 311 328 286 264 307
317 307 301 290 294 280 273 279 262 287 319 305 295 329 312 314 291 301 275 331
267 298 298 253 281 309 270 286 333 327 293 293 318 292 299 317 314 273 309 273
270 294 265 297 302 312 251 287 284 291 312 287 308 318 312 245 345 303 279 255
276 287 304 262 281 291 262 296 333 281 297 291 299 272 308 287 254 258 269 278
287 288 303 314 292 316 309 259 302 225 300 329 282 261 310 317 280 280 285 254
270 284 325 285 296 309 277 299 303 333 291 300 275 241 308 280 278 313 324 291
303 322 327 282 315 292 274 270 331 308 339 264 292 290 293 299 293 295 287 247
298 275 267 268 295 283 298 291 250 323 309 263 289 266 317 279 283 243 334 239
291 307 298 294 301 279 299 301 292 308 338 337 302 301 252 287 278 318 231 297
315 325 280 240 290 293 265 247 285 294 274 283 286 288 272 269 300 288 237 227
296 291 283 295 275 282 278 309 258 289 289 272 279 305 281 256 274 304 319 305
277 296 279 282 312 313 319 305 301 286 311 293 269 286 290 297 251 293 290 326
328 279 315 270 324 294 253 312 312 317 284 279 302 293 318 304 321 298 298 301
302 336 271 299 324 291 281 309 305 289 302 281 278 292 295 259 280 274 309 252
290 308 285 312 273 301 286 251 281 328 312 285 314 297 251 325 283 303 280 350
300 260 299 260 307 260 299 286 303 291 304 299 293 279 266 304 278 310 298 319

278 276 280 269 338 302 283 264 283 273 304 259 303 316 277 272 313 302 259 310
290 281 320 294 304 265 291 241 262 244 272 270 319 283 253 267 264 310 263 300
280 307 298 299 252 315 303 234 290 286 302 296 271 247 228 251 275 348 296 255
299 342 309 331 302 272 266 299 298 294 298 317 293 308 236 290 262 305 300 277
289 297 290 278 287 299 299 266 311 268 273 291 332 316 330 354 279 273 309 295
281 312 318 323 319 311 307 299 273 300 302 314 293 306 306 286 285 353 286 301
264 268 260 301 298 271 307 274 284 314 225 261 317 301 305 281 272 310 293 300
254 305 286 298 293 299 301 321 285 296 351 289 265 291 313 294 322 292 273 296
280 290 308 322 302 347 293 266 324 282 246 303 254 281 327 304 297 292 262 307
260 245 310 283 324 297 227 314 297 315 273 295 307 334 312 299 242 277 261 279
280 311 315 270 278 290 295 280 307 295 300 285 326 280 281 288 308 280 298 320
318 297 297 308 271 327 230 314 315 280 292 327 295 242 260 281 303 334 290 332
281 284 273 287 292 270 240 257 254 289 267 308 292 323 269 259 271 245 316 299
293 272 301 290 297 271 266 296 275 307 276 303 306 310 304 307 271 272 300 306
295 289 326 320 300 296 260 280 300 282 282 238 304 306 293 290 331 280 248 293
318 317 249 311 316 265 318 305 279 314 338 310 306 280 273 299 313 294 314 241
277 270 282 329 255 300 313 263 300 317 302 243 299 294 326 310 294 268 301 305
307 305 301 316 295 297 285 351 265 318 263 288 311 315 289 262 275 257 309 318
319 293 234 314 305 293 320 277 281 279 247 270 298 319 325 267 261 277 285 356
265 309 297 296 254 298 289 273 292 288 288 232 276 295 259 305 328 272 333 282
302 301 283 288 255 286 301 273 284 300 293 259 294 297 305 315 274 279 297 317
286 322 278 272 233 288 295 315 281 328 271 271 288 312 251 287 286 309 287 283
295 294 289 288 312 270 270 303 306 300 314 324 318 291 306 284 293 296 323 317
280 290 302 308 283 268 283 288 281 278 300 240 273 306 294 286 294 322 317 280
271 285 270 284 291 279 302 277 257 235 343 276 299 262 287 287 338 269 251 296
272 312 282 347 291 314 268 291 255 294 255 302 259 295 280 270 256 289 305 288
295 318 280 302 297 358 293 268 318 208 323 320 262 286 325 326 279 312 269 296
278 276 309 290 335 313 278 330 213 290 290 307 318 305 299 287 305 323 249 325
287 282 305 283 277 265 270 310 297 262 281 281 297 322 274 286 327 319 300 252
273 303 328 283 311 279 309 281 279 267 274 283 299 273 303 293 283 307 316 311
325 295 324 284 312 293 306 277 230 295 314 327 261 326 310 252 269 297 303 301
313 286 296 284 344 320 269 310 292 302 304 336 320 291 292 302 323 310 295 324

278 321 290 331 257 229 313 256 252 232 266 285 291 255 291 271 322 310 315 290
277 278 308 317 281 233 315 292 294 238 298 305 309 300 285 286 287 333 269 251
256 315 278 265 308 296 282 344 301 298 319 264 287 296 284 281 301 268 282 337
265 293 273 319 293 262 305 247 322 262 277 306 299 201 286 270 304 290 294 272
308 268 274 326 251 290 270 282 311 316 265 309 315 267 287 268 293 218 305 311
295 269 301 273 324 283 308 316 285 294 299 258 317 307 260 325 289 316 254 295
278 312 300 302 289 313 274 240 292 273 266 325 271 290 296 208 275 262 273 300
287 280 304 320 276 258 287 322 299 297 249 263 298 313 213 302 324 281 329 286
272 241 273 281 257 316 302 306 281 280 319 293 290 308 289 293 279 272 302 314
297 325 286 288 222 351 282 285 285 306 266 288 303 316 282 262 252 260 321 308
303 254 310 274 252 250 310 299 257 274 266 292 276 286 310 205 302 303 296 309
277 274 260 277 294 301 323 300 290 280 294 296 291 272 266 261 280 260 293 260
288 284 261 290 287 257 260 301 299 300 265 299 300 305 283 276 323 255 307 303
280 332 299 271 306 273 303 279 285 290 271 286 341 261 279 283 328 297 326 302
274 272 303 308 265 300 266 302 325 272 313 293 296 283 288 312 306 311 297 312
290 294 300 290 290 300 309 303 293 289 311 249 242 308 289 263 279 296 282 282
292 258 283 281 323 267 302 309 291 296 256 271 331 305 314 305 320 270 280 281
290 298 308 308 286 307 307 326 243 283 272 292 293 276 310 261 300 277 289 261
300 282 328 291 297 262 293 266 274 307 290 293 295 316 307 289 317 303 295 275
296 303 270 278 264 350 299 266 287 306 260 345 321 293 329 280 270 334 258 273
309 313 255 337 282 306 272 327 275 287 297 287 268 325 286 286 305 272 289 293
247 299 338 279 284 259 288 258 313 351 288 295 308 322 330 248 307 255 316 322
277 330 265 291 322 280 261 294 300 249 283 297 273 289 223 259 282 273 281 298
284 278 272 307 338 316 288 314 275 255 328 269 279 301 312 277 293 300 298 289
322 269 264 260 239 281 288 278 321 290 257 295 298 288 217 273 320 294 253 299
323 326 307 272 300 271 302 275 282 295 307 298 295 300 249 321 285 285 293 317
305 285 205 298 277 284 275 333 276 307 305 288 295 283 308 296 281 303 324 337
252 293 300 278 284 285 280 244 314 307 288 343 289 345 321 247 274 234 292 259
299 294 277 289 323 294 325 343 282 288 319 274 272 282 315 308 263 264 293 314
270 326 307 297 268 302 265 296 301 271 260 302 281 307 265 303 273 312 307 284
276 252 259 292 285 304 318 297 286 279 289 269 270 310 288 281 284 256 295 303
280 284 299 287 325 309 262 263 289 310 319 294 271 291 290 285 265 242 298 247

312 282 313 294 270 306 276 280 249 273 323 284 281 298 329 310 294 283 293 271
299 272 231 346 258 277 265 292 290 308 292 280 308 307 282 274 278 293 303 307
311 314 271 273 269 303 311 328 303 307 302 293 316 261 281 281 328 296 332 321
284 318 274 305 305 316 302 257 275 291 299 288 222 297 295 292 313 304 261 286
310 306 347 292 322 271 311 286 276 294 307 264 320 317 293 307 287 259 252 313
266 278 322 330 256 322 305 313 300 296 293 327 310 290 324 282 317 262 298 313
297 277 306 270 332 258 304 278 349 308 297 282 307 281 294 273 268 319 310 295
285 309 300 322 299 305 307 257 268 257 277 309 323 307 225 309 271 291 293 278
290 300 277 267 326 268 319 314 315 240 287 308 293 299 306 311 283 272 286 203
277 315 293 287 294 316 283 288 289 295 290 277 301 265 337 282 290 253 267 275
315 284 304 326 281 325 250 290 311 307 307 289 275 310 303 280 309 324 289 277
266 293 264 268 276 301 293 290 308 320 310 310 269 299 313 297 317 286 280 290
263 309 270 275 269 305 254 301 300 284 272 297 275 255 271 297 250 298 310 318
285 262 327 272 233 292 253 298 318 291 289 267 304 319 288 283 229 303 326 284
298 275 266 280 253 306 279 286 299 312 290 284 286 297 301 297 321 325 292 300
311 311 306 294 258 296 305 317 309 284 261 238 315 291 262 282 282 257 276 322
291 322 285 286 307 308 274 287 267 320 294 312 312 287 321 277 310 271 311 266
325 291 272 316 314 322 271 282 283 268 315 283 293 277 276 338 273 308 277 302
317 276 252 305 270 294 303 345 297 281 287 278 302 302 330 298 316 281 239 254
279 305 265 284 244 326 277 313 318 293 290 285 268 314 331 303 274 323 323 297
298 283 269 240 296 320 280 278 276 292 301 296 278 317 304 248 314 294 306 300
297 295 303 266 270 298 301 305 291 300 249 311 293 318 269 285 292 269 276 297
279 298 233 318 305 265 321 306 335 306 296 293 286 285 272 270 270 311 320 271
274 293 298 297 291 308 309 314 286 308 292 261 310 274 298 291 303 301 279 286
295 304 260 326 331 286 343 286 295 274 285 248 332 328 301 305 290 298 340 261
300 270 260 273 256 297 298 272 323 290 249 281 268 316 286 312 278 264 324 301
269 280 284 275 269 271 313 286 262 310 281 285 293 303 292 289 310 241 273 274
313 291 291 269 285 270 301 327 291 297 274 271 233 259 310 311 295 286 217 303
307 282 298 315 316 306 293 280 203 321 288 249 307 302 292 299 307 330 326 282
267 307 297 302 280 293 298 291 313 312 300 290 348 290 335 315 269 301 244 322
262 284 283 266 328 301 302 344 275 262 296 281 259 310 239 297 312 319 319 274
284 272 312 308 287 286 268 290 312 305 267 311 272 308 321 288 316 281 285 281

242 312 326 295 326 288 294 294 313 349 295 291 276 268 246 266 306 276 255 286
340 314 314 319 312 300 304 309 328 268 316 315 304 309 275 291 272 281 256 270
326 333 261 277 301 299 248 305 271 272 296 288 251 328 300 293 318 275 328 304
277 338 319 264 251 282 318 274 297 309 314 324 305 296 292 250 299 300 325 302
313 282 288 272 327 275 245 261 266 226 292 302 268 286 286 278 324 310 280 273
262 271 293 298 327 294 270 315 224 305 320 327 251 277 288 249 297 293 324 269
272 308 284 288 292 270 294 286 285 265 239 284 279 281 291 296 295 312 259 313
312 340 291 353 205 228 298 333 298 264 268 270 265 316 334 270 305 316 279 269
272 290 319 267 324 275 306 271 300 276 271 300 300 297 274 279 299 249 291 265
299 264 272 246 275 293 306 288 267 324 272 308 280 250 296 325 312 270 301 322
296 309 337 249 248 286 284 304 296 286 263 275 276 290 268 296 300 294 269 320
290 295 312 288 313 300 280 262 249 308 277 329 308 292 293 315 276 287 293 291
302 263 293 317 271 303 284 291 304 275 234 291 342 310 310 298 308 300 280 304
279 292 267 260 342 311 252 327 278 281 289 254 284 324 325 300 302 298 289 287
280 326 297 321 309 273 297 287 296 281 306 308 330 312 320 281 311 261 309 261
286 331 301 325 305 280 293 298 295 294 315 310 272 304 278 286 260 308 304 271
308 323 272 312 302 241 270 311 225 247 233 297 307 336 320 293 308 233 305 331
315 319 292 278 313 304 263 300 282 238 312 291 289 269 302 316 314 295 301 272
339 299 319 287 277 310 319 292 263 243 278 277 241 312 264 301 283 269 277 296
289 333 279 309 319 243 289 257 314 273 305 256 291 275 308 242 294 244 284 214
312 263 310 281 302 329 324 301 308 287 315 260 290 330 294 316 313 236 321 275
309 312 310 279 304 320 298 310 291 269 222 316 290 291 322 309 295 263 276 299
288 293 317 295 315 278 287 233 294 295 252 291 310 317 273 329 310 277 302 328
279 282 303 308 304 302 305 289 313 275 261 303 290 277 299 291 292 320 316 285
292 326 296