

T.C

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

EKONOMETRİ ANABİLİM DALI

EKONOMETRİ BİLİM DALI

FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ: KRİPTO PARA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak GÜLER

İSTANBUL, 2019

T.C

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

EKONOMETRİ ANABİLİM DALI

EKONOMETRİ BİLİM DALI

FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ: KRİPTO PARA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak GÜLER

Danışman

Doç.Dr. Selin Devrim Özdemir YAZGAN

İSTANBUL, 2019



T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

TEZ ONAY BELGESİ

EKONOMETRİ Anabilim Dalı EKONOMETRİ Bilim Dalı TEZLİ YÜKSEK LİSANS öğrencisi BURAK GÜLER'nın FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ: KRİPTO PARA UYGULAMASI adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 25.07.2019 tarih ve 2019-23/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi ...21.../...08.../...2019...

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

1.	Tez Danışmanı	Doç. Dr. SELİN DEVRİM ÖZDEMİR YAZGAN	
2.	Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ş. İŞİL AKGÜL	
3.	Jüri Üyesi	Prof. Dr. SELÇUK KOÇ	

ÖZET

FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ: KRİPTO PARA UYGULAMASI

Teknolojinin gelişmesi ve inovasyonun artması sonucu insan hayatını kolaylaştıran birçok gelişme yaşanmaktadır. Bu gelişmeler ticaret hayatında mal ve hizmet alım satımlarında zaman içerisinde çok çeşitli ödeme araçların kullanılmasına olanak sağlamıştır. İnsanlık tarihinin ilk aşamalarında takas yöntemi yaygın olarak kullanılırken zaman içerisinde bu ödeme aracı yerini ülkelerin resmi kurum ve kuruluşları tarafından basılan madeni para ve banknotlara bırakmıştır. İlerleyen teknoloji alternatif ödeme araçlarını yaratmış ve bugün geldiğimiz noktada ise kripto paralar hayatımızda ki yerini almaya başlamıştır.

Gün geçtikçe kripto paralara artan ilginin temelinde ise sahip olunan blok zincir teknolojisi yatmaktadır. Blok zincir teknoloji ödeme sistemlerinin yanında sağlık, eğitim, bankacılık, oyun gibi birçok alanda da kullanılmaktadır. Sahip olunan bu teknoloji kripto paralara olan ilgiyi günden güne artırmaktadır.

Bu tezde, kripto para piyasasının işlem hacmi en yüksek para birimleri olan Bitcoin ve Ethereum analiz edilmiştir. Analizler, kripto para piyasasının işlem hacmi en yüksek para birimleri olan Bitcoin ve Ethereum değişkenleri ile yapılmıştır. Çalışmada 01.01.2018-30.06.2019 dönemi için A.B.D. doları cinsinden Bitcoin (BTC) ve A.B.D. doları cinsinden Ethereum (ETH) verilerinin günlük kapanış değerleri kullanılmıştır. Önce piyasaların Fraktal Piyasa Hipotezine uygunluğu sınanmış, daha sonra öngörü için en başarılı modelin oluşturulması amaçlanmıştır. Oynaklık modelleri, farklı mimari yapıdaki YSA'lar ve hibrit modeller ile dönem içi öngörüler yapılarak en başarılı model belirlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda kripto para piyasasının kendine benzerlik özelliği sebebi ile uzun hafıza özelliği gösterdiği ve bu piyasaların öngörüsü yapılırken doğrusal olmayan hibrit modellerin daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kripto para, Fraktal Market Hipotezi, Yapay Sinir Ağları, Hibrit Model, Bitcoin

ABSTRACT

FRACTAL MARKET HYPOTHESIS: CRYPTOCURRENCY ANALYSIS

The development of technology and the increase of innovation, there are many developments that make human life easier. These developments enabled the use of a wide variety of payment tools in trading life for the purchase and sale of goods and services over time. In the early stages of human history, the clearing method was widely used, and over time this means of payment was replaced by coins and banknotes issued by the official institutions and institutions of the countries. Advanced technology has created alternative means of payment, and at the point where we are today, cryptocurrencies are beginning to take their place in our lives.

The growing interest in Cryptocurrencies is based on blockchain technology. In addition to Blockchain technology, payment systems are used in many areas such as health, education, banking and gaming. This technology increases interest in cryptocurrencies from day to day.

In this thesis, Bitcoin and Ethereum, the highest currencies in the transaction volume of the cryptocurrency market, were analyzed. The analyses were conducted with Bitcoin and Ethereum variables, the highest currencies in the transaction volume of the cryptocurrency market. A. for the period 01.01.2018-30.06.2019 in analysisb.D. dollar-denominated Bitcoin (BTC) and a. B. D. daily closing values of Ethereum (ETH) data in dollars were used. First the markets were tested in accordance with the Fractal Sunday hypothesis, then the most successful model for foresight was intended to be created. Volatility models, ysas and hybrid models of different architectural structures were realized and the most successful model was determined.

As a result, it was concluded that the cryptocurrency market had long memory characteristics due to its similarity, and that non-linear hybrid models were more successful when predicting these markets.

Keywords: Cryptocurrency, Fractal Market Hypothesis, Artificial Neural Networks, Hybrid Model, Bitcoin

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
GİRİŞ	1
1. KRİPTO PARA VE BLOCKCHAIN	4
1.1. Kripto Para	4
1.2. Blockchain (Blok Zinciri Alt Yapısı)	10
1.3. Kripto Paranın Avantaj ve Dezavantajları	18
1.4. Yasal Düzenlemeler	19
2. BİTCOİN VE DİĞER KRİPTO PARALAR	20
2.1. Bitcoin	20
2.2. Ethereum	24
2.3. Ripple	31
2.4. Litecoin	37
3. LİTERATÜR TARAMASI	38

4. EKONOMETRİK TEKNİKLER	45
4.1. Uzun Hafıza	45
4.2. Yapay Sinir Ağları	59
5. ETKİN PİYASA HİPOTEZİ	68
5.1. Zayıf Yapıda Etkinlik (Weak-Form Efficiency)	71
5.2. Yarı Güçlü Yapıda Etkinlik (Semi Strong Form Efficiency)	72
5.3. Güçlü Yapıda Etkinlik (Strong Form Efficiency)	74
6. FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ	74
6.1. Kaos ve Finans	77
6.2. Fraktallar	79
7. UYGULAMA	83
7.1. Veri Seti	85
7.2. Bulgular	89
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	103
9. KAYNAKÇA	105

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADF	: Augmented Dickey–Fuller
AIC	: Akaike Information Criterion
ATM	: Automatic Teller Machine
BDDK	: Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu
BRİC-T	: Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin – Türkiye
BTC	: Bitcoin
CPU	: Central Processing Unit
ÇKYSA	: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı
DAO	: Decentralized Autonomous Organization
ECB	: European Central Bank
EPH	: Etkin Piyasa Hipotezi
ETH	: Ether
FPH	: Fraktal Piyasa Hipotezi
GPH	: Geweke and Porter-Hudak
GPU	: Central Processing Unit

İMKB	: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası
KOHK	: Kök Ortalama Hata Kare
LTC	: Litecoin
MSE	: Mean Square Error
OECD	: Organisation for Economic Cooperation and Development
OHK	: Ortalama Hata Kare
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
P2P	: Peer to Peer
PP	: Phillips–Perron Testi
R/S	: Dönüştürülmüş Genişlik
RBTC	: Bitcoin Getiri Serisi
RETH	: Ethereum Getiri Serisi
RMSE	: Root Mean Square Error
S&P	: Standart and Poor's
SBC	: Schwartz Bayesian Criterion
TCMB	: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TMSF	: Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonu
WEF	: World Economic Form

XRP : Ripple

YSA : Yapay Sinir Ağı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Açık Anahtarlı Şifreleme	8
Şekil 2: Blok Zincir Yapısı	10
Şekil 3: Blok Zincir Ağ Yapısı	12
Şekil 4 :Blok Zinciri İşlem Kaydı.....	15
Şekil 5 :Bitcoin Borsalarının Pazar Payları	24
Şekil 6 :Yıllara Göre Ethereum Ortalama Blok Zaman Grafiği	31
Şekil 7 :Ripple Sistemini Kullanan Kuruluşlar	34
Şekil 8 : Yapay Sinir Hücresi	60
Şekil 9 : Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı	62
Şekil 10 : Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı	64
Şekil 11 : Deterministik (a) ve Stokastik (b) Fraktallar.....	81
Şekil 12: (a) Sierpinski Üçgeni (b) Von Koch Kartanesi (c) Cantor Tozu.....	82
Şekil 13: LBTC Serisinin Zaman Grafiği.....	85
Şekil 14: LETH Serisinin Zaman Grafiği.....	86
Şekil 15: RBTC Serisinin Zaman Grafiği.....	87
Şekil 16: RETH Serisinin Zaman Grafiği.....	87
Şekil 17: RBTC Serisine ait Histogram ve Tanımlayıcı İstatistikler.....	88

Şekil 18: RETH Serisine ait Histogram ve Tanımlayıcı İstatistikler.....	89
Şekil 19: ARCH (3) Dönem İçi Öngörü Grafiği	100
Şekil 20: ARCH-ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği	100
Şekil 21: ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği.....	100
Şekil 22: GARCH (1,1) Dönem İçi Öngörü Grafiği	101
Şekil 23: ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği.....	102
Şekil 24: GARCH-ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği	102

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1 :DowJones Endeksi (Günlük).....	78
Tablo 2: RBTC ve RETH için Birim Kök Testi	89
Tablo 3: RBTC ve RETH için Bierens Doğrusal Olmayan ADF Testi.....	90
Tablo 4: RBTC Serisine ait BDS Test Sonuçları	90
Tablo 5: RETH Serisine ait BDS Test Sonuçları	91
Tablo 6: RBTC Serisi İçin R/S Testi Sonucu	92
Tablo 7: RETH Serisi İçin R/S Testi Sonucu	92
Tablo 8: RBTC Serisi İçin GPH Tahmincisi	93
Tablo 9: RETH Serisi İçin GPH Tahmincisi	93
Tablo 10: RBTC Serisi İçin ARCH (3) Modelinin Tahmin Sonuçları.....	94
Tablo 11: RETH Serisi İçin GARCH(1,1) Modelinin Tahmin Sonuçları.....	95
Tablo 12: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Mimari Yapıları.....	96
Tablo 13: RBTC Serisi İçin Hibrit Modellerin Öngörü Başarısı Karşılaştırması	98
Tablo 14: RETH Serisi İçin Hibrit Modellerin Öngörü Başarısı Karşılaştırması	98
Tablo 15: RBTC Serisi için Tahmin Edilen Bütün Modeller İçin Dönem İçi Öngörü Karşılaştırması	99

Tablo 16: RETH Serisi için Tahmin Edilen Bütün Modeller İçin Dönem içi Öngörü Karşılaştırması	99
---	----

Tablo 17: RBTC Serisi İçin Dönem İçi Öngörü Başarısı Karşılaştırması.....	99
---	----

Tablo 18: RETH Serisi İçin Dönem İçi Öngörü Başarısı Karşılaştırması.....	101
---	-----



GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan günümüze kadar geçen süre zarfında ticaret hayatında mal ve hizmet alım satımlarında zaman içerisinde çok çeşitli ödeme araçları kullanılmıştır. Bu araçların en başında takas yöntemi gelmektedir. İnsanlık tarihinin ilk dönemlerinde çok yaygın olarak kullanılan takas yöntemi, ilk başlarda mal karşılığı mal verilirken, teknolojinin ilerlemesi sonucunda bu yöntemin yerini değerli madenler, taşlar ve hayvan derileri almıştır. Bugün geldiğimiz noktada ise devletlerin merkez bankaları tarafından basılan ve piyasaya sürülen madeni paralar ve banknotlar mal ve hizmet alım satımlarında en çok kullanılan ödeme araçlarıdır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve inovasyonun artması sonucu insan hayatını kolaylaştıran birçok gelişme yaşanmaktadır. Yaşanan bu gelişmelerin insan hayatına entegre olması biraz zaman alsa da sunmuş olduğu faydalar kısa bir süre içerisinde benimsenmiştir. Örneğin; madeni para veya kağıt para ile ödemeye alternatif olarak kredi kartları oluşturulmuştur. Böylelikle insanlar nakit yerine kredi kartlarıyla da ödeme işlemini gerçekleştirebilmektedirler. Yine bankacılık sektörüne baktığımızda birçok işlemin ATM cihazları ve mobil uygulamalar üzerinden kolaylıkla gerçekleştirildiğini görebilmekteyiz. Nitekim bu gelişmeler insan hayatının yanı sıra finansal sistemleri ve ödeme araçlarını etkilemiş ve bazı değişikliklerin yaşanmasına neden olmuştur. Gelişen teknolojiyle birlikte ödeme araçları yerlerini yavaş yavaş elektronik ödeme araçlarına bırakmaya başlamıştır.

2017 yılı Mart ayında OECD (Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü) tarafından yapılan araştırmada her iki insandan birinin internet kullandığını tespit etmiştir. İnternet kullanımının bu kadar yaygın olması elektronik ödeme ve elektronik para teknolojisinin gelişmesine yardımcı olmuştur. Artan e-ticaret hacmi ve akıllı telefonlar üzerinden yapılan ödeme, para transferi vb. işlemler elektronik para ve elektronik ödemeye sistemlerinin gelişmesinde en büyük etkenlerdendir.

Kripto para olarak adlandırılan elektronik para kavramı hayatımıza 2008 yılında girmiştir. Kripto paranın temeli kullanıcıların herhangi bir devlet, otorite veya kuruluştan bağımsız, tamamen kişisel bilgisayarlarını kullanarak oluşturdukları sanal

değerlerin takas edilmesine dayanmaktadır. Bu kripto paralar geleneksel paralar gibi belirli bir merkez bankası, ülke veya kuruluş tarafından basılmamaktadır. Kripto para denilince akla ilk gelen para birimi Bitcoin, 2008 yılında takma ismi Satoshi Nakamoto olan kişi veya bir grup tarafından geliştirilmiş ve 2009 yılında ilk üretimine başlanmıştır. Piyasaya ilk çıktığında büyük kitlelere ulaşmasa da zaman içinde popülaritesi artmıştır. Artan kullanıcı kitlesiyle birlikte uçak bileti, otel rezervasyonu, online alışveriş gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bitcoin'e olan bu yoğun ilgi zaman içinde fiyatında da ciddi değişimlere neden olmuştur. Özellikle 2017 yılında yaşanan gelişmeler neticesinde Bitcoin tarihi zirvesini görerek yaklaşık 20.000 \$ işlem görmüştür. Bitcoin'in yanı sıra piyasada işlem gören ve piyasa değeri yüksek olan Ethereum (ETH), Ripple (XRP), Litecoin (LTC) gibi diğer kripto para birimleri de yer almaktadır.

Kripto paraların ortak özelliğine baktığımızda herhangi bir merkezi otorite, devlet veya kuruluştan bağımsız olmasıdır. Kullanıcılar kimlik bilgilerini belirtmeden ulusal veya uluslararası para transferini gerçekleştirebilirler. Yine kripto paraların üretim arzı ve fiyatı kullanıcılar tarafından belirlenmektedir. Kripto paraların temelinde merkezi otorite veya kuruluşun olmaması beraberinden birtakım sorunları gündeme getirmiştir. Kara para aklama, terör örgütlerine finansman desteği, uyuşturucu ticareti gibi birçok yasadışı işlem yapılabilmektedir.

Ülkemizde kripto para herhangi bir yasa, mevzuat ve hukuki düzenlemelere tabi değildir. Kripto para kullanımının her geçen gün yaygınlaşması ve kullanım oranının artması sonucu 2013 yılında BDDK tarafından bir açıklama yapılarak, kripto parayla yapılan ödemelere istinaden bir mağduriyetin yaşanması durumunda hukuki olarak dayanağının olmayacağı vurgulanmıştır.

Kripto para konusu, son yıllarda yatırımcılar, teknoloji uzmanları ve akademisyenler tarafından dikkatle takip edilmektedir. Kullanılmaya başlanmasının üzerinden kısa bir süre geçmesine rağmen, finans dünyası için gelecekte yaşanacak büyük değişimlerin habercisi olmuştur. Bitcoin ilk ortaya çıktığında, finans piyasasındaki bu yeniliğe inanan çok az kişi olmuştur. Son yıllarda ise bu piyasalara ilgi

artmış, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, kripto para birimlerinin gelecekteki önemini görmüş, kripto para ve blockchain teknolojisinde yerlerini almaya başlamışlardır.

Bu sebeple, kripto para piyasası üzerine akademik çalışmalar yapılması ve piyasa dinamiklerinin incelenmesi önem kazanmıştır.

Son dönemde, kripto para analistleri ve yatırımcılar, piyasanın fraktal hareket ettiği konusunda görüş bildirmeye başlanmıştır. Örneğin, kripto para yatırımcısı Josh Rager, 9 Mayıs 2019 tarihinde tanınmış kripto para analisti Willy Woo'nun zincir üzerinden geçen günlük Bitcoin sermaye akışlarını gösteren Bitcoin ağ momentumu grafiğini ele alarak, oluşan fraktallara dikkat çekmiştir (Woo, 2019). Grafik üzerinde birbirine benzer şekilleri işaret ederek, yatırım kararlarının piyasanın fraktal yapısını dikkate alarak verilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ekonomi yazarı Tony Spilotro ise piyasa oyuncularının verdikleri yatırım kararlarının piyasada fraktal dinamiklere sebep olduğunu söylemiştir (Spilotro, 2019).

Bu bağlamda, kripto para piyasasının olası fraktal hareketlerinin ekonometrik teknikler ile incelenmesi önemlidir. Piyasanın fraktal yapıda olması durumunda ise uygun doğrusal olmayan modeller kullanılması gerekmektedir. Bu modeller yardımı ile başarılı öngörülerin yapılması, analistler ve yatırımcılar açısından yatırım kararları için yol gösterici olacaktır.

Bu tezde, kripto para piyasasının işlem hacmi en yüksek para birimleri olan Bitcoin ve Ethereum analiz edilmiştir. Önce piyasaların Fraktal Piyasa Hipotezine uygunluğu sınanmış, daha sonra öngörü için en başarılı modelin oluşturulması amaçlanmıştır.

Tezin uygulama kısmı üç bölüm olarak planlanmıştır. İlk bölümde, analiz edilen seriler ile ilgili bilgi verilmiştir. Uygulamanın ikinci bölümünde serilerin uzun hafıza özelliği incelenerek fraktal yapıya sahip olup olmadıkları sınanmıştır. Üçüncü bölümde ise, oynaklık modelleri, farklı mimari yapıdaki YSA'lar ve hibrit modeller ile dönem içi öngörüler yapılarak en başarılı model belirlenmiştir.

1. KRİPTO PARA VE BLOCKCHAIN

1.1. Kripto Para

Günümüz ekonomisinde ticari işlemlerde, mal ve hizmet alım satımında para en yaygın kullanılan değişim araçlarının başında gelmektedir. Eski dönemlerde belli bir değeri olan varlıklar değişim aracı olarak kullanılmaktayken, zamanla banknotlar ve madeni paralar yerini almış, ülkeler kendi ulusal para birimlerini oluşturmuşlardır. Her ülke kendi ulusal para birimine sahip olsa da küresel ekonomide ticari işlemlerin daha hızlı ve kolay gerçekleştirilebilmesi için herkes tarafından kabul görmüş belli başlı para birimleri kullanılmaktadır. Ülkeler ulusal paralarını zaman içinde siyasi, ekonomik ve sosyo-kültürel değişimlerin sonucunda bırakarak başka bir ülkenin para birimini kabul etmek zorunda kalabilirler. Kabul edilen para biriminin arz ve kontrolün sağlanması başka devletin kontrolüne teslim edilmek istenmemesi de ortak değişim aracının oluşturulmasında en önde gelen engeldir (Yalçiner, 2012, s. 17).

Teknolojinin hızla gelişmesi bu engelleri ortadan kaldırarak ortak para birimi yaratmaya olanak sağlamıştır. Bu ortak para birimleri belirli bir grup veya topluluk tarafından mal ve hizmet alım-satım işlemlerinde kullanılmaktadır. Kripto para, diğer adıyla sanal para olarak adlandırılan bu para birimleri, bir grup veya topluluğun kabul ettiği, düzenlemeye tabi olmayan, kullanıcılar tarafından geliştirilen ve kontrol edilen dijital para birimleri olarak tanımlanmaktadır (Avrupa Merkez Bankası, 2012, s. 12). Yine Avrupa Merkez Bankası'na göre kripto para; ihracı, temini ve kontrolünde herhangi bir resmi kurum ve kuruluşa veya merkezi bir otoriteye bağlı olmadan belli bir grubun sanal ortamda gerçekleştireceği takas işlemlerinde kullanılan para birimi olarak ifade etmektedir (Avrupa Merkez Bankası, s. 13).

Bankacılık ve finans sektörü sisteminin dışında olan ve genellikle küçük çaplı firmalar tarafından ödemelerde kullanılan sonucunda karşılıklı mutabakatın yapıldığı bir sistemdir (Avrupa Merkez Bankası, s. 17).

İlk kripto para 2009 yılında Satoshi Nakamoto takma isimli kişi veya bir grup tarafından bulunan Bitcoin'dir. Yıllar içerisinde piyasa oyuncuları tarafından talebi

artan kripto para genel anlamda sayısal emtia veya para olarak adlandırılmaktadır. Kripto paranın temeli, kullanıcıların herhangi bir devlet, otorite veya kuruluştan bağımsız, tamamen kişisel bilgisayarlarını kullanarak oluşturdukları sanal değerlerin takas edilmesine dayanmaktadır. Kripto paralar, geleneksel paralar gibi belirli bir merkez bankası, ülke veya kuruluş tarafından basılmamaktadır.

Bir mal veya hizmetin alınması sonucunda karşı tarafa değerinin devredilme süreci ödeme olarak ifade edilmektedir. Ödemelerin dünya üzerinde birden fazla para birimiyle yapılması uluslararası ödeme olarak adlandırılmaktadır (WEF, 2015, s. 47). Yapılan ödemeler, resmi kuruluş ve kurumlar tarafından izlendiği için bir sorun yaşanması durumunda ilgili kuruluş veya kuruma başvurulabilir. Ancak, kripto para yapıları gereği merkezi bir otorite veya resmi bir kuruluşa bağlı olmadığı için hatalı işlem yapıldığı zaman bu işlemlerden kullanıcılar sorumludur. Örneğin, Avrupa Birliği Topluluğu'nda 100.000 euroya kadar olan mevduatlar kurallar dâhilinde garanti altına alınmıştır (ECB, 2017, s. 1). Nitekim ülkemizde de 100.000 TL'ye kadar olan banka mevduatları sigorta kapsamındadır (TMSF, www.tmsf.org.tr).

Kripto para birimlerinde ödemeler blok zinciri sistemi ile kayıt altına alınmaktadır. Bilgisayar ortamında yazılmış kurallar ve algoritmalar sayesinde insan etkisinden uzak güvenli bir şekilde organize edilen bir sistemdir. İsminden de anlaşılacağı üzere, blok zinciri bloklardan oluşmaktadır. Bloklar belli süre zarfında gerçekleşen işlemleri ve verileri kendilerinden sonraki bloklara aktarırlar. İşletme özet fonksiyonu, yani hashing olarak adlandırılan algoritma, tüm blokların güvenli, değiştirilmemiş olduğundan emin olmak için kullanılır. Kripto para işlemleri, blok zinciri üzerinden bilgisayar ağlarına dağıtılmış, farklı sunuculardan işlem sağlayan bir yapı içinde kayıt altına alınmaktadır. Kullanıcılar, verileri blok zincirinde tutar ve bu zinciri geliştirmek için çaba gösterirler. Çünkü yeni blok oluşturulmak için gösterilen bu çaba sonucunda kazanç sağlarlar (Beck, Czepluch, Lollike, & Malone, 2016, s. 4). Verileri korumanın en yaygın yolu ise şifreleme yani kriptografidir.

Kriptografi sisteminin amacı sadece istenen kişilere bilgilerin gösterilmesidir. Bunu sağlamak içinde şifreleme algoritması kullanılır. Bu şifreleme teknikleri uzun

yıllardır bankacılık ve finans sektörlerinde kullanılmaktadır. Kriptografi, çeşitli teknikler kullanarak aşağıdaki bilgileri sağlamaya çalışır (Kar & Dey, 2014, s. 2):

- i. *Kimlik Onaylama*: Kişinin kimliğini ispatlama sürecidir.
- ii. *Gizlilik*: Sadece belli alıcıların mesajları okuyabilme sürecidir.
- iii. *Bütünlük*: Taraflar arasındaki mesajlaşmanın değişmeden iletilmesi.
- iv. *Reddedilemezlik*: Mesaj gönderenin gerçekten mesajı gönderdiğini kanıtlayan mekanizmadır.

Şifreleme ve şifre çözümü için matematiği kullanan kriptografi, hassas bilgilerin güvenli olmayan internet şebekeleri üzerinden erişimini de engellemektedir.

Kripto para ve diğer tüm para birimlerinde yasal olmayan işlemleri önlemek, kaynağını kontrol etmek ve güvenlik önlemlerini almak gerekmektedir. Günlük hayatımızda kullanılan itibari para birimleri merkez bankaları gibi kuruluşlar tarafından kontrol edilmekte ve sahteciliğe karşı önlemler alınmaktadır. Benzer olarak kripto para birimlerinde de bu tür önlemlerin alınması gerekmektedir.

Kriptografi yapısı gereği karmaşık matematiksel teknikleri kullanan bir alanıdır ve şifreleme tekniğinde temel şifreleme olan *hash* işlevini kullanmaktadır. Hash işlevi üç temel özelliğe dayanmaktadır. Bunlar;

- i. Herhangi bir boyutta ve herhangi bir dizide olabilir.
- ii. Sabit boyutta bir çıktı üretmektedir. Örneğin; 64, 128, 256 bit çıktı boyutu.
- iii. Verimli olarak hesaplanabilmektedir. Bu özellik, sezgisel olarak, belirli bir girdi dizgesi için, hash çıktısının makul bir süre içerisinde ne olduğunun bulunabileceği anlamına gelir (Narayanan, ve diğerleri, 2016, s. 29).

Kripto para sayısal bir değer olarak saklandığından dolayı elektronik para olarak değerlendirilmektedir. Kripto paraların arz limiti olması sebebi ile elektronik paradan ziyade emtia olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu arz limiti kripto paraların dalgalı bir fiyat izlemesi sonucunu doğurmaktadır. Örneğin popüler kripto paralardan Bitcoin'in arzı 21 milyon iken Litecoin'in arzı 84 milyon ile sınırlıdır. Kripto

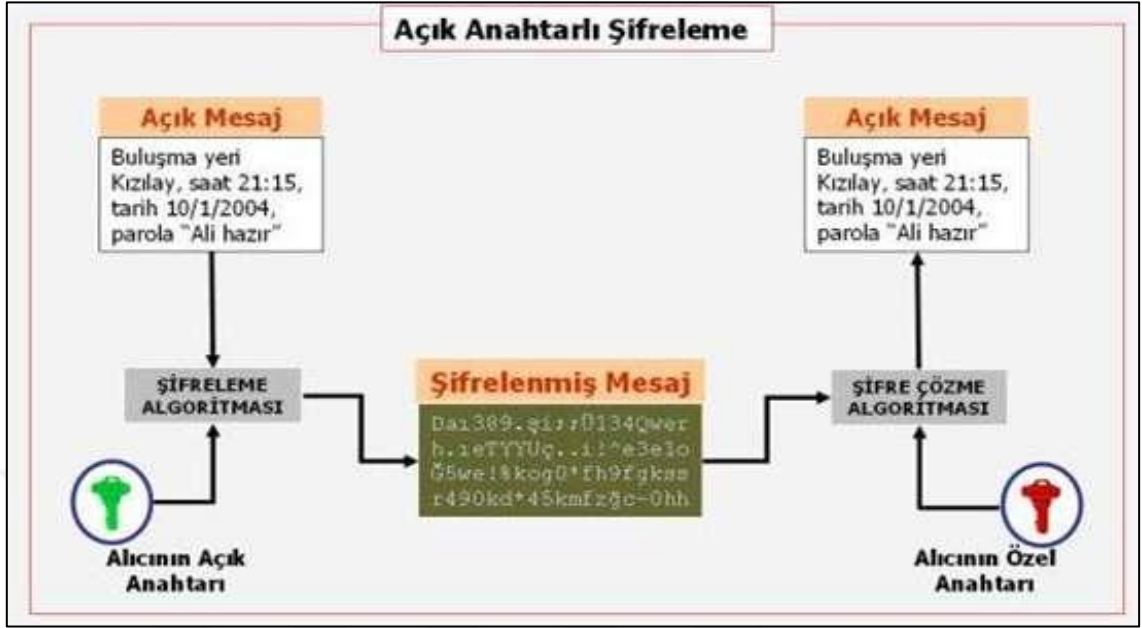
paraların arzı belirlenen sınıra eriştiğinde üretim duracak ve fiyatlarda artış olacaktır. 30 Mart 2019 tarihi itibarıyla piyasada yaklaşık olarak 17.6 milyon Bitcoin, 61.1 milyon ise Litecoin bulunmaktadır. İlk piyasaya çıkış tarihinde 1 Bitcoin 100 \$ civarındayken 30 Mart 2019 tarihi itibarıyla 3,000 \$ ile 4,500 \$ arasında işlem görmektedir. Yine ilk çıkış tarihinde 1 Litecoin 4,35 \$ iken 30 Mart 2019 tarihi itibarıyla 45 \$ ile 60 \$ arasında işlem görmektedir (<https://coinmarketcap.com>, 2019).

1.1.1. Açık Anahtar Şifrelemesi

Kripto para transferi yapmak isteyen bir kullanıcının öncelikli olarak bir kripto para cüzdanına sahip olması gerekmektedir. Bu cüzdanı internet veya akıllı telefonlarda yer alan uygulamalar üzerinden indirebilirler. Uygulama indirildikten sonra kullanıcıya özel olarak, gizli anahtar, açık anahtar ve cüzdan adresi otomatik üretilir. Bu aşamada kritik nokta kullanıcının gizli anahtarı diğer bir adıyla özel anahtarı kimseyle paylaşmaması gerekmektedir. İsminde anlaşılabileceği üzere özel anahtar kişiseldir ve yapılan işlemlerin sadece kullanıcıya ait olduğunu gösteren bir tür dijital imza, şifre niteliğindedir.

Açık anahtar şifrelemesinde kullanıcı açık ve özel anahtar olmak üzere iki çift şifreleme anahtarına sahiptir. Açık anahtar yaygın biçimde dağıtılırken özel anahtar gizli tutulmaktadır. Açık anahtar ile iletiler şifrelenmektedir. Bu şifreleme, yalnızca açık anahtara karşılık gelen özel anahtar kullanılarak çözülebilir. Yani özel anahtardan hareketle matematiksel algoritma ile açık anahtar üretilmektedir. Ancak, anahtarlar arasında matematiksel bir ilişki olmasına karşın açık anahtarlar yardımıyla özel anahtarlar türetilemez (Network Associates, 1999, s. 15).

Şekil 1: Açık Anahtarlı Şifreleme



Kaynak: <http://bidb.itu.edu.tr/sevir-defteri/blog/2013/09/07/sifreleme-yöntemleri>

Şekil 1’de görüleceği üzere açık anahtar gönderilen veriyi şifrelerken özel anahtar ise verilerin şifresini çözmek için kullanılmaktadır. Örneğin, bir kişi kendisi ve diğer taraflar arasındaki veri alışverişini korumak amacıyla asimetrik anahtar şifrelemesi kullanmak istiyorsa, bunun için bir çift anahtar (açık ve özel anahtarlar) oluşturulur. Daha sonra açık anahtar diğer taraflara gönderilirken, özel anahtar ise söz konusu olan kişi tarafından saklanır. Üçüncü bir taraf bu kişiye veri göndermek istediğinde üçüncü taraf verileri şifrelemek için açık anahtarı kullanır. Özel anahtara sahip olan alıcı, üçüncü şahıs tarafından gönderilen şifrelenmiş olan verilerin şifresini çözebilmektedir. Asimetrik anahtar şifrelemesi, iki yabancının, veri güvenliği hakkında endişe duymadan ve tek bir anahtar paylaşmadan kamuya açık ağ üzerinde gizli verileri paylaşmasına izin vermektedir (Hong Kong Monetary Authority, 2016, s. 25). Asimetrik anahtar şifrelemesi yaygın olarak, ileti gönderilirken ve yayınlanırken dijital imza olarak kullanılmaktadır. Kripto paralar yapılarında asimetrik anahtar şifrelemesi, cüzdan adresi (açık anahtar) ve cüzdan parolası (özel anahtar) olarak kullanılabilir.

1.1.2. Hash Fonksiyonu

Kripto parayı dijital imza zinciri olarak tanımlayan Bitcoin işlemlerinde, her kullanıcı, paranın el değiştirilmesi esnasında kendi dijital imzasıyla parayı bir sonraki kullanıcıya gönderir. Bu işlem esnasında, bir önceki işlem özetini, yani hash fonksiyonunu, bir sonraki işlem sahibine hash fonksiyonu ile imzalar. İşlem bitiminde bu imza paranın sonuna eklenir. Ödemeyi alan kişi dijital imzaları doğrulayarak bu zincirin doğruluğunu kanıtlar (Nakamoto, 2008, s. 2-3). Temel bir kriptografi yöntemi olan hash fonksiyonu, dijital imza şemaları, kimlik doğrulama kodları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Güvenli Hash Algoritması, bir dizi kriptografik hash işlevinden oluşmaktadır. Bu algoritma, metin veya veri dosyası için imza niteliği taşımaktadır. Bu algoritma benzersiz ve sabit büyüklükte 256 bitlik bir hash üretmektedir. Bu da 256 adet ardışık yani yaklaşık 1.15×10^{77} farklı gizli anahtar anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, iki farklı kişinin aynı gizli anahtara sahip olma olasılığı 10^{77} 'de 1'dir. (Çarkacıoğlu, 2016, s. 23).

1.1.3. Kripto Para Çalışma Şeması

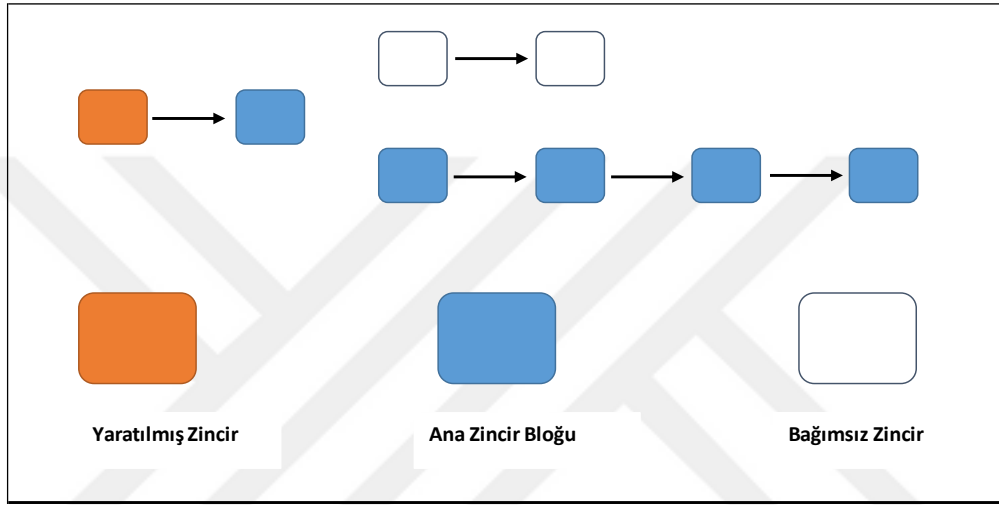
Avrupa Merkez Bankası, kripto paraları ekonomiye olan etkisine göre kapalı, tek yönlü ve çift yönlü olmak üzere 3 farklı çalışma şemasına göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma kripto paraların finansal sistemle ve resmi para birimleriyle olan ilişkilerine göre yapılmıştır.

Kapalı sanal para birimi şeması, reel ekonomiye hiçbir ilişkisi olmayan sadece site ve oyun ağlarında belli değere sahip olan sanal para birimidir. Tek yönlü sanal para birim şeması, resmi para birimleriyle satın alınabilen ancak sanal paranın resmi paraya dönüştürülemediği sanal para birimidir. Çift yönlü çalışma şemasında ise reel ekonomiye etki gücüne sahip olan, belirlenmiş kur üzerinden alınıp satılabilen, mal ve hizmet alım satımlarında resmi para birimleri gibi işlem yapılabilen sanal para birimleri yer almaktadır. Doğrudan regülasyona tabi olmayan ve üçüncü grupta yer alan Bitcoin, reel ekonomiye etkisi olan bir sanal para birimidir.

1.2. Blockchain (Blok Zinciri Alt Yapısı)

Kripto paranın temelini oluşturan blockchain yani blok zinciri, ilk olarak Bitcoin ile ortaya konulmuş, içerisinde kayıtların birbirleriyle kriptografik elementlerle bağlı olduğu sürekli büyüyen bir veri tabanıdır.

Şekil 2: Blok Zincir Yapısı



Sisteme dahil olan bütün kullanıcılara, oluşturulan veri tabanı bir kopya halinde gönderilir. Kullanıcı sistemde çevrimdışı olsa dahi en son alınan ve hash olarak ifade edilen şifreler ile en son bloktan güncel bloklar elde edilebilir. Bu özellik sayesinde sürekli olarak güncel veri elde edilir. İşlemler onay aşamasından geçtikten sonra gerçekleşir ve böylece spekülasyon engellenmiş olur. Her blokta kendinden önceki bloğa ait şifreli sayılar yer almaktadır. Farklı algoritmik işlemelerden sonra bu 64 haneli sayılar elde edilmektedir. Bu yapıyı HashPrevBlock temsil etmektedir. (Yakupoglu, 2016, s. 12)

Günümüzde blok zincir yapısı başta finans sektörü olmak üzere çok sayıda sektör tarafından takip edilmekte, bu alanda araştırma ve geliştirme çalışmalarına önem verilmektedir. Örneğin; Microsoft, NASDAQ, Bank of America gibi önde gelen kuruluşlar deneme aşamalarına geçmişlerdir.

Finansal piyasalarda yenilik kavramı uzun zamandır tartışılmaktadır. Bu yenilik, yeni bir fikir, teknoloji veya sistemden ziyade mevcut fikir, teknoloji ve sistemlerin geliştirilmesi değiştirilmesidir (Akel, 2006, s. 6). Finansal sistemler modern teknolojilerden oluşmaktadır. Ödeme sistemleri geleneksel ve geleneksel olmayan ödeme sistemleri olarak ele alınabilir. Geleneksel sistem, banka aracılığıyla ödemelerin (çek ve kredi kartı) alıcı ve satıcı arasında aktarılmasını sağlamaktadır. Geleneksel sistemde 3. taraf olan banka veya bir aracı kurum söz konusudur. Blok zinciri ise bilgisayar ağları üzerinden 3. bir kişiye ihtiyaç duymadan taraflar arasında güvenli bir şekilde transfer işlemi sağlayan bir veri tabanıdır.

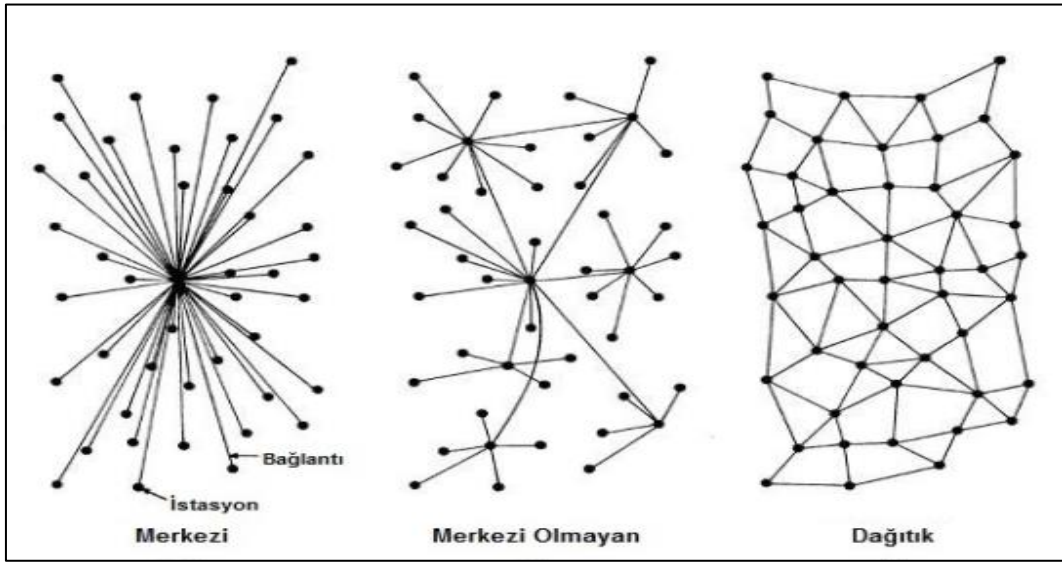
Blok zincir bankacılık sistemlerinin alt yapısında iyileştirme ve geliştirme yapacak potansiyele sahiptir. Blok zincir sayesinde tek merkez otoritesinden çıkarak daha az aracılıkla bankacılık sektörünün etkinliğini artırması beklenmektedir. Finansal alanda yapılan her yeni süreç beraberinde güvenlik ve verimlilik sorunlarının tartışmalara yol açacağını belirtmek gerekmektedir. Bu sebep ile blok zincirinin bankacılık sistemine entegrasyonu yakın gelecekte olması beklenmektedir (Guo & Liang, 2016, s. 11).

Blok zincir teknolojisi, belirlenmiş sayıdaki eşten eşe bağlanmış kullanıcıların yapmış oldukları işlemler, bu işlemler sonucunda oluşan blokların doğrulanması, doğrulanan bu blokların zincire eklenmesi olarak bilinmektedir. Bilgi bütünlüğünü sağlamak için bloklar sürekli güncellenmektedir. Örnek verecek olursak bloklar bir kitabın sayfaları iken blok zincirleri bir kitap olarak düşünülebilir.

Blok zinciri teknolojisi üçüncü bir tarafa ihtiyaç duymadan finansal ve finansal olmayan birçok faaliyetin gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır (WEF, 2015, s. 5). Blok zincir yapısı güvenli bir şekilde zincirlenmiş bir dizi bloğundan oluşmaktadır. Kullanıcılar yeni bir bilgi eklediğinde veya mevcut bilgilerde bir değişiklik yaptığında yeni bloklar tanımlanmaktadır. İlk bloktan sonra her blok kendinden bir önceki bloğa güvenli bir şekilde zincirlenir. Böylelikle bloklar güvenilirliği ve denetimi kanıtlanmış olur (Hong Kong Monetary Authority, 2016, s. 5).

Blok zinciri teknolojisi, tüm kullanıcılar arasındaki herhangi bir işlemin küresel olarak dağıtılmasına ve yerinden yönetimine izin vermektedir (Swam, 2015; 5). Blok zinciri ödeme alanında hızlı bir alt yapı hizmeti sunmaktadır. Blok zincir, merkezi, merkezi olmayan ve dağıtık ağ yapılarına göre üç farklı şekilde bulunmaktadır. Bu şekiller;

Şekil 3: Blok Zincir Ağ Yapısı



- i. *Merkezi yapılar:* Tüm kullanıcıların tek bir merkezi sunucuya bağlı olduğu yapıdır.
- ii. *Merkezi olmayan yapılar:* Düğümler arası bağlantı kurularak eşler arası iletişimin sağlandığı yapıdır. Düğümler arasındaki bağlantılar, aygıtlar arasında sağlanan iletişim sonucunda yönetebilirler.
- iii. *Dağıtık yapılar:* Bileşenler arasında dağıtılan işlemleri, bilgileri ileterek eylemlerin koordine edildiği sistemdir.

1.2.1. Blok Zinciri Veri Madenciliği

Blok zincir, merkezi bir otoriteye bağlı olmadan aynı verileri tutma işlevine sahiptir. Yapılan işlemlerin bir kopyası, blok zincir sistematığı ile kayıt altında tutulur. Kullanıcıların yapmış oldukları işlemlerin blok zincire eklenmesi talepleri olabilir.

Ancak, işlemin onaylanması için bütün kullanıcıların hem fikir olması gerekmektedir. Örneğin, bir satış işleminin gerçekleşmesi için, talebin yetkili kişiden geldiği ve alıcının da satış için gerekli olan paraya sahip olduğu bilgisinin doğrulanması gereklidir. Bu sistem, kullanıcıların güvenliği için otomatik olarak kontrol yapmaktadır. Yapılan her işlem, daha önceki işlemlerin oluşturmuş olduğu zincire en son bağlantı olarak bir blok paketi eklemektedir. Dağıtık sistemi oluşturan bu zincir, kullanıcılar tarafından tutulmaktadır. Yapılan bu çalışmalara madencilik adı verilmektedir.

Madencilik merkezi bir otoriteye bağlı olmayan bir takas sistemine benzetilebilir (Çarkacıoğlu, 2016, s. 48). Zincire yeni bir kayıt eklenmesi durumunda kullanıcıların tutmuş olduğu kayıtlar otomatik olarak güncellenmektedir. Tüm işlemlerin geçerli olması durumunda, kullanıcılar yeni blokları kabul etmektedir. Yeni eklenen bloklar herhangi bir kullanıcı tarafından kaldırılamaz. Blok zincirleri herhangi bir merkezi otorite veya kuruluşa bağlı olmadan tanımlanır (Boucher, Nascimento, & Kritios, 2017, s. 5).

Blok zinciri, paranın fonksiyonları gibi farklı kullanım alanlarına göre fonksiyon içermektedir. Genel olarak blok zinciri üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenleri sırasıyla;

- i. Eşler Arası Protokol
- ii. Dağıtık Kayıt Teknolojisi
- iii. Mutabakat Birliği

oluşturmaktadır (Hyperledger Whitepaper, 2018, s. 26).

1.2.2. Eşler Arası Protokol

Eşler arası protokol, herkese açık olan ve kullanıcıların içerisindeki bilgilere erişebildiği dijital bir kayıttır. Tek bir kişi veya kuruluşa bağlı olmadığı için dünya üzerinde farklı yerdeki kişiler tarafından kullanılabilir.

Güvene dayalı olan blok zincir teknolojisi, merkezi otorite veya aracı kuruma bağlı kalmaksızın temel seviyedeki işlemleri ifade etmektedir. Yapılan her işlem soncunda, güncellenen kayıtlar eşler arası çoğaltma yoluyla paylaşılmaktadır. Veriler aktarıldığı andan itibaren ağ üzerinde senkronize edilmektedir (Gupta, 2017, s. 6).

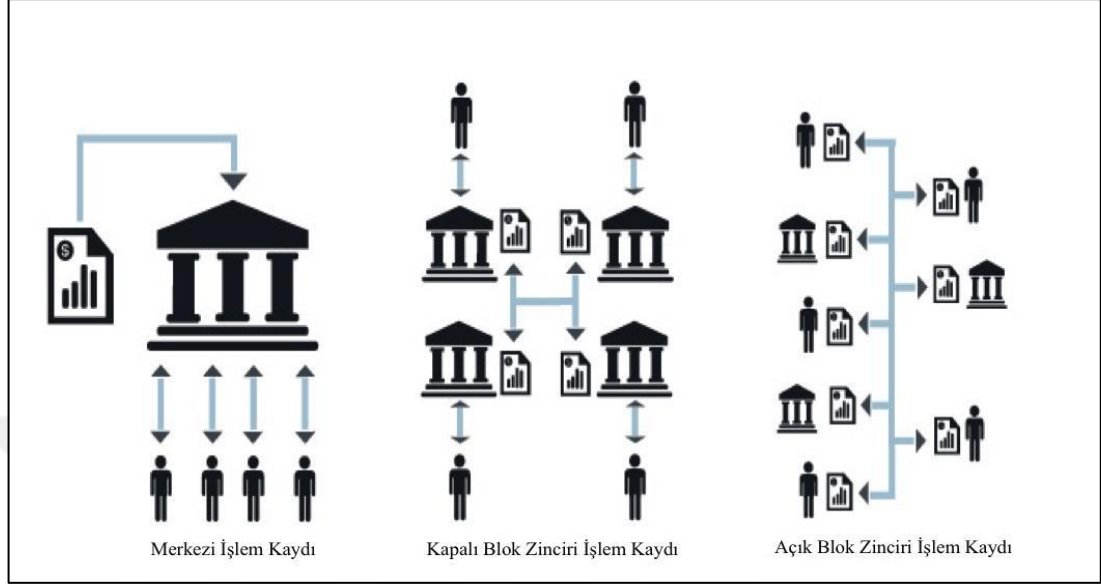
1.2.3. Dağıtık Kayıt Teknolojisi

Blok zincir, yaygın olarak elektronik ödeme işlemlerinde dağıtık kayıt teknolojisinde kullanılmaktadır. Buna karşın tüm dağıtık kayıt teknolojisi uygulamaları blok zincir teknolojisini kullanmak zorunda değildir. Dağıtık kayıt teknolojisi, üç kilit işlemini kullanarak blok zincir işlemlerini yönetmektedir.

- i. Veri kümesinin şifreli işlem özeti, her bloktan sonra hesaplanmaktadır.
- ii. Veri kümesine senkronize olmayan veya tespit edilmesi gereken değişiklikler etkili şekilde iletilmektedir.
- iii. Katılımcılar depolanmış veri miktarlarını en aza indirerek dağıtık kayıt teknolojisinin çalışmasına katkıda bulunmaktadır.

Katılımcılarının tüm faaliyetlerini gerçekleştirdiği ve kısıtın olmadığı dağıtık kayıt teknolojileri, izinli dağıtık kayıt olarak adlandırılmaktadır. Buna karşın, katılımcıların faaliyetlerini kısıtlayanlara ise izinsiz dağıtık kayıt denilmektedir. Örneğin, bazı dağıtık kayıt teknolojisi düzenlemeleri, katılımcılara sahip oldukları varlıklar için varlık transferleri gönderme ve alma yetkisini vermektedir. Bir başka yetki ise katılımcıların transfer ve yeni varlıkları çıkarma ve aynı zamanda bu varlıkları piyasaya sürme hakkına sahip olmasıdır. Katılımcılara yetkilendirilme noktasında bazı sınırlamalar getirilmiştir. Bazı katılımcılara sadece kayıtları okuyabilme bazılarına ise kayıtları yazabilme yetkisi verilmiştir. Bitcoin ve diğer kripto para birimleriyle finans sektörü kıyaslandığında, kripto paralarda yetkisiz düzenlemeler yapılırken finans sektöründe yetkiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan düzenlemelerin yetki dâhilinde olması kontrol mekanizmasını da güçlendirmektedir (Mills, ve diğerleri, 2016, s. 12). Şekil 4'te ödemelerin nasıl gerçekleştiği gösterilmektedir.

Şekil 4 :Blok Zinciri İşlem Kaydı



Kaynak: lankabusinessonline.com (2016)

Merkezi işlem kayıtlarında, merkezi araçlar vasıtasıyla güven, mutabakat ve doğrulama gibi fonksiyonel ve sistemsal konular sağlanmaktadır. Kapalı ve özel blok zinciri, işlem yapabilmek için yetkilendirme izini gerektiren yapılara sahiptir. Açık blok zinciri uygulamalarında ise blok zinciri ile ilgilenen her kullanıcı kayıtları görebilmektedir. Ayrıca protokol koşullarına uygun işlemler, kullanıcılar tarafından gerçekleştirilebilmektedir.

1.2.4. Mutabakat Protokolü

Mutabakat, iki veya daha fazla taraf arasındaki fon ya da menkul kıymet aktarımında yükümlülüklerin yerine getirilmesidir (TCMB, 2014, s. 2). Mutabakat birliği ise oybirliğinin veya fikir birliğinin sağlanması anlamında kullanılmaktadır.

Dağıtık olarak paylaşılan bir durum mutabakat, mekanizmasıyla güvenli bir şekilde güncellenmektedir. Dağıtık olan bir sistemde fikir birliği sağlanması zor bir durumdur. Oluşturulan mutabakat algoritmaları, bozuk mesaj, ağ bölünmeleri, mesaj gecikmeleri gibi risklere karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca kötü amaçlı işlem yapmaya

alışan düğümlere karşıda müdahale etmek zorundadır. Her algoritma oluşabilecek her türlü kötü sonuç için farklı şekilde varsayımlar dizisinden oluşmaktadır. Örneğin bir blok zinciri için mutabakatın sağlanması, ağdaki tüm düğümlerin blok zincirini genel durum olarak kabul ettiği anlamına gelmektedir (Baliga, 2017, s. 9). Yani madencilerin çoğunluk olarak onay verdikleri işlemler fikir birliği sağlamaktadır.

Dağıtık kayıtlarda en önemli risk güvenilmez kullanıcıların işleyişe zarar vermesidir. Bilgisayar ağı üzerinden işlem gerçekleştirenler bilgi alışverişi yapabilmeleri için ortak bir ağ protokolünü kabul etmeleri gerekmektedir. Gvenirliliğin sağlanması için dağıtık kayıt teknolojisi oluşabilecek sorunları üzecek şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle merkezi bir otoritenin olmadığı blok zincir yapısında bu daha çok önem kazanmaktadır. Bir mutabakat protokolün sağlanabilmesi için aşağıdaki üç temel özelliğin mevcut olması gerekmektedir:

- i. *Güvenlik Protokolü:* Güvenlik protokolün sağlanabilmesi için tüm düğümlerin aynı çıktıyı üretmesi ve üretilen bu çıktıların protokol kurallarına uyması gerekmektedir.
- ii. *Canlılık:* Mutabakata katılacak tüm düğümlerin katkı sağlayacağını ve canlılığını garanti etmektedir.
- iii. *Hata Toleransı:* Mutabakata katılan düğümlerin hata yapması sonucunda hatadan kurtulana kadar süre tanınmaktadır (Baliga, 2017, s. 5).

Bir düğüm, kanıtını bulduktan sonra, kanıtı blokla birlikte yayınlamaktadır. Artık diğer tüm düğümlerin, yalnızca sağlanan kanıtın doğruluğunu, doğrulamak için bir işlem zeti hesaplaması yeterlidir. Doğrulamadan sonra blok, blok zincirine dahil edilir. Diğer her düğüm artık yaptıkları içi terk edebilir (yapılan işlemi, yayınlanan bir bloğa dahil etmeye çalışmaktaydı) ve yeni işlemler yapmaya başlayabilirler (Müller & Hasic, 2016, s. 10). Bu şekilde protokol sayesinde mutabakat sağlanabilmektedir.

Blok zincir dağıtık ekosistemi para birimi alt yapısının yanı sıra, birçok uygulama ve demeler sisteminde kullanılan platformların yerine kullanılabilecek bir

sistem oluşturulabilir. Zaman içinde bu platformlar genişleyerek güvenlik, kimlik doğrulama ve ağ protokollerinin yerini alabilir.

1.2.5. Blok Zincir Teknoloji İlkeleri

Blok zinciri taraflar arasında ki işlemleri etkin, doğrulanabilir ve kalıcı şekilde kaydeden dağıtılmış bir kayıt defteridir. Defterler işlemleri otomatik olarak etkileyecek şekilde programlanmıştır (Iansiti & Lakhani, 2017).

Blok zincir teknoloji alt yapısının ilkeleri:

- i. *Dağıtılmış Veri Tabanı:* Katılımcılar blok zincirdeki veri tabanına ve geçmişe ulaşabilirler. İşlem kayıtları herhangi bir aracıya ihtiyaç duyulmaksızın doğrulanabilmektedir.
- ii. *Eşler Arası İletişim:* İletişim kullanıcılar arasında merkezi bir düğüm yerine kendi aralarında geçmektedir.
- iii. *Şeffaflık:* Katılımcılar tarafından tüm işlemler ve sistemlere erişim görülebilmektedir.
- iv. *Değişmezlik:* Veri tabanına girilen bilgiler güncellendikten sonra değiştirilemez. Çünkü bu değişikliğin yapılabilmesi için onlardan önce gelen tüm işlem kayıtlarının da değiştirilmesi gerekmektedir.
- v. *Sayısal Mantık:* Kayıtlar blok zinciri işlemlerinin hesaplama mantığına göre tutulmaktadır. Bu sayede katılımcılar, düğümler arasındaki işlemleri otomatik olarak başlatan algoritmalar ve kurallar oluşturabilmektedir (Iansiti & Lakhani, 2017).

Blok zincirinde, işlemler bloklar halinde ardışık olarak saklanmakta olup saklanan bu kayıtlar mevcut blok zincirine ardışık olarak eklenmektedir. Blok zincirinin geliştirilmesinde maliyetin mevcut sistemlere göre düşük olması dağıtık yapı ve mutabakat protokolü gibi teknolojik unsurlara dayanmaktadır (METI, 2017, s. 3).

1.3. Kripto Paranın Avantaj ve Dezavantajları

Kripto paraların en önemli özelliklerinden bir tanesi, arzının kısıtlı olmaması ve sonuç olarak enflasyonun engellenmesidir. Ayrıca, merkezi bir otoriteye veya kuruluşa bağlı olmaması sebebi ile takas amacıyla kullanacaklar için birçok avantaja sahiptir:

- i. Kanunun öngördüğü vergi, beyan veya kayıt altında tutma gibi yaptırımlardan uzak olması,
- ii. Merkezi otorite veya resmi kurum kuruluşlar tarafından herhangi bir vergi kesintisi yapılamaması,
- iii. Gizliliğin ön planda olması ve hiçbir otorite tarafından takip edilememesi,
- iv. Kullanıcılarının isteği dışında kimse transfer işlemlerin sürecini bilememesi,
- v. Normal paralar gibi fiziki olmadığı için istenildiği takdirde taşınabilmesi,
- vi. Yapılan işlemler sonucunda komisyona tabi olmaması,
- vii. Transfer ücretlerinin diğer enstrüman türlerine göre çok düşük olması,

kripto paraların sağladığı avantajlar arasında yer almaktadır.

Bu avantajlarına karşılık, kripto paranın dezavantajları da söz konusudur. Bunlardan en önemlisi, ödemelerin gerçekleşmesinin belirli bir süre almasıdır. Tarafların mutabık kalabilmesi için bu sürelerle ihtiyaç duyulmaktadır.

Başka bir dezavantajı ise kripto paraların içsel değerinin sıfır olması, yani karşılığının geleneksel bir para olmaması ve yasal olarak hiçbir otorite veya kurumun arkasında bulunmamasıdır (Andolfatto, 2014, s. 9).

Kripto paralar sosyal ve ekonomik dezavantajlara da sahiptir. Bunlar;

- i. Kripto paraların resmi otoriteler tarafından ödeme olarak kabul edilmemesi,
- ii. Kripto paraların değerindeki artış ve azalışın ani bir şekilde gerçekleşmesi,
- iii. Kripto paralar ile yapılan işlemlerin geri dönüşünün mümkün olmaması ve dolandırıcılığa açık olması

şeklinde sıralanmaktadır.

2015 yılında 750 bin Bitcoin'in çalınmasıyla çok zor olarak gösterilen sistemin güvenlik açıklarının olduğunu gündeme getirilmiştir.

2016 yılında dünyanın en büyük ikinci borsası olan Bitfinex Hong Kong borsası 119.756 Bitcoin'in çalındığını duyurmuştur. Çalınan Bitcoinlerin yaklaşık piyasa değerinin 78 milyon dolar olduğu öne sürülmüştür. Yaşanan bu olayın ardından 650 dolardan işlem gören Bitcoin %20 değer kaybederek 540 dolardan işlem görmeye başlamıştır (The Guardian, 2016).

1.4. Yasal Düzenlemeler

Kripto para kullanımı hukuki açıdan bir sakınca doğurmamakla birlikte, takip edilmesinin olanak dışı olması nedeniyle birçok ülke tarafından inceleme altına alınmıştır. Özellikle Bitcoin borsalarında gerçekleşen işlemlerin izlenebilir olmaması nedeniyle bankalar tarafından bu borsa hesapları kapatılabilmektedir.

Ülkemizde kripto para herhangi bir yasa, mevzuat ve hukuki düzenlemelere tabi değildir. Yine ülkemizde 20 Haziran 2013 tarihinde “Ödeme ve Menkul Kıymet Mutabakat Sistemleri, Ödeme Hizmetleri ve Elektronik Para Kuruluşları Hakkında Kanun’un 3/ç maddesine göre”; “Elektronik para: Elektronik para ihraç eden kuruluş tarafından kabul edilen fon karşılığı ihraç edilen, elektronik olarak saklanan, bu Kanun’da tanımlanan ödeme işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılan ve elektronik para ihraç eden kuruluş dışındaki gerçek ve tüzel kişiler tarafından da ödeme aracı olarak kabul edilmesi” olarak ifade edilmiştir.

Kripto para kullanımının her geçen gün yaygınlaşması ve kullanım oranının artması sonucu 25 Kasım 2013 tarihinde BDDK tarafından “Herhangi bir resmi veya özel kuruluş tarafından ihraç edilmeyen ve karşılığı için güvence verilmeyen bir sanal para birimi olarak bilinen Bitcoin, mevcut yapısı ve işleyişi itibarıyla Kanun kapsamında elektronik para olarak değerlendirilmemekte, bu nedenle de söz konusu kanun çerçevesinde gözetim ve denetimi mümkün görülmemektedir” şeklinde açıklama

yapmıştır (BDDK, 2013). Bu açıklama kullanıcıların kripto parayla yapılan ödemelere istinaden bir mağduriyetin yaşanması durumunda hukuki olarak dayanağının olmayacağını vurgulamaktadır.

2. BİTCOİN VE DİĞER KRIPTO PARALAR

2.1. Bitcoin

Bitcoin, merkezi bir otoriteye ve aracı bir kuruma bağlı olmadan herhangi bir yerden herhangi bir kişiye elektronik olarak para transferi veya ödeme yapmayı sağlayan bir para sistemidir. Elektronik nakit sistemi olarak tasarlanmış olan Bitcoin, devlet, otorite veya şirket tarafından da kontrol edilemeyen açık kaynaklı bir yazılımdır. Evrensel bir elektronik para olan Bitcoin, 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından açık kaynak kodlu proje olarak geliştirilmiş ve 2009 yılında kullanıcılara sunulmuştur (Nakamoto, 2008). Bu bağlamda, Bitcoin üretimi herhangi bir kişi, grup, ülke veya otoritenin elinde bulunmamaktadır. Bitcoinler P2P (Peer to Peer Electronic Cash System) adı verilen eşler arası çalışan bir ağ üzerinden işlem görmektedir.

Bitcoin ve diğer kripto paralarının ortaya çıkışı çok uzun yıllar önce öngörülmüştür. Nobel ödüllü Milton Friedman, 1999 yılında teknolojinin gelişmesi, internetin yaygınlaşması ve küresel ekonominin hız kazandığı bir ortamda, devlet otoritesinden bağımsız anonim taraflar arasında ticaretin elektronik para ile sağlanabileceğini ifade etmiştir (Anderson & Weddell, 2014, s. 8).

Rotman (2014), Bitcoin ile elektronik para ayrımının tam olarak ortaya konulması gerektiğini öne sürmüştür. Yaptığı çalışmada elektronik para ile Bitcoin'in taban tabana zıt olduğunu ortaya koymuştur.

2.1.1. Bitcoin Üretimi

İlk Bitcoin üretimi 2009 yılında başlamıştır. Üretim sürecine katılan kullanıcılar Bitcoin madencisi (Bitcoin Miner) olarak isimlendirilir. Bitcoin maden yazılımı, karmaşık işlem gerektiren bir problem çözümlenmesinden oluştuğu için,

kullanıcılar bu çözümü ürettiklerinde belirlenen miktarda Bitcoin kendilerine ödül olarak verilmektedir. Bu süreç her problemin çözülmesinin ardından daha zor bir problem çözülmek amacıyla madencilere sunulmaktadır.

Bitcoin başlangıçta gönüllü ve ilgili kişiler arasında kullanılmıştır. 2010 yılına gelindiğinde ise Bitcoin alım ve satımının gerçekleştirilebileceği Bitcoin Market, MtGox gibi borsalar açılmıştır. Zaman içinde Bitcoin kullanım alanı genişlemiş ve Microsoft, DELL, PayPal gibi büyük markalarında bulunduğu kurum ve kuruluşlar tarafından kabul edilmiştir.

3 Ocak 2009 tarihinde ortaya çıkan ve zaman içerisinde önemini arttıran Bitcoin'in piyasa değeri yaklaşık 88 milyar dolardır. Dolaşımda ise yaklaşık olarak 17 milyon Bitcoin bulunmaktadır (Coinmarket, 2019). Bitcoin fiyatı talep ve arzı bağlı olarak belirlenirken, nakit, havale, Bitcoin ATM'si gibi farklı yollar üzerinden alım satımı yapılabilmektedir. 2010 yılında ilk Bitcoin borsası Bitcoin Market kurulmuş ve bu borsaların sayısı zaman içerisinde artmıştır (Bircoin Wiki, 2014). Diğer borsalardan farklı olarak Bitcoin borsası resmi tatillerde dahil 7/24 olarak işleme açıktır. Borsaya üye olabilmek için kişisel bilgilerin yer aldığı kimlik, pasaport veya fatura gibi resmi belgeler istenmektedir.

2.1.2. Bitcoin Transfer İşlemleri

Bitcoin transfer işlemleri, herhangi bir aracı kurum, otorite veya kuruluşa ihtiyaç duymadan P2P olarak adlandırılan bir ağ üzerinden yapılabilmektedir. Bitcoin transferi yapmak isteyen bir kullanıcı aşağıdaki aşamaları sırasıyla gerçekleştirmektedir.

- i. Kullanıcı, e-imza yöntemiyle transferi onaylar.
- ii. Onaylanan ve imzalanan bu transfer ağdaki tüm kullanıcılara bildirilir.
- iii. Tüm kullanıcılar bildirilen bu transferi doğrular.
- iv. Bitcoin kullanıcıları ağda gerçekleşen her transfer bilgisinin bir yedeğine sahiptir.

Bitcoin kullanıcıların sahip oldukları hesap numarasına benzer uzun ve karmaşık bir dizi karakterlerden oluşan kimliklere Bitcoin cüzdanı denilmektedir. Yeni bir Bitcoin hesabı açmak isteyen kullanıcı, açık kaynak kodlu olan bir yazılımla kimlik bilgisi üretimi yapar ve bir şifre belirler. Bu aşamadan sonra Bitcoin hesabı kullanıma hazır hale gelir.

Bitcoin'in kripto para olarak adlandırılmasının sebebi, işleyiş mekanizmasında şifreleme biliminin uygulanmasıdır. Şifreleme bilimindeki amaç, gönderi ve alıcı arasında güvenli iletişimi sağlamak ve aynı zamanda üçüncü şahısların müdahalesini engellemektir. Ayrıca asimetrik şifreleme ve hash fonksiyonları şifreleme yönteminin temelini oluşturmada büyük önem taşımaktadır.

Bitcoin transfer işlemleri blok adı verilen sayısal dosyalarda tutulmaktadır. Bloklar birbirlerine blok zinciri adı verilen yapıda bağlı olup ilk işlemde son işleme kadar oluşan bütün Bitcoin transferleri Bitcoin bilgisayarlarında kayıt altına alınmaktadır. Örneğin bir kullanıcı başka bir kullanıcıya Bitcoin göndermek isterse öncelikle göndereceği Bitcoin miktarına ilişkin mesajı tüm ağa gönderir. Bu aşamada mesajın gerçekten göndericiden geldiğini doğrulama esnasında sayısal imza tekniğinden yararlanılır. Sayısal imza tekniği için her kullanıcının açık-özel anahtar çiftlerine sahip olması gerekmektedir. Kullanıcı Bitcoin Cüzdanı yazılımı sayesinde kendine özgü anahtarı üretebilir. Bu anahtar Bitcoin adresi olarak isimlendirilir ve herkes tarafından bilinir. Transfer işlemleri için sadece Bitcoin adresine ihtiyaç duyulması takibin zor ve illegal işlerde kullanılmaya elverişli bir yapıya sahip olmasını gündeme getirmektedir. Peki kullanıcı transfer işlemini gerçekleştirebilmesi için yeterli miktarda Bitcoin'e sahip midir? Bu noktada ise göndericinin daha önceden yapmış olduğu transfer işlemleri dikkate alınmaktadır. Göndericiye gelen transferler mesaj girdisi, göndericiden giden transfer işlemleri ise mesaj çıktısı niteliği taşımaktadır. Bitcoin sistem ve işleyiş yapısı incelendiğinde resmi para birimlerinden bazı hususlarda ayrıştığı görülmektedir (Rotman, 2014).

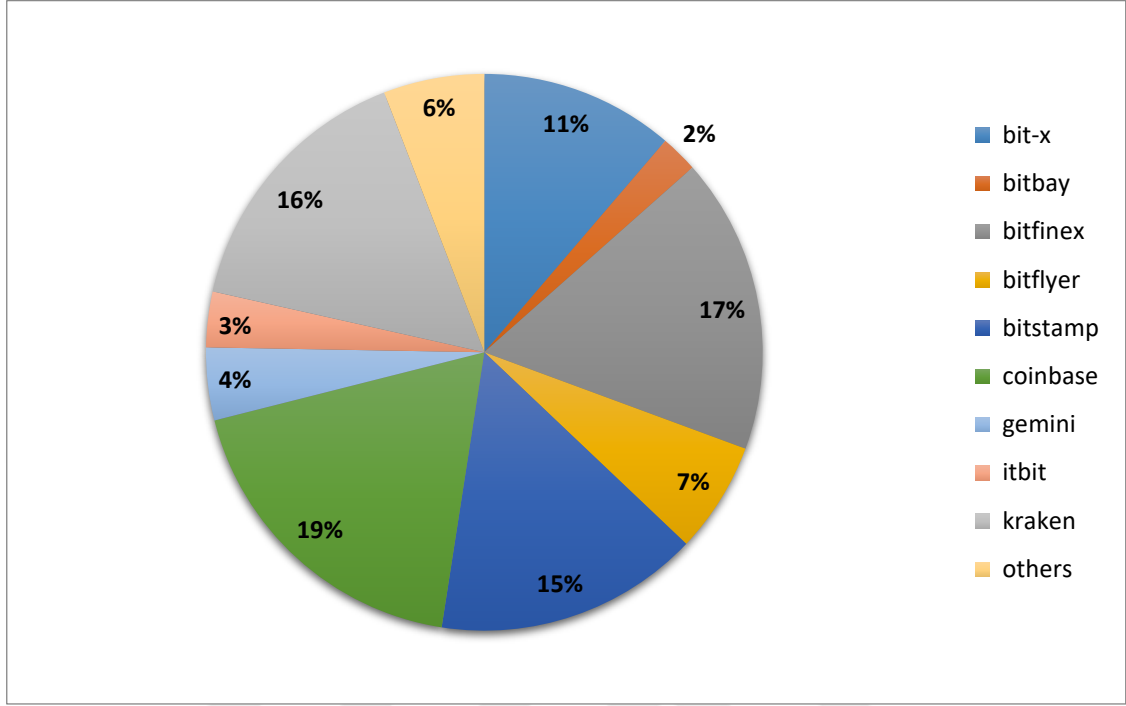
Bitcoin üretiminin ve transfer işlemlerinin hükümet veya aracı kurumlar tarafından takip edilmemesi zaman içerisinde yasal olmayan işlemlerin gerçekleşmesine

neden olmuştur. Özellikle para nakil işlemleri terörist veya illegal yapıların etkin bir biçimde kullanması ve bu para trafiğinin devletler tarafından izlenmemesi kripto parayı finansal sistemin dışına atmaya zorlamıştır. Bitcoin üzerinden gerçekleşen silah, uyuşturucu ve buna benzer meşru olamayan faaliyetler, Rusya ve Çin'de yaşanan skandallar Bitcoin'in kara para aklama noktasında kullanıldığının bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Rusya ve Çin'in Bitcoin işlemlerine sınırlamalar getirmesi ve yaşanan illegal para transferleri sonucunda Bitcoin'in değerinin gün geçtikçe düşmesinin bir göstergesidir (Cheung, Roca, & Su, 2014, s. 14).

Anonim işlemlerde kullanılan Bitcoin, hakkındaki endişeleri de arttırmıştır. 2012 yılında Silk Road adlı bir e-ticaret platformunun Bitcoin ile uyuşturucu ticareti yaptığı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda uyuşturucu alışverişinin eBay'i olarak bilinen site 9,5 milyon BTC satışı üzerinden 600,000 BTC komisyon geliri elde etmiştir (Ron & Shamir, 2014, s. 2). Günümüzde bu tarz yasadışı kullanımlar Bitcoin'in imajını ve geleceğini olumsuz yönde etkilemektedir.

2013 yılından bu yana bazı borsaların işlem hacmi artarken bazıları ise zaman içerisinde kapanmıştır. 2014 yılı Şubat ayında Tokyo Bölge Mahkemesi'nin yaptığı açıklamada Mt. Gox Bitcoin takas platformunun iflasını duyurduğunu açıklamıştır (Al Jazeera Turk, 2014). Büyük bir kısmı müşterilere ait olan 850,000 Bitcoin yani parasal karşılığı yarım milyar dolar kaybolmuştur. Bitcoin piyasasını derinden sarsan bu olay Moore ve Christian (2013) tarafından yapılan çalışmada da incelenmiştir. İncelenen 40 borsadan %45'inin, müşteri zararlarını karşılamadan kapandığını belirterek, borsaların kapanmasında öncü göstergelerin işlem hacmi olduğunu öne sürmüşlerdir. Artan işlem hacmi hırsızlar tarafından borsayı hedef haline getirdiğini belirtmişlerdir (Moore & Christin, 2013, s. 3)

Şekil 5 :Bitcoin Borsalarının Pazar Payları



Kaynak: <https://bitcointy.org>

Kapanan Mt.Gox borsasının ardından diğer borsaların piyasadaki önemi artmıştır. Bitcoin kullanıcılarına ilişkin yapılan bir araştırmada, kullanıcıların %65'i 35 yaş altında olduğu ve %80'inin ise üniversite mezunu veya öğrencisi olduğu belirtilmiştir (Coindesk, 2015). Gelir grubuna bakıldığında ise her gelir grubuna mensup insanların Bitcoin kullandığı belirtilmiştir.

2.2. Ethereum

Ethereum, ana güç kaynağı ETR olan bir kripto para işletim sistemidir (www.ethereum.org). Ethereum platformu, mantık olarak Bitcoin'in block zinciri metodunu temel alarak oluşturulmuş, kendine has özel bir yazım dilini kullanarak bu işletim sistemi üzerinde merkezi olmayan protokolleri geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu protokoller sayesinde ana işletim sistemi aynı olan ve tek bir blockchain üzerinden kabul edilmiş kontratlar kullanarak binlerce altcoin üretmek mümkün olabilecektir.

Ethereum, Bitcoin gibi popüler bir sanal para birimi ve yatırımcı sayısı günden güne artmaktadır. 11 Nisan 2018 tarihi itibarıyla 418 dolardan işlem gören Ethereum, Bitcoin gibi zaman içinde değerini hızla artıran bir sanal para birimi (<http://www.coinmarketcap.com>). Yaklaşık 2 yıl önce çoğu kişi tarafından bilinmeyen Ethereum son 6 ayda 33 kat birden artınca herkesin ilgi odağı haline gelmiştir.

Ethereum ile Bitcoin'in çalışma prensipleri aynı teknolojik temele dayanmaktadır. Bitcoin teknolojisiyle geliştirilen Ethereum, şifreli ve güvenli işlemleri kullanarak coinler üretilmektedir. Kullanıcılar coin üretmek istediklerinde aynı Bitcoin de olduğu gibi kendi bilgisayarların donanım özelliklerini kullanarak bu işlemi gerçekleştirmektedirler. Coin üretme noktasında Bitcoin'den farklı olarak bilgisayar işlemcisini kullanmak yerine (CPU) daha seri çalışan ekran kartını (GPU) kullanmaktadır. Yüksek maliyetler gerektirmeyen Ethereum mining algoritması evde bile mining yaparak ağa katılma imkânı sağlamıştır. Böylelikle çok kısa sürede ağa katılan kişi sayısı da hızla artmaktadır. Ağa katılan kişi sayısındaki artış beraberinde işlemlerin hızlı, stabil ve güçlü olmasına olanak sağlamaktadır.

Bitcoin ile Ethereum kıyaslandığında, Ethereum'un daha geniş imkanlara sahip olduğu görülünce akıllara; “Ethereum, Bitcoin'in tahtını alacak mı?” sorusu gelmektedir. Bu sorunun cevabını Vitalik Buterin şu şekilde yorumlamıştır; “Kripto paraları dünya üzerindeki kaynaklarla eşleştirecek olursak Bitcoin altın, Litecoin gümüş, Ethereum ise petroldür. Çünkü Ethereum'un sahip olduğu teknoloji geleceğin internetinin enerji kaynağı oluşturacaktır. Bu nedenle Ether ‘kripto yakıt’ olarak adlandırılmaktadır. Ether aynı zamanda Ethereum platformunun ihtiyaç duyduğu enerjiyi de sağlayacaktır.” (Hürriyet Teknoloji, 2017).

Toronto'da yazılımcı olarak hayatına devam eden Vitalik Buterin, Bitcoin'in kurulmasında birkaç yıl sonra hayalini uygulamaya geçirerek 2013 yılında Ethereum'u kurmuştur. Kripto para üzerinde birçok makale yazan Buterin, Ethereum'u kurmadan önce Bitcoin üzerinde yoğunlaşmıştır. Düzenlenen her türlü kripto para etkinliklerine ve buluşmalarına katılarak bitcoin dünyasının çekirdeğinde yerini almıştır. 2011 yılında Bitcoin ile tanışan Buterin, tüm yaşantısını bu yeni teknolojiye adanmış için üniversite

öğrenimini yarıda bırakmak zorunda kalmıştır. Yine aynı yıl Bitcoin Magazine'yi yayınlayan Buterin zaman içerisinde makale yazmayı bir adım ileri taşıyarak hayalindeki bağımsız platformu kurarak Ethereum'un temellerini atmıştır. Bu platform Bitcoin sunmuş olduğu finansal amaçlı hizmetlerinde ötesinde daha fazla imkanlar sağlayan ve birçok alanda kullanılabilen bir platformdu. Geniş bir kullanım alanına sahip bu platform sayesinde Ethereum yıllar itibariyle büyüdü ve kullanıcılar tarafından da tercih edilmeye başlandı. Gün geçtikçe artan kullanıcı kitlesi sayesinde de kripto para piyasasında market hacmi olarak Bitcoin'den sonra ikinci sırada ki yerini almıştır.

İlk başlarda Vitalik Buterin ve 3 kişilik ekip tarafından tasarlanan Ethereum, kısa süre içerisinde 32 kişilik bir ekibe ulaşmıştır. Ethereum borsaya açılmadan önce kullanıcı sayısı 4.000 kişiye yaklaşmış ve zaman içerisinde büyümesiyle yatırımcısının kar etmesini sağlamıştır. Ethereum cüzdanı olarak adlandırılan "Ethereum Wallet" sistemin yeni olmasından dolayı uygulama alanları Bitcoin'e göre daha sınırlıdır.

İlk Ethereum cüzdanı 2015 yılında Kryptokit tarafından deneme sürümü ile JaxxEthereum adı altında yayınlanmıştır. Haziran 2016 ise Apple'ın onaylamasıyla iOS AppStore üzerinden kullanıcıların hizmetine sunulmuş olan Ethereum cüzdanı aynı zamanda Appstore'da yayınlanan ilk kripto para cüzdanı olarak da yerini almıştır.

Buterin tarafından bağımsız bir platform icat edilmesiyle yazılımcılar uygulamayı geliştirebilme imkanına sahip olmuşlardır. Akıllı sözleşme özelliğine sahip olan Ethereum, birçok alanda kullanım seçenekleri sunmuştur. Bu alanlar oy kullanmak, domain isimler, finansal işlemler gibi her türlü anlaşmaya kadar neredeyse aklınıza gelebilecek her şeyi kodlamak, bağımsızlaştırmak, güvenli hale getirmek ve takas edilebilir hale getirmek için kullanılabilir.

Ethereum platformunun para birimi Ether'dir. Platformu kullanmak isteyen veya işlem yapmak isteyen herkesin Ether satın alması gerekmektedir. İnternet üzerinden Bitcoin'de olduğu gibi Ether satın alınabilir veya madencilik ile üretilir. Ethereum ve Ether arasındaki fark; Ethereum bir platform iken Ether ise bu platform üzerinden işlem yapmak için ihtiyaç duyulan para birimidir. Ether madencileri içinde

her block başına (yaklaşık 15-17 saniye) 5 Ether yaratıldı. Ethereum platform kurucuları, Ether'in kullanım alanının sadece Ethereum platformu üzerinde yapılacak işlemlerle sınırlandırmışlardır. Böylelikle Bitcoin'in aksine alışveriş mecralarında Ether'in kullanılması mümkün olmayacaktır. Ancak Ether'i internet üzerinde ki exchange sitelerinde al-sat yaparak getiri sağlayan bir yatırım aracı olarak değerlendirmek mümkündür. Henüz Bitcoin kadar istenilen olgunluk seviyesine ulaşmadığı için insanlar açısından kullanımı Bitcoin'e göre biraz daha zordur. Özellikle dünyaca ünlü kişiler ve firmaların ilk etapta Bitcoin bazlı açıklamalar veya söylemler yapması Bitcoin'i bir adım daha Ether'in önüne geçirmiştir.

ETC bir diğer adıyla Ethereum Classic, Ethereum kurucuları arasında zaman içinde meydana gelen anlaşmazlıklar sonucu ortaya çıkan yeni bir kripto paradır. Şimdi bu kripto paranın ortaya nasıl çıktığını inceleyelim.

Ethereum blok zincirinin tabanını DAO (Decentralized Autonomous Organization) adı verilen bir projesi oluşturmaktadır. DAO bir diğer adıyla merkeziyetsiz otonom organizasyonunun amacı maddi sıkıntılar yaşamadan akıllı kontratlar geliştirerek Ethereum'un büyümesini sağlamaktır. Bu proje aşağıdaki koşulları içermektedir:

- i. Kullanıcı platformda işlem yapmak istediğinde belli miktarda Ether için DAO Token satın alır,
- ii. Alınan bu DAO Token'lar sayesinde diğer platform geliştiricilerin projelerine oy verilir,
- iii. Geliştirilen projeler DAO Token sahipleri tarafından yeterli oyu alması neticesinde gerekli geliştirme masrafları DAO havuzundan karşılanıp hayata geçirilir.

Bu sayede ağda proje geliştirmek isteyen kullanıcılara bir fon sağlanmış olacak ve Ethereum'un büyümesi hız kazanacaktı. Nitekim Ethereum'un piyasaya arzında 12 milyon Ether'in yazılım için ayrılmasının en önemli sebebi de bu projeye dayanmaktadır. İlk bakıldığında basit ve anlaşılabilir bir mantığa sahip olan DAO

projesi, zaman içerisinde içinde barındırdığı açıkla gündeme gelmiştir. 17 Temmuz 2016 tarihinde platform kullanıcılarından birinin DAO'nun kodlarında ki bir açığı fark etmesi üzerine bu açığı kötüye kullanmış ve yaklaşık 50 milyon dolar civarında ki Ether'i DAO havuzundan başka bir hesaba aktarmıştır.

Platform üzerinden DAO'ya para yatırmış bir kullanıcı sisteme istek göndererek sistemden çıkabilir ve oy hakkını geri alabilir. Bu istek sonucu sistem 2 farklı kodu çalıştırarak işlemekteydi:

- i. Kullanıcının yaratmış olduğu Ether miktarını geri ver ve DAO Token'lerini geri al,
- ii. Geri verilen Ether'leri sisteme kayıt edip hesap bakiyelerini güncelle,

ancak kullanıcı buradaki sistem açığını fark edip kodu şu şekilde çalıştırmıştır;

- i. Kullanıcının yaratmış olduğu Ether miktarını geri ver ve DAO Token'lerini geri al,
- ii. Geri verilen Ether'leri sisteme kayıt et ancak DAO Token'lerinin transferlerini kaydetme,

Kullanıcı bu açık sayesinde elinde bulunan DAO Token'lerini defalarca sisteme iade edip karşılığında yaklaşık 50 milyon Ether'i sistemden çekmiştir. Bu saldırı sonucunda ağdaki birçok kullanıcı Ethereum'u sorumlu göstermiştir. Ethereum kurucularından biri olan Gavin Wood konuya ilişkin: "Burada belirtmekte fayda var, DAO saldırısı Ethereum ağının bir hatası sonucu gerçekleşmemiştir. DAO'nun kodlarındaki bir hatadan dolayı saldırgan böyle bir davranışı gerçekleştirebilmiştir. Ethereum ağı istenildiği gibi çalışmaya devam etmektedir." şeklinde açıklama yapmıştır.

Saldırcı sonucu kullanıcılar ikiye ayrılarak bir kısmı çalınan Ether'lerin iadesini talep ederken bir kısım ise Ethereum ağında bir sorun olmadığını olayın DAO geliştiricilerin kaynaklandığını ve bu sebeple bir iadenin söz konusu olamayacağını

savunuyordu. Ortaya çıkan bu kriz Ether'in piyasa değerin zaman içerisinde 20 dolardan 13 dolara kadar düşmesine neden olup yatırımcılarını da strese sokmuştur. Öte yandan DAO sisteminin şöyle bir artışı vardı. Eğer bir kullanıcı sistemden çıkmak istiyorsa DAO Tokenleri'ni teslim eder ve karşılığında Ether'leri geri alır. Ancak geri alınan Ether'lerin 28 gün boyunca kullanılması imkansızdı.

Tüm yaşanan bu gelişmeler neticesinde Ethereum topluluğunda yer alan büyük bir grup çeşitli güncellemeler yaparak çalınan 50 milyon değerindeki Ether'leri tekrar sisteme kazandırmışlar ve yollarına Ethereum olarak devam etmişlerdir. Topluluk içinde yer alan diğer küçük grup ise Ethereum Classic adı altında yollarına devam etmişlerdir. Böylelikle günümüzde Ethereum ve Ethereum Classic adı altında 2 farklı kripto para doğmuştur.

Ether sahibi olmak isterseniz bunu 3 farklı şekilde yapabilirsiniz. İsterseniz tek adımda Koineks sitesine girerek Ether satın alabilirsiniz ama kimlik belgelerinizi siteyle paylaşmayı göze almalısınız. Belge paylaşmak istemiyorsanız önce Paribu'ya girerek Bitcoin satın almalısınız. Ardından bu Bitcoin'i Binance hesabınıza atmalı ve oradan Ethereum'a çevirmelisiniz.

Kullanıcılar ellerindeki Ether bakiyelerini ister Binance ve isterlerse piyasadaki herhangi bir kripto para cüzdan hesabında değerlendirebilirler. Genellikle alım-satım işlemlerimde Binance hesabı kullanılırken, Ether'in değerlendirme aşamasında kripto para cüzdanları kullanılmaktadır. Kripto para cüzdanının avantajı ise Ether'in muhafaza edilmesinin en sağlıklı yolu olmasıdır. Ayrıca Binance üzerinden yapılan para aktarım işlemlerinde 0.01 ETH komisyon alınmaktadır.

Kullanıcılar kripto paralarını e-cüzdan veya elle taşınabilir cüzdan şeklinde muhafaza edebilirler. Piyasada e-cüzdanlar mobil uygulamalar üzerinden indirilebildiği gibi, elle taşınabilir cüzdanlara ise usb bellek tarzı aygıtlar üzerinden erişebilirler. Ledger Nanos bu cüzdanlardan en meşhuru ve Türkiye'de de satışa sunuldu. Ancak usb şeklindeki cüzdanları satın almak belirli bir ücret gerektirdiğinden e-cüzdanları incelemeye alacağız. Kullanıma hazır birçok e-cüzdan mobil cihazlar ve bilgisayarlarda

yer almaktadır. Örneğin; Exodus, Jaxx, Mist, MetaMask, Coinbase gibi e- cüzdanlar kripto para muhafazasında kullanılmaktadır. Kullanıcıların tercihini ara yüzü kolay ve kullanımı rahat uygulamalar daha çok etkilemektedir.

Ethereum, Bitcoin'e karşı alternatif para birimi olarak değil de dijital eki sistem de birbirlerini tamamlayan bir kripto para olarak görülmektedir. Bitcon olmadan Ethereum'un çıkarılması mümkün olamazdı (<https://www.ethereum.org>).

Ethereum projesinin birçok hedefi vardır. Temel hedeflerinden biri, birbirine güvenme imkânı bulunmayan kullanıcılar arasında gerçekleşen işlemlerin onaylanmasını sağlamaktır. Çünkü bu güvensizlik sebebi, coğrafi uzaklık, mevcut yasal sistemlerin uyumsuzluğu, masraflar, yeterince beceri sahibi olunmaması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu amaçla, zengin ve açık bir dil aracılığıyla bir geliştirme sistemi belirleyerek ve böylece bir anlaşmanın özerk olarak uygulanacağını, makul bir şekilde beklenebileceği bir sistem tasarlayarak, bu işlemler için bir araç sağlanmak istenilmiştir (Wood, 2014, s. 1).

2014 yılında halka arz edilen Ethereumun arz süresi 42 gün olarak belirlenmiştir. Halka arz sürecinde ilk 2 haftalık fiyatı 2.000 ETH = 1 BTC olarak belirlenmiştir. Zaman içerisinde bu denge 1337 ETH = 1 BTC olarak son halini almıştır (Buterin, 2014, s. 12). Ethereum'un halka arz süresince fiyatı 450 \$ ile 650 \$ arasında işlem görmüştür.

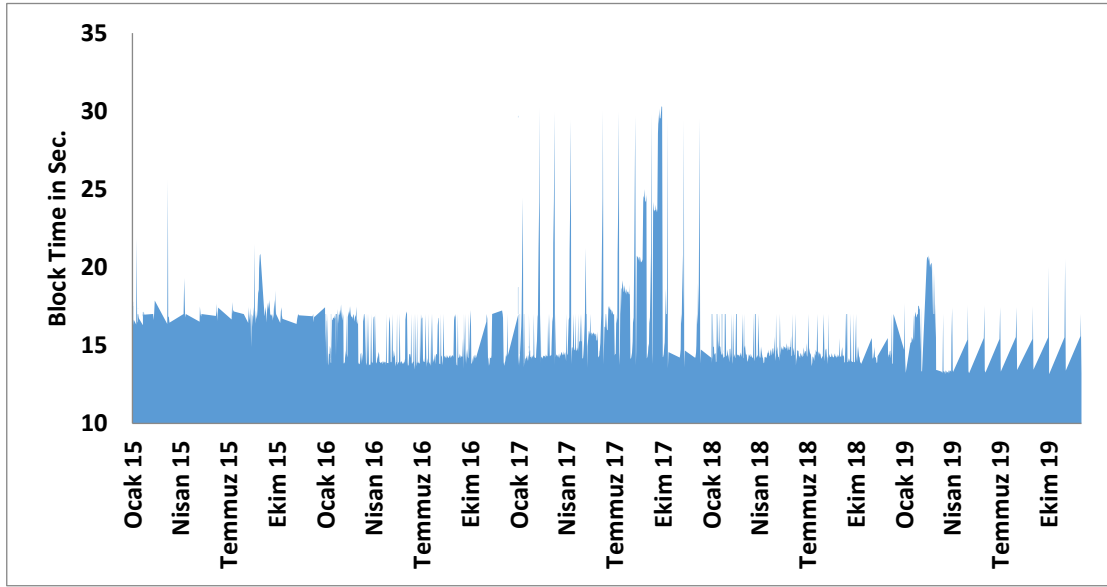
Bitcoin ve Ethereum'u birbirinden ayıran çok farklı yanları vardır. Ethereum tasarlama aşamasında ödeme sistemlerinin daha ötesinde olacak şekilde programlanmıştır. Ethereum protokolü esneklik ve işlevselliğin sağlanması için akıllı sözleşmelere göre programlanmıştır. Turing-bütün programlama dilinde yazılmış olan Ethereum C++ ile yazılan Bitcoin'den çok farklılık göstermektedir (Harm, Obregon, & Stubbendick, 2016, s. 3).

Doğrudan bir uygulamayı desteklemeyen Ethereum, sadece bir para birimi oluşturmanın ötesine geçmektedir. Açık uçlu tasarıma sahip Ethereum, finans ve veri

depolama alanı için geliştirilmiştir. Finansal ve finansal olmayan protokoller için geleceğe dönük bir alt yapı oluşturulması beklenmektedir (Buterin, 2014).

Bitcoin blok zincirinde yeni bir blok eklenmesi yaklaşık olarak 10 dakika sürmekteyken Ethereum’da bu süre yaklaşık 20 saniyedir (etherscan.io, 2017).

Şekil 6 :Yıllara Göre Ethereum Ortalama Blok Zaman Grafiği



Her geçen gün büyüyen kripto para sistemi ICO (Initial Coin Offerin) ile halka açılma ve arz yöntemini temsil etmektedir. Şirketlerin halka arzlarıyla benzerlik gösteren ICO, kripto parayı fonlayan bir yöntemidir.

2.3. Ripple

2004 yılında Ryan Fugger tarafından Vancouver şehrinde merkezi olmayan, güvenli ve kişilerin kendi para birimlerini oluşturmak amacıyla geliştirilmiş bir kripto para birimidir. Proje ilk başlarda tanındıklar arasında borçların mahsuplaştırılması amacıyla başlamıştır (Weber, 2016, s. 10). Bu fikirden hareketle Jed MC Caleb, Arthur Britto ve David Schwartz isimli programcılar, işlemlerin Bitcoin sisteminde ki madencilik faaliyetleri yerine kullanıcılar arasında oy birliği sağlanarak doğrulanan bir para birimi sistemini 2011 yılı Mayıs ayında geliştirmişlerdir. Bitcoin'in aksine gelişmiş

bir madencilik sistemi olmadığı için elektrik tüketimi daha azdır. Bitcoin teknolojisinde tüm katılımcıların senkronize olarak iletişim halinde olması gerekmektedir. Bu da işlem süresinin uzamasına neden olmaktadır. Ripple sisteminde ise güvenilir alt ağlardan oluşan bir algoritmanın olması bu süreyi kısaltmaktadır (Britto, Schwart, & Youngs, 2014, s. 3).

Programcılar 2012 Eylül ayında OpenCoin firmasını kurarak Ripple işlem protokolünü geliştirmişlerdir. Protokole göre taraflar arasında para transferleri anlık ve direkt olarak gerçekleşmektedir. Böylelikle bankacılık sistemindeki uzun işlem süreci ve masrafların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Ripple sistemi yoluyla dolar, euro, altın ve havayolu milleri gibi işlemlerde takas yapılabilmektedir.

Merkezi olmayan bir havale yapısına sahip Ripple, tutarı büyük ödemeleri anlık olarak mutabakat sistemi içinde yapmaktadır. Ripple, uluslararası havale piyasaları için önemli olan bir kripto paradır. Uluslararası havale işlemini gerçekleştirmek isteyen küçük bankalar büyük bankalar ile anlaşmak zorunda oldukları için bu aşamada Ripple sistemini kullanmaktadırlar (Schneider & Borra, 2015).

Ripple protokolü Bitcoin gibi senkronizasyon sistemi yerine oy birliği algoritması düğüm listesi adı verilen bir yöntem getirmektedir. Oy birliği algoritmasının çalışma prensibi, katılımcılar kendi UNL'sinde kayıtlı bulunan üyeleri dikkate alıp her katılımcının UNL'si o katılımcının sistemi kolektif olarak dolandırmayacağına güvendiği işlemlerden oluşmaktadır (Britto, Schwart, & Youngs, 2014).

Açık protokol üzerine inşa edilmiş Ripple farklı sistemler ve ağlar arasında ödemelerin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Eşler arasında gerçekleşen işlemlerin güvenliği şifresel olarak sağlanmaktadır. Bankaların kullanmış olduğu mevcut alt yapı sistemine uyumlu olacak şekilde kurulmuş olan Ripple sistemi, Defter-i Kebir Protokolü ile bankalar ve ödeme hizmeti sağlayıcıları arasındaki döviz havalesi işlemlerinin mutabakatını gerçekleştirmektedir. Ripple Connect mesajlaşma alt yapısı sayesinde bankaların defter-i kebir ile bağlantı kurularak sınır ötesi ödeme işlemlerinin gerçek zamanlı mutabakatını ve bu işlemlerin gizliliklerini koruyarak gerçekleştirir. Ayrıca

Bankalar Ripple Concept yöntemiyle bankacılık işlemleri başlamadan önce gerçekleşen lehdar, masraf ve öngörülen işlem tamamlanma vaktini birbirleriyle paylaşılabilirlerdir.

Ripple protokolü sahip olduğu aşağıdaki özellikleriyle bankalar ve finansal kuruluşların tercih nedeni olmuştur:

- i. Katılımcıların kendi UNL'sini belirlemede özgür olması,
- ii. Madencilerine iş kanıtı ya da sahiplik kanıtı prensiplerine dayanmaması,
- iii. Her türlü kripto para birimini ya da borç sertifikasını kabul etmesi,
- iv. Piyasa değerinin oynak bir varlığa bağlı olmaması.

Günümüz ekonomisinde ödeme sistemlerine alternatif olma iddiası taşıyan Ripple, alt yapısındaki finansal teknoloji ile bankalar sınır ötesi para transferleri gerçekleştirebilmektedir. Ripple sistemi ile kullanıcılar sınır ötesi işlemlerinde düşük masraflar ödeyebilmektedir.

Finansal kuruluşlar işlemlerinin mutabakatını Ripple sistemiyle gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Ripple sisteminde işlemlerin takası ve mutabakatı aşamasında merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadığından bankalar aralarında direkt olarak işlem yapabilmektedir. Dünyanın ilk blok zincir bankalar ağı olan Ripple Küresel Ödemeler Yönlendirme Grubu kuralları ve yönetim çerçevesiyle kurulmuştur. Bu sistemi kullanan finansal kuruluşlar Şekil 7'de gösterilmiştir.

Şekil 7 :Ripple Sistemini Kullanan Kuruluşlar



Ripple her saniye yeni bir defter-i kebir üreterek geçmiş defter-i kebirlerin devamı niteliğinde hareket etmektedir. Artan rakamlarla numaralandırılan defter-i kebirler, ödeme, takas teklifleri, hesap ayarı değişiklikleri gerçekleştikçe güncellenmektedir.

Bitcoin sisteminde kullanıcılar hesap bakiyelerine, geçiş işlemlerin hepsini toplayarak ve adresleriyle karşılaştırarak ulaşabilirler. Ripple defter-i kebir yaklaşımından hareketle klasik muhasebe sistemi ile aynı olup kişisel hesapları baz almaktadır. Bu süreçte defter-i kebirler sürekli olarak güncellenmekte olup kullanıcıların güncel bakiyelerini yansıtmaktadır. Böylelikle çevrim dışı olan ya da veri kaybı yaşayan hesapları kurtarmak için geçmiş bütün işlemleri temin etmeye ihtiyaç duymaz (Pinna & Ruttenberg, 2016, s. 17).

Ripple sisteminde gerçekleşen işlemler sırasıyla şu aşamalardan geçmektedir:

- i. İşlemler hesap sahibi tarafından yaratılmakta olup yine hesap sahibi tarafından imzalanmaktadır.
- ii. Yaratılan işlemler ağa iletilir. Eğer hatalı bir işlem var ise anında reddedilebilmektedir. Hatasız işlemler geçici olarak başarılı statüsünde değerlendirilmekte olup hatasız işlemler ise başarısız olarak

değerlendirilmektedir. Ancak sonraki süreçte hatasız işlemler hatalı ya da hatalı işlemler hatasız olabilmektedir.

- iii. Oy birliği sürecinde işlemler defter-i kebir üzerine eklenmektedir. Başarılı işlemler sonucunda defter-i kebir doğrulanmaktadır. Başarısız işlemler ise başarılı olana kadar oy birliği turunda devam etmektedir.
- iv. En son doğrulanan defter-i kebir işlem ve değişimi içermektedir.

Bankacılık sisteminde ödeme işlemleri merkezi bir ihraç sistemiyle fon alışverişi yaparak gerçekleştirilmektedir. Fon hareketlerini en aza indirmek için işlemlerin takasa ve mutabakatını yapacak ve kayıt altında tutacak bir merkezi karşı taraf olarak kullanmaktadır. Bankalarda ki işlem hızı ve uygunluğunun kısıtlanmasının en önemli nedenlerinden biri takas işlemleri sırasında merkezi karşı taraflarca kontrol edilen ve işletilen defter-i kebirler aracılığıyla yapmasıdır. Bu esnada riski en aza indirebilmek içinde ağda kayıtlı her bir bankanın rezerv hesaplarını saklamasını istenmektedir.

Bankalar Ripple sistemi üzerinden kullanıcıların takas işlemlerini defter-i kebir ve oy birliği süreciyle gerçekleştirmektedir. Finansal kuruluşlar takas işlemlerinin doğrulanması için bir merkezi yetkili kılarlar. Ülkemizde bu yetki BDDK'ya tanımlanmış olup 7/24 esasına ve gerçek zamana dayanarak takas işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Bir banka merkezi karşı taraf ağı dışında olan bir bankaya ödeme yapabilmek için birden çok bankada rezerv bulundurmak zorundadır. Bu zorunluluk bankaların daha fazla sermayeye ihtiyaç duyacağı anlamına gelmektedir. Ripple sistemi bu zorunluluğu ortadan kaldırarak tek bir para birimi kullanarak ödemelerin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla bankaların ihtiyaç duyduğu sermaye ihtiyacı da azalacaktır. Bankalara ait fonlar Ripple sisteminde şifreler ile korunmaktadır ve bankanın emaneti altındaki fonları temsil etmektedir.

Bitcoin ve diğer kripto para birimleri protokollerinde madencilik yapılarak para birimi oluşturabilir ve işlemler teyit edilebilmektedir. Bitcoin ve birçok kripto para

biriminde madencilik işleminin gerçekleşmesi için yüksek seviyede enerji tüketimine ihtiyaç duyulmaktadır. Oysa madencilik süreci olmayan Ripple sisteminde yüksek bilgisayar gücüne ihtiyaç yoktur. Ayrıca Ripple sisteminde Bitcoin'den farklı olarak tüm para birimleri geliştiriciler tarafından önceden yaratılmıştır (Weber, 2016, s. 10).

Ripple ulusal ve uluslararası işlemler için başlangıçta finansal zincirde basit bir unsur olarak başlasa da zamanla büyüyerek potansiyel seviyesini geliştirmiştir. Ripple sistemini ilk olarak Almanya'nın Münih kentinde online bankacılık hizmeti veren Fidor Bank tarafından 2014 yılında kullanılmıştır. Yine 2014 yılında Cross River Bank ve CBW Bank, 2015 yılında ise Fidor Bank Ripple protokolünü kullanacaklarını duyurmuşlardır.

2015 yılına gelindiğinde ise Western Union ve Commonwealth Bank of Australia banka içi transferlerde deney yapmak için Ripple sistemini kullanacaklarını duyurmuşlardır.

Ripple 2016 yılı Eylül ayında bankalar arası küresel ödemeleri gerçekleştirmek için dağıtık finansal teknolojiyle çalışan bankalar grubunun kuruluşunu ilan etmiştir. Bu grubun kurucu üyeleri arasında Bank of America, Merrill Lynch, Santander, UniCredit, Standard Chartered, Westpac Banking Corporation ve Royal Bank of Canada GPSG yer almaktadır. Grubun amacı Ripple ödeme işleminin kurallarını ve standartlarını oluşturmak, koruma ve gözetimini yaparak ödeme sistemi kapasitesinin gelişmesine katkıda bulunmaktır.

Ülkemizde Ripple ile anlaşılan ilk banka Akbank olmuştur (Akbank, 2017). Yurtdışı para transferi işlemlerinde kullanmak üzere anlaşılan bu sistem, işlemlere hız kazandırmak, maliyetleri düşürmek amacıyla Akbank'ın Almanya'da faaliyet gösteren iştiraki Akbank AG üzerinden tüzel ödemeler kapsamında pilot çalışma başlatmıştır.

2.4. Litecoin

Litecoin Ekim 2011’de eski Google mühendisi Charles Lee tarafından Github üzerinden piyasaya sürülmüştür. Ayrıca Lee, 2015’ten 2017’ye kadar Coinbase için çalışmıştır.

Litecoin, Bitcoin gibi merkezi olmayan açık kaynak kodlu küresel bir kripto para birimi ve ödeme sistemidir. Aktarım, fon yaratmak ve işlemleri doğrulamak için aynı şifreleme tekniklerini kullanır. Bitcoin ve Litecoin arasındaki en büyük fark, Litecoin’in daha fazla miktarda üretilmiş olması ve daha hızlı işlem yapabilme kapasitesine sahip olmasıdır.

Bitcoin kripto para piyasasının Altını, Litecoin ise Gümüşü olarak nitelendirilmektedir. Litecoin, Bitcoin ile benzer şifrelemenin yanında, Bitcoin’den sonra piyasaya çıkan ilk kripto paradır ve diğer kripto para birimlerinin içinde en büyük piyasa değerlerinden birine sahiptir ve ömrü uzundur. Bu özellikleri Litecoin’i uzun vadeli yatırım yapılacak, en iyi kripto para birimlerinden birisi yapmaktadır.

Bitcoin algoritmasında işlemler her 10 dakikada bir genel deftere eklenirken, Litecoin’de bu işlem süresi, 2.5 dakikadır. Litecoin’in algoritması, toplam 84 milyon Litecoin oluşturulmasına izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu maksimum kapasite, Bitcoin’den 4 kat daha büyüktür. Bitcoin SHA256 karma algoritmasını kullanırken Litecoin, şifre karma (Scrypt) algoritmasını kullanmaktadır. Bu, özünde, Bitcoin’i üretmek için tasarlanmış makinelerde Litecoin işlemleri için daha fazla bilgisayar işlemcisine (CPU) gerek duyulmaktadır.

Bir başka deyişle, Litecoin, pek çok açıdan, daha az bir marka bilinciyle gelişmiş bir Bitcoin’dir. Bitcoin’in 1/4 fiyatıyla (bütün BTC ve LTC dolaşımdayken dolaşıma giren toplam paranın yaklaşık 4 katı olacak şekilde) ticaret yapmak için tasarlanmıştır. Yakın zamanda Litecoin için “SegWit” adı verilen bir güncelleme gerçekleşmiştir. Bu güncelleme Litecoin işlem onay sürelerini daha da hızlandırmıştır. Litecoin, kullanıcılar tarafından yaklaşık sıfır maliyet ile para transferleri yapmayı

sağlayan ve P2P (kişiden-kişiyeye) sistemini kullanan kripto para birimidir. Diğer kripto para birimleri gibi Litecoin de herhangi bir merkezi kuruluş veya otoriteye bağlı olmaksızın, açık kaynak kodlu, küresel bir ödeme ağıdır. Matematik tabanlı teknolojiyi kullanan Litecoin, bu sayede ağı korur ve kullanıcıların paralarını kontrol etmelerine olanak sağlar. Litecoin diğer kripto paralara göre hızlı bir onay sürecine ve gelişmiş bir depolama imkanına sahiptir. Bitcoin'in arz miktarı 21 milyon iken, Litecoin'in arz miktarı Bitcoin'in 4 olup 84 milyondur. Bitcoin de Hash algoritması sha256 iken Litecoin de scrypt'dir.

Bitcoin'den daha yüksek işlem hacmine sahip olan Litecoin, ağ yapısında çok sayıda blok oluşturabildiği için ilerleyen süreçte ekstra bir geliştirmeye ihtiyaç duymadan işlemleri gerçekleştirebilecektir. Sonuç olarak ticari faaliyet sürdüren işletmeler yüksek hacimli işlemler gerçekleştirdiğinde daha fazla onay süreci ve süresine sahip olacaklardır. Litcoin'leriniz cüzdan şifrelemesi sayesinde güvence altına alınır ve kullanmak istediğiniz zaman belirlemiş olduğunuz şifre ile sisteme giriş yapabilirsiniz. Bu sayede hesabınız her türlü dış saldırıya karşı korunmuş olur.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Kripto para üzerine yapılmış yazın çalışmaları incelendiğinde, genellikle kripto paralar içerisinde popüler olan Bitcoin üzerine yapılmış çalışmalara rastlanılmaktadır.

Phillips, Shi ve Yun (2011) çalışmalarında, bitcoin serisine sağ kuyruklu birim kök testi uygulamıştır. Bu sayede fiyat balonlarını dikkate alan durağanlık analizi uygulanmış ve sabit terim uzaklaştırıldığında bile kalıcı bir şekilde fiyat balonu varlığı tespit edilmiştir (Phillips, Shi, & Yu, 2011).

Yermack (2013) Bitcoin'i banknot para biriminin taşınması gereken özellikleriyle karşılaştırıp, Bitcoin'in piyasa hızlı bir şekilde benimsenmesi ve ödeme aracı olarak kabul edildiğini ancak piyasada hesap birimi ve değer saklama amacı olma fonksiyonlarına sahip olmadığını belirtmiştir. Yermack bu görüşünü, fiyatının küsuratlı olması, oynaklığının yüksek olması ve spekülatif amaçlarla alınıp satılması ve güvenlik

zafiyetlerinin mevcut olmasına dayanak göstererek savunmuştur (Yermack, 2013, s. 11). Brière, Oosterlinck ve Szafarz (2013) Bitcoin'i bir yatırım aracı olarak ele alan yaptıkları çalışmada, Bitcoin'in yüksek getiri ve oynaklığa sahip olması ve diğer yatırım araçlarıyla aralarındaki korelasyonun düşük olması alternatif bir yatırım aracı olarak değerlendirilebileceğini vurgulamıştır (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2013, s. 4). Bitcoin serisinin durağanlık analizi de literatürde incelenmiştir. Kristoufek (2013) bitcoin serisinin durağanlık analizi çalışmasında ADF ve KPSS testlerini kullanarak serinin durağanlık mertebesini incelemiştir (Kristoufek, 2013). İncelemeleri sonucunda Bitcoin serisinin durağan olmadığını fakat birinci dereceden farkı alındığında durağan bir yapıya geçtiği yönündedir. Çalışmadaki dikkati çeken bir diğer unsur ise Bitcoin fiyatlarının yüksek olduğu dönemlerde ilginin arttığı ve artan bu ilgi neticesinde fiyatların daha hızlı bir şekilde düştüğüdür. Aynı durum tam tersi içinde geçerlidir.

Fink ve Johan (2014) yaptıkları farklı çalışmada ele almışlardır (Fink & Johann, 2014, s. 2). Yaptıkları çalışmada Bitcoin getirisinin yüksek performans gösterdiği ancak bu yüksek performansın nedenin ise yüksek volatiliteden kaynaklandığı ve likidite ile arasında pozitif yönlü ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Öte yandan Cheung, Roca ve Su (2014) yapmış oldukları çalışmaya benzer olarak Mt. Gox borsasının iflas etmesinde yaşanan krizlerin ve bitcoin fiyatlarında meydana gelen oynaklıkların etkisinin olduğunda analizlerle ortaya koymuşlardır (Cheung, Roca, & Su, 2014). Iwamura ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada, kripto paranın ideal tanımlamasını yapmışlar ve para arzında bir kısıt olmaması gerektiğini öne sürmüşlerdir (Iwamura, Kitamura, Matsumoto, & Saito, 2014, s. 14). 2014 yılında yapılan bu çalışmaya ek olarak kripto para üretim maliyetinin marjinal üretim maliyetine eşit olması, teknolojinin ilerlemesiyle bu maliyetinin düşürülebileceğini savunmuşlardır. Cheung, Roca ve Su (2014) Robust ekonometrik teknikler ile Bitcoin pazarındaki balon varlığını inceleyen bir çalışma yapmışlardır (Cheung, Roca, & Su, 2014). 2010 ve 2014 yılları arasında kısa ömürlü balonlar tespit etmişlerdir. Hatta 2011 – 2013 yıllarını kapsayan dönemde 66 günden 106 güne kadar 3 büyük balon etkisi tespit edilmiş ve sonuç olarak MtGox borsasının çöküşünü getirebileceği ifade edilmiştir. Malhotra ve Maloo (2014), Bitcoin serisine; ADF birim kök testi, Perron yapısal kırılmalı birim kök testi, Ardışık ADF birim kök testi ve Genelleştirilmiş Ardışık ADF birim kök testi

uygulamışlardır. Perron testine göre yapıda 2013 yılında tek bir yapısal kırılma olduğu ve bu varsayım altında serinin durağan olduğu kabul edilmiştir. ADF test sonuçlarına göre ise seri durağan değildir. Bu durum yapısal kırılmanın varlığının kabulünü güçlendirmiştir. Bunun yanında SADF ve GSADF test sonuçları da yapıda Bitcoin değişim değerlerinin fiyat balonu yapısı içerdiğini göstermektedir. Tüm bu incelenen özellikler altında Bitcoin ürününün riskli bir finansal varlık olduğu kabul edilmiştir (Malhotra & Maloo, 2014).

Baek ve Elbeck (2015) Bitcoin ve S&P500'un günlük endeks verilerini kullanarak pazar dinamiklerini oluşturan değişkenlerden hareketle bir model çalışması yapmıştır (Baek & Elbeck, 2015, s. 30). Çalışmada trendden arındırılmış rasyolar kullanılarak volatilité ilişkisi incelenmiş ve Bitcoin piyasasının spekülasyona dayalı olduğunu öne sürmüşlerdir. Juskalian (2015) bu çalışmaların daha farklı bir boyutu olarak 2015 yılında 2 günlük hafta sonu Hollanda ziyaretinde harcamalarını Bitcoin para birimi kullanarak yapmıştır. Burada ele aldığı konu ise ödemelerde kullanmış olduğu Bitcoin'in kredi kartı ile yapılan ödemelere göre daha zor olduğunu göstermiştir (Juskalian, 2015). Ancak satıcılar açısından bakıldığında ise Bitcoin ile yapılan ödemelerde %3'lük bir komisyonun alınmaması bir tercih nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Kristoufek (2015) Bitcoin'in fiyatını etkileyen faktörlerin finansal varlık mı yoksa spekülatif bir varlık mı olduğunu incelemiştir. (Kristoufek, 2015, s. 10). Araştırmasını Çin piyasasında yapan Kristoufek sonuç olarak Bitcoin'in hem finansal varlık hem de spekülatif bir varlık olduğu sonucuna varmıştır. Analiz sonucunda, Bitcoin'in spekülatif bir varlık olmasına rağmen, ticarete kullanılması, arz edilmesi ve fiyat seviyelerinin değişmesi gibi temel faktörlerin uzun vadeli Bitcoin fiyatlarını etkilediğini gözlemlemiştir. Chun ve Chan (2015) yaptıkları çalışmada 15 parametrik dağılım tekniğini kullanarak Bitcoin fiyatları ile Amerikan Dolarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, hiperbolik dağılım test en uygun sonucu vermiştir ve test sonucunda yüksek volatilitenin yüksek getiri sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında doğrusal ve doğrusal olmayan istatistiksel yöntemler kullanarak fiyat tahmini de yapmışlardır. Glaser ve arkadaşları (2015) Bitcoin'in yatırım aracı mı yoksa işlem aracı mı olarak tercih edildiklerini araştırmışlardır (Glaser, Zimmermann, Haferkorn, Weber, & Siering, 2015, s. 14). Çalışmalar sonucunda, kullanıcıların

Bitcoin'i hizmet ve mal satın almaktan ziyade spekülasyona dayalı bir yatırım aracı olarak tercih ettikleri sonucuna varmışlardır. Dyhrberg (2015) tarafından Bitcoin'in fiyat değişikliklerine karşı riskten korunma amacı olup olmadığını araştırılmıştır (Dyhrberg, 2015, s. 5). Çalışmalar sonucunda, Bitcoin'in bir yatırım aracı olan hisse senedi ve dolar karşısında riski dağıtmak yani hedge etmek için kullanılabileceğini savunmuştur. Dyhrberg'e göre, yatırımcılar ve analistler Bitcoin'i piyasa riskini önleyecek bir araç olarak tercih edebilirler.

Eswara (2017) tarafından Hint Rupisi kuru baz alınarak Bitcoin fiyatının dolar, euro, sterlin, yen ve yuan kurlarından etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır. 105 günlük dönemi kapsayan analizinde Bitcoin'in rupi değeri, dolardan pozitif etkilenirken, sterlin ve yuandan negatif etkilenmektedir (Eswara, 2017, s. 9). Finansal bir varlık olarak ele alınan Bitcoin'de fiyat oynaklık modellemesinin analiz edilmesi önem kazanmıştır. Katsiampa (2017) yapmış olduğu çalışmalarda bu durumu ele almıştır. Çalışmasında Bitcoin piyasasında uzun dönemli varyansın sabit kalmadığı aksine kısa dönemli varyans gibi zaman içinde farklılaştığı öngörülmektedir. Aynı zamanda portföy ve risk yöneticileri için makroekonomik bir indikatör olarak kullanılabileceği ve endeks değerinin faydalı bir enstrüman olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada asimetric etkinin belirlenmesine yönelik modeller kullanılmış ancak pozitif ve negatif şoklara karşın benzer tepkiler verdiği görülmüştür (Katsiampa, 2017, s. 3-6).

Uluslararası akademik çalışmalar incelendiğinde karşımıza kripto para ile ilgili genellikle teknik tarafın ele alındığı finans yönünü araştıran çalışmaların sınırlı kaldığı gözlemlenmektedir

Türkiye'de yapılan araştırmalara baktığımızda, Gün (2014) Bitcoin'in yaşanan finansal krizler neticesinde ortaya çıktığını savunmuştur ve Bitcoin'i merkezi olmayan bir para birimi olarak ele almıştır. Yapmış olduğu çalışmada Bitcoin'in mevcut sorunları çözüp çözmediği ve yeni sorunlara yol açıp açmadığı konusuna eğilmiştir (Gün, 2014, s. 13). Bir diğer çalışmada ise Atik ve arkadaşları (2015) Bitcoin ile günlük kur fiyatları arasındaki etkileşimi ele alıp Granger nedensellik analizini kullanarak test etmişlerdir. Çalışma sonucunda kurlar arasında Japon Yen'i ile Bitcoin'in birbirlerini gecikmeli

olarak etkilediği ve Japon Yen'inden Bitcoin'e doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin var olduğunu tespit etmişlerdir (Atik, Köse, Yılmaz, & Sağlam, 2015, s. 247-262).

Koçoğlu ve arkadaşları (2016) Bitcoin'in işlem gördüğü sekiz farklı borsanın etkinliğini, likiditesini ve oynaklığını (volatilitesi) analiz etmiştir. Araştırma sonucuna göre, Bitfinex (USD), Bitstamp (USD), Btce (USD) Bitcoin borsaları birbirleriyle eşbütünleşik, Okcoin (CNY) borsası ise bu 3 borsa ile eşbütünleşik değildir. Ek olarak söz konusu Bitcoin piyasalarının kendi aralarında nedensellik görülmediği ve ilişki bulunmadığı sonucuna varmışlardır (Koçoğlu, Çevik, & Tanrıöven, 2016, s. 77-97).

Bir başka çalışmaya baktığımızda Şahin (2018) 2012 ve 2018 tarihleri arasında Bitcoin'in kapanış fiyatlarının bir zaman serisin ARIMA ve Yapay Sinir Ağı modeli ile tahmin edilip edilemeyeceği test edilmiştir (Şahin, 2018, s. 74-94). Yapılan çalışmalar sonucunda YSA ile tahmin edilen fiyatlar, gerçekleşen fiyatlara yakın bulunmuştur.

Etkin piyasa ve Fraktal piyasa hipotezleri üzerine yapılan farklı çalışmalar, Türkiye ve diğer ülkeler ele alınarak tarih sıralamasına göre incelenmiştir.

Fama (1970), otokorelasyon testi uygulayarak Dow Jones Sanayi Endeksinde işlem gören 30 adet hisse senedinin zayıf yapıda etkinliğini test etmiştir (Fama, 1970). Zaman serisi 1957-1962 dönemlerini kapsayan hisse senetlerine logaritmik fark işlemi uygulanmıştır. Serilerin 1, 4, 9 ve 16 günlük farkı alınarak otokorelasyon testi uygulanmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen otokorelasyon katsayıları incelendiğinde fiyat serileri ile getiriler arasına önemli bir ilişki bulunamamıştır.

Palmer (1970), para arzı değişim oranı ile Standart & Poor 425 hisse senedi fiyatları arasındaki ilişkiyi serilerin grafiklerinden kullanılarak incelemiştir (Palmer, 1970, s. 19). Buna göre 1959-1969 dönemleri arasında yer alan para arzı ve endeks arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Özellikle iki seriye ait grafiklerde yer alan dönüm noktalarında ki sıkı benzerlikte ilişkiyi ayrıca desteklemektedir. Serilerin salınımlarında para arzının öncü gösterge olarak hareket ettiği tespit edilmiş olup, para arzında meydana gelen %1'lik değişim, hisse senedini %10 değiştirmektedir.

Chow ve arkadaşları (1996), ABD ve 21 uluslararası sermaye piyasası endeksini 1962-1990 dönemlerini baz alarak incelemişlerdir (Chow, Pan, & Sakano, 1996, s. 182). Çalışmada aylık verilerden kullanılarak uzun ve kısa hafızanın varlığı yeniden ölçeklendirilmiş aralık analizi ve yeniden ölçeklendirilmiş varyans oranı testleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, ABD ve 21 uluslararası piyasada uzun hafızanın varlığı tespit edilemezken, sadece 6 piyasada kısa dönemli bağımlılık tespit edilmiştir. Ek olarak uluslararası pay piyasalarının zayıf yapıda etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

Mobarak ve Keasey (2000), Bangladeş hisse senedi piyasası üzerine yapmış oldukları çalışmada zayıf yapıda etkinlik test edilmiştir (Mobarek & Keasey, 2000, s. 15). Günlük veriler kullanılarak Dhaka hisse senedi endeksi incelenmiştir. 2638 gözlemden oluşan veri setinde parametrik ve parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda anlamlı otokorelasyon ve piyasanın rassal yürüyüşe uyması, Dhaka hisse senedi piyasasının zayıf yapıda etkin olmadığını tespit etmişlerdir.

Andreou ve arkadaşları (2000), Yunan Drahmi'e karşı ABD doları, İngiliz sterlini, Alman markı ve Fransız frangı gibi dört önemli para biriminin günlük getirilerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını incelemişlerdir (Andreou, Pavlides, & Karytinis, 2000). Çalışmada 1985-1995 döneminin kapsayan 4 farklı para biriminin fiyat getirilerine BDS testi uygulanmış ve bu 4 farklı para birimine ait seriler de doğrusal olmayan bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Bu serilerin fraktallık özelliği ise dönüştürülmüş genişlik testi ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda Fransız frangı ve Alman markı kur serilerinin fraktal yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Son olarak Lyapunov üsteli testi ile serilerde ki kaotik yapıyı korelasyon boyutu incelenmiş, serilerde kaotik yapıya rastlamışlardır.

Sadique ve Silvapulle (2001), Japonya, Kore, Yeni Zelanda, Malezya, Singapur, ABD, borsalarında uzun hafızanın varlığını incelemişlerdir (Sadique & Silvapulle, 2001, s. 65). Aylık veriler kullanılarak 1983-1998 dönemi R/S, GPH, the frequency domain score ve the time-domain score testleriyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda Kore, Malezya, Singapur ve Yeni Zelanda borsalarında getiriler uzun

dönemli bağımlı çıkarken Japonya ve ABD piyasalarının etkin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Cheung ve Coutts (2001), Hong Kong hisse senedi piyasası üzerine yapmış oldukları çalışmada yarı güçlü yapıda etkinlik test edilmiştir (Cheung & Coutts, 2010, s. 10). Hang Seng endeksi sabit, değişen hata varyansı ve varyans oranı testi ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda Hang Seng endeksinin zayıf yapıda etkin olduğu tespit edilmiştir.

Festic ve arkadaşları (2012), Hırvat ve Macar borsalarında uzun hafızanın varlığını incelemişlerdir (Festic, Kavkler, & Dajčman, 2012, s. 116). KPSS, R/S ve WOLS testlerinin kullanarak yapmış oldukları çalışmada Hırvat borsasının uzun hafıza özelliği sergilediğini Macar borsalarında bazı paylar için uzun hafıza olduğunu BUX piyasa endeksi için uzun hafızaya rastlanmadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, Macar piyasasının zayıf formda etkin bir piyasa olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Saleem (2014), Rusya borsasında uzun hafızanın varlığı incelenmiştir. Aylık verilerden kullanılarak 2004-2013 dönemleri FIGARCH modeli kullanılarak incelenmiştir (Saleem, 2014, s. 571). Çalışma sonucunda, tüm sektörler için uzun hafızanın varlığı kanıtlanmış ve piyasanın zayıf formda etkin olmadığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde yapılan çalışmalara baktığımızda; Çevik ve Erdoğan (2009), Türk Bankacılık Sektörü Pay Piyasası'nın zayıf yapıda etkinliğini incelemişlerdir (Çevik & Erdoğan, 2009, s. 10). 2003-2007 dönemi yapısal kırılma testleri ve güçlü hafıza modelleri ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda fiyat serilerinin tümünde yapısal kırılma tespit edilmiş olup bu kırılmanın etkisi ortadan kaldırıldığında fiyat serilerinin güçlü hafıza özelliği gösterdiği ve uzun dönemde ortalamasına geri döndüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç, bankacılık sektörünün zayıf formda etkin olmadığını göstermektedir.

Atan ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada, İMKB 100 endeksinin etkin bir piyasa olup olmadığı incelenmiştir (Atan, Özdemir, & Atan, 2009, s. 44).

Korkmaz ve arkadaşları (2009), İMKB 100 endeksinde uzun hafızanın varlığını incelemişlerdir (Korkmaz, Cevik, & Özataç, 2009, s. 8). Günlük veriler kullanılarak 1988-2008 dönemi ARFIMA ve FIGARCH modelleriyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, piyasa getirilerinde uzun hafızanın olmadığı ve sonuç olarak İMKB 100 endeksinin zayıf yapıda etkin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kahyaoğlu ve Duygulu (2005), TCMB bilançosundan yer alan parasal kalemleri ve bunları oluşturan bileşenleri ARFIMA ve GPH yöntemlerini kullanarak analiz etmiştir (Kahyaoğlu & Duygulu, 2005, s. 69). Analiz sonucunda uzun dönemli bellek yani fraktallığın var olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen parasal uzun dönemli belleğe sahip olup olmadıklarını incelemişlerdir.

Çevik ve Topaloğlu (2014), BİST100 ve BİST30 endekslerinde uzun hafızanın varlığını incelemişlerdir (Çevik & Topaloğlu, 2014). Günlük kapanış verilerinden kullanılarak 1988-2014 dönemi A-FIGARCH model ile test edilmiştir. Çalışma sonucunda, getiri serilerinin koşullu varyansının uzun hafıza içerdiği ve Borsa İstanbul'un zayıf yapıda etkin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Günay (2015), ekonomileri son yıllarda hızla büyüyen ve içinde Türkiye'nin bulunduğu, adını ülkelerin baş harfinden alan BRIC-T ülkelerinde (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Türkiye) borsa endeksi günlük getirilerinde kaotik davranışın önde gelen özellikleri olan; doğrusal olmama, başlangıç durumlarına duyarlılık ve fraktallık özelliklerini analiz etmiştir (Günay, 2015, s. 6). Çalışmada 1997-2014 dönemini kapsayan borsa endeksi serilerine BDS testi, en büyük Lyapunov üsteli testi ve kutu sayım testi uygulanmıştır. Testler sonucunda, BRIC-T ülkelerinin hisse senedi endeks getirilerinde, kaotik yapının varlığını tespit etmiştir.

4. EKONOMETRİK TEKNİKLER

4.1. Uzun Hafıza

Makro ekonomik ve finansal zaman serilerinde, serinin uzun gecikme uzunluklarında yüksek korelasyona bağlı uzun dönemli bağlılığa rastlanabilmektedir.

Örneğin, enflasyon sorunu yaşayan ülkelerin enflasyonu düşürmeye yönelik uyguladıkları politikaların yetersiz kalmasında ki en önemli sebep, enflasyon endeks serilerinin geçmiş dönem enflasyon değerlerine bağılılığıdır.

Ekonomik birimler arasındaki asimetrik bilgi paylaşımı da zaman serilerinde uzun dönem bağımlılığa neden olmaktadır. Mevcut piyasa koşullarında, karar alıcılar arasındaki bilgi dağılımında bir asimetri olması durumunda, bu piyasa kaynak dağıtımında görevini yerine getiremeyecektir. Piyasa aksaklığı olarak adlandırılan bu durum etkin kaynak dağılımının önünde bir engel olarak kabul edilmektedir. Asimetrik bilgi paylaşımı sebebiyle yeterince bilgi sahibi olmayan piyasa oyuncuları, yatırım kararlarını kamuoyuna açıklanan yeni bilgilere göre değil yapmak istedikleri yatırımın eski seyrine göre alacaktır. Asimetrik bilgi paylaşımında herkesten daha fazla bilgiye sahip olan oyuncular ise yeni bilgiler ışığında karar alacaktır. Doğru bilgileri herkesten önce öğrenen piyasa oyuncuları sürekli kar edebilme imkanına sahip olacaklardır. Sonuç olarak ekonomik serilerin hareketleri kamuoyuna açıklanan bilgiler yerine geçmişte aldığı değerlerle yüksek korelasyon gösterecektir.

Uzun dönem bağımlılık gösteren makroekonomik zaman serilerinde oluşan beklenmeyen şokların etkileri uzun dönem gözlemlenir. Diğer bir ifadeyle, şoklar sürekli hale gelir. Zaman serilerindeki bu bağımlılık serinin birinci veya daha yüksek momentlerinden kaynaklanmaktadır (Zivot & Wang, 2003, s. 257).

4.1.1. Otokorelasyon

Durağan olan bir zaman serisinde otokorelasyon fonksiyonu geometrik azalan bir eğri şeklindedir. Bu serilerde, uzak gözlem değerleri arasında bağımlılık olmadığı için gözlem değerleri birbirlerini etkilemez ve kısa dönemli bağımlılık özelliği gösterirler. Ancak durağan olmayan serilerde otokorelasyon fonksiyonu doğrusal azalan bir görünüm göstermektedir. Bu görünüm serinin uzak gözlem değerleri arasında bağımlılık olduğunu ortaya koymaktadır.

Zaman serilerindeki uzun dönem bağımlılık, serinin otokorelasyon fonksiyonunun 100-200 gibi uzun gecikme uzunluğunda dahi yüksek korelasyon göstermesi olarak ifade edilmektedir.

4.1.2. Uzun Hafızalı Zaman Serilerinde Spektral Yoğunluk Fonksiyonu

Zaman serilerindeki uzun dönem bağımlılık özelliğini ortaya koyacak yöntemlerden bir diğeri ise kovaryans durağan veya başka bir ifadeyle zayıf durağan olması şartı ile ilgili zaman serilerinin spektral yoğunluk fonksiyonunun incelenmesidir.

X_t serisi kovaryans durağan yani ortalaması sabit, kovaryansı zamana bağlı olarak değişmeyen bir zaman serisi olsun. X_t serisine ait spektral yoğunluk fonksiyonu aşağıda yer almaktadır.

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho(h) e^{-ih\omega}, \quad -\pi \leq \omega \leq \pi \quad (1.1)$$

Kovaryans durağan X_t zaman serisinin uzun dönem pozitif bağımlılığa sahip olabilmesi için serinin spektral yoğunluk fonksiyonunun sıfır frekansında $f(0) = \infty$ olması gerekir. Bu durum;

$$f(0) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho(h) = \infty \quad (1.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Otokorelasyon fonksiyonu açısından uzun dönemli bağımlılık sürecindeki zaman serisi;

$$\rho(h) = h^{-\alpha}, 0 < \alpha < 1 \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Uzun hafıza sürecindeki zaman serisinin spektral yoğunluk fonksiyonu da yavaş azalma eğilimi gösteren hiperbolik bir eğri görünümünde olacaktır. Bu durumda spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$f(\omega) \rightarrow \omega^{\alpha-1}, 0 < \alpha < 1 \quad (1.4)$$

olarak tanımlanacaktır.

X_t zaman serisinin uzun dönem negatif bağımlılığa sahip olabilmesi için ise serinin spektral yoğunluk fonksiyonunun sıfır frekansında $f(0) = 0$ olması gerekmektedir. Bu durumda spektral yoğunluk fonksiyonu ;

$$f(0) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho(h) = 0 \quad (1.5)$$

olacak şekilde yazılır.

Kovaryans durağan x_t zaman serisinin spektral yoğunluk fonksiyonunun sıfır frekansında aldığı değer pozitif ve sonlu ise, yani $0 < f(0) < \infty$ ise, bu seriye kısa dönem bağımlı seri adı verilir. Serinin spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$f(0) = 0 < \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho(h) < \infty \quad (1.6)$$

olacak şekilde yazılır.

4.1.3. Uzun Hafızalı Zaman Serilerinde Fraksiyonel Bütünleşik Süreç

Zaman serilerindeki uzun dönem bağımlılığı ortaya koymada ilk olarak Adenstedt tarafından matematiksel olarak fraksiyonel fark alma işlemi önerilmiştir (Adenstedt, 1974, s. 227). İlgili makalede kovaryans durağan ve fraksiyonel bütünleşik x_t serisinin spektral yoğunluk fonksiyonu fraksiyonel fark alma modeli olarak ifade edilmiştir. İlgili serinin spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$f(\omega) = \frac{\sigma^2}{2\pi} |1 - e^{i\omega}|^{-2d}, -\pi \leq \omega \leq \pi \quad (2)$$

olarak yazılmaktadır. Spektral yoğunluk fonksiyonunda yer alan d parametresi kesirli fark alma parametresini göstermektedir.

Adenstedt (1974), $f(\omega)$ 'nin durağanlık koşulu için matematiksel bir sınırlama olarak d 'nin $d < \frac{1}{2}$ olması gerektiğini, çevrilebilirlik koşulu için ise d 'nin $d > -\frac{1}{2}$ olması gerektiği ifade etmiştir.

4.1.3. Fraksiyonel Bütünleşik ARIMA (ARFIMA) Modelleri

Zaman seri analizinde kullanılan serilerin özelliklerine baktığımızda seriler çoğunlukla durağan olmayan veya birinci farkı alındığında durağan olan serilerdir. Birinci farkta durağanlığı sağlanan serilerin otokorelasyon fonksiyonunda lineer bir azalma görülürken, durağan olan yani $I(0)$ olarak gösterilen serilerin otokorelasyon fonksiyonunda üstsel bir azalma görülmektedir. Her iki türlü seride ise uzun zaman aralıklarındaki gözlem değerlerinin birbirlerinden bağımsız veya birbirlerini etkilemediği varsayılmaktadır. Zaman serilerinde gözlemlenen bu uzun dönem bağımlılık Box-Jenkins yaklaşımı çerçevesinde modellenmesinde birtakım problemlere neden olmaktadır.

ARMA modelleri zaman serilerinin daha çok kısa dönem tahminleriyle ilgili olup, zaman serilerindeki uzun dönemli bağımlılığı göstermede yetersiz kalmaktadır. Uzun dönemli bağımlılığı göstermede ARMA sürecinin kullanılması sonucu modelin belirlenmesinde AIC veya SBC kriterlerine göre gecikme sayısının çok fazla olmasına neden olacaktır.

Uzun dönem bağımlılık gösteren zaman serilerinde durağan ARMA süreçleriyle tanımlanmasında ortaya çıkan görece uzun gecikme uzunluğu kullanma programı, fraksiyonel fark alma işlemcisinin alacağı değere bağlı olarak çözülebilmektedir. Böyle d değerine bağlı olarak, model mümkün olan en az parametrenin kullanılmasına olanak sağlayacaktır (Granger C. , 1980, s. 22).

Durağan olmayan serilerin birinci mertebeden farklarının alması çoğu zaman serileri durağan hale getirmeye yetmektedir. Uygulamada fark alma işleminde birinci veya ikinci gibi tam sayılar kullanılarak fark alınmaktadır. Ancak bazı zaman serilerinde uzun dönem bağımlılığını ortadan kaldırmak için birinci veya ikinci

dereceden farkların alınması yeterli olmayabilir. Böyle serilerde tam sayılarla fark almak yerine fraksiyonel yani kesirli farkın alınması $0 < |d| < \frac{1}{2}$ önerilmektedir.

Fraksiyonel ARIMA modelleri durağan zaman serilerindeki hem uzun dönem hem de kısa dönem dinamiklerin beraber modellenmesinde oldukça sık kullanılmaktadır. Herhangi bir serinin d 'inci mertebeden farkı durağan bir ARMA süreci ise bu seriler ARIMA (p, d, q) serileri olarak adlandırılmaktadır ve d 'inci mertebeden farkı durağan olan y_t serisinin ARIMA (p, d, q) gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\phi(L)(1-L)^d(y_t) = \phi(L)\varepsilon_t, \varepsilon_t \approx WN(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (3.1)$$

Modelin otoregresif kısmının (AR(p)) polinomial gecikme parametreleri $\phi(L)$ olup gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} \phi(L) &= 1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i \\ &= 1 - \phi_1 L^1 - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p \end{aligned} \quad (3.2)$$

Modelin hareketli ortalama kısmının MA(q) polinomial gecikme parametreleri $\theta(L)$ olup, gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} \theta(L) &= 1 + \sum_{i=1}^p \theta_i L^i \\ &= 1 + \theta_1 L^1 + \theta_2 L^2 + \dots + \theta_p L^p \end{aligned} \quad (3.3)$$

y_t serinin hem AR(p) hem de MA(q) kısımlarının karakteristik denklemlerinin kökleri birim daire içinde yer almaktadır. Bu durumda serinin hem durağan hem de çevrilebilir olduğu ifade edilmektedir.

Yukarıdaki ARIMA (p, d, q) modelinde ki farl alma işlemcesi (d) pozitif bir tam sayı yerine, $(0 < |d| < 1)$ aralığında reel bir sayıyla ifade edildiğinde ARIMA (p, d, q) modeli, fraksiyonel bütünleşik ARIMA modeli haline gelecektir. Zaman

serilerindeki fraksiyonel bütünleşmenin ARFIMA formunda ortaya konulması birbirinden bağımsız olarak Hosking ile Joyeux tarafından yapılmıştır (Granger & Joyeux, 2010, s. 15).

Uzun dönemli bağımlılık sürecinde olan bir x_t serisi Granger, Joyeux ve Hosking tarafından parametrik bütünleşik bir süreç olarak aşağıdaki gibi ARFIMA modeli yazılmıştır.

$$(1 - L)^d \alpha(L) x_t = b(L) \varepsilon_t \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan L gecikme parametresini dfraksiyonel fark alma parametresi, a, b sırasıyla modelin otoregresif ve hareketli ortalama kısımlarının katsayılarını ve ε_t ilişkisiz saf hata terimini göstermektedir. Yine aynı fonksiyonda yer alan fraksiyonel fark alma terimi $(1 - L)^d$ 'nin binominal açılımı aşağıdaki gibidir.

$$(1 - L)^d = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{d}{k} (-L)^k \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan binomial ifadenin açılımı;

$$\binom{d}{k} = \frac{d!}{k!(d-k)!} = \frac{r(d+1)}{r(k+1)r(d-k+1)} = 1 - dL + \frac{d(d-1)}{2!} L^2 - \frac{d(d-1)(d-2)}{3!} L^3 + \dots$$

olmalıdır. Modelin durağanlık koşulu ise $-\frac{1}{2} < d < \frac{1}{2}$ ile ifade edilmektedir. $|d| > \frac{1}{2}$ olması durumunda ise x_t serisi durağan olmayacak, kısa hafıza özelliğine sahip bir zaman serisi olacaktır.

$0 < d < \frac{1}{2}$ olduğunda ise x_t serisi durağan ve uzun dönem pozitif bağımlılık gösteren uzun hafıza zaman serisidir. Böyle bir durumda seriye ait otokorelasyon fonksiyonu uzun gecikme uzunluklarıyla hiperbolik bir şekilde ve yavaş bir azalma temposunda azalan bir görünümde olacaktır.

$-\frac{1}{2} < d < 0$ olduğunda ise x_t serisi durağan ancak uzun dönem negatif bağımlılığa sahip bir zaman serisidir.

Sonuç olarak fraksiyonel fark alma işlemcisi olan (d) 'nin değerine bağlı olarak durağan x_t serisinin hem uzun dönemli bağımlılığı hem de kısa dönem bağımlılığı ARFIMA (p, d, q) modelleriyle ortaya konulabilmektedir.

ARFIMA modeline ait bazı özellikler aşağıdaki gibidir:

- i. $d < 0,5$ olduğunda x_t serisi zayıf durağan bir süreç olur ve sonsuz MA (hareketli ortalama) gösterimine sahiptir:

$$x_t = u_t + \sum_{i=1}^{\infty} \omega_i u_{t-i}, \quad \omega_k = \frac{d(1+d)\dots(k-1+d)}{k!} = \frac{(k+d-1)}{k!(d-1)!} \quad (3.6)$$

- ii. $d > -0,5$ olduğunda x_t serisi çevrilebilir ve sonsuz AR (otoregresif) gösterime sahiptir:

$$x_t = \sum_{i=1}^{\infty} \pi_i x_{t-i} + u_t, \quad \pi_k = \frac{-d(1-d)\dots(k-1-d)}{k!} = \frac{(k-d-1)}{k!(-d-1)!} \quad (3.7)$$

- iii. $-0,5 < d < 0,5$ olduğunda x_t serisinin otokorelasyon fonksiyonu (ACF) aşağıdaki gibidir:

$$p_k = \frac{d(1+d)\dots(k-1+d)}{(1-d)(2-d)\dots(k-d)}, \quad k = 1, 2, \dots$$

$$p_1 = \frac{d}{1-d} \text{ ve } p_k \approx \frac{(-d)!}{(d-1)!} k^{2d-1}, \quad k \rightarrow \infty \quad (3.8)$$

- iv. $-0,5 < d < 0,5$ olduğunda x_t serisinin kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) aşağıdaki gibidir:

$$\phi_{k,k} = \frac{d}{k-d} \quad k = 1, 2, \dots \quad (3.9)$$

- v. $-0,5 < d < 0,5$ olduğunda x_t serisinin spektral yoğunluk fonksiyonu olan $f(\omega)$ aşağıdaki gibidir:

$$f(\omega) \approx \omega^{-2d}, \quad \omega \rightarrow 0, \quad \omega \in [0, 2\pi] \quad (3.10)$$

4.1.4. Uzun Hafızanın Test Edilmesi

Zaman serilerindeki uzun hafıza özelliğinin araştırılması ve fraksiyonel bütünleşme parametresi olan (d) 'nin hesaplanmasında çok değişik test istatistikleri önerilmiştir. Bu test istatistiklerinden R/S test istatistiği ile GPH test istatistiği ele alınacaktır.

4.1.4.1. R/S Testi

Hurst (1951) tarafından ortaya konulan R/S (Rescaled Range) testi uzun dönem bağımlılığın tespitine yönelik kullanılmaktadır. Serideki uzun hafıza özelliği Hurst katsayısı (H) ile ölçülmektedir.

Uzun hafıza sürecine ait zaman serilerinde otokorelasyon ve spektral yoğunluk fonksiyonlarının genel formülleri aşağıda yer almaktadır.

$$f(\omega) \rightarrow \omega^{\alpha-1}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad \alpha \in R \quad (4.1)$$

$$p(h) \rightarrow h^{-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad \alpha \in R \quad (4.2)$$

Yukarda ki her iki denklemde de uzun dönemli bağımlılık gösteren zaman serilerinde yer alana α katsayısının $0 < \alpha < 1$ aralığında alacağı değerden hareketle çizilecek otokorelasyon ve spektral yoğunluk fonksiyonları yavaş azalma eğilimi gösteren hiperbolik bir eğri görünümünde olacaktır. Uzun dönem bağımlılık gösteren zaman serisinin sahip olduğu α katsayısı değerine bağlı olarak H katsayı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$H = 1 - \frac{\alpha}{2} \in (0.5, 1) \quad (4.3)$$

Fraksiyonel bütünleşik ARIMA (ARFIMA) modellerinin uzun dönemli bağımlılık özelliği açısından önem taşıyan d fraksiyonel bütünleşme parametresinin Hurst test istatistiği karşılığı;

$$d = H - \frac{1}{2} \quad (4.4)$$

formülüyle hesaplanabilmektedir.

Serinin uzun hafıza özelliği taşıması için $0 < d < \frac{1}{2}$ koşulunun sağlanması gerekmektedir. Örneğin bir zaman serisinin gözlemleri için R/S test değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$Q_n = \frac{1}{S_n} [Max \sum_{j=1}^k (X_j - \bar{X}) - Min \sum_{j=1}^k (X - \bar{X}_n)] \quad (4.5)$$

$$H = \frac{\log Q_n}{\log n}, \quad H = d + \frac{1}{2} \quad (4.6)$$

Yukarıda ki denklemde yer alan $\bar{y} = (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i)$ örnek ortalamasını göstermekteyken,

$S_n = (\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2})$ örnek standart sapmasını göstermektedir.

R/S testi zaman serisinin ortalamasından sapmaların kısmi toplamalarının serinin standart sapmasına bölünmesiyle elde edilmektedir. Mandelbrot taraflarınca yapılan araştırmalara göre serilerdeki uzun dönemli bağımlılığın incelenmesinde R/S testi otokorelasyon analizinden ve varyans oranlarından daha üstün olduğunu göstermişlerdir (Mandelbrot B. , 1972, s. 259). Mandelbrot ve Wallis tarafından Monte Carlo simülasyonundan yararlanarak R/S testinin geniş eğiklik ve basıklıktaki Gaussian olmayan zaman serilerinde uzun dönem bağımlılığın tespit edilebildiğini ortaya koymuştur (Mandelbrot & Wallis, 1969, s. 242). Yine Greene ve Fielitz tarafından yazılan makalede hisse senedi fiyatlarındaki uzun dönem bağımlılığın incelenmesinde R/S analizin daha etkin sonuçlar vereceği ve ABD hisse senetleri piyasasındaki iki yüzü aşkın hisse senedinin birçoğunda uzun dönem bağımlılık olduğu tespit edilere gösterilmiştir (Greene & Fielitz, 1977).

Farklı bir yaklaşım olarak Lo standart R/S testinin kısa dönem bağımlılığı analiz etmede yeterince güçlü olmadığını ileri sürerek bunun yerine zaman serilerinde ki

kısa ve uzun dönem bağımlılığı ayırt edebilmek için düzeltilmiş R/S testini geliştirmiştir (Lo, 1991, s. 2). Düzeltilmiş R/S testi kullanılarak yapılan analiz sonucunda Greene ve Fielitz'in aksine hisse senedi piyasasının uzun hafıza özelliğinde olmadığı yani kısa dönem bağımlılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Lo'nun kısa ve uzun dönem bağımlılığı ayırt etmede önerdiği düzeltilmiş R/S testi aşağıdaki gibidir;

$$\varrho_n = \frac{1}{\hat{\sigma}_n(q)} [Max \sum_{j=1}^k (X_j - \bar{X}_n) - Min \sum_{j=1}^k (X - \bar{X}_n)] \quad (4.7)$$

$$\hat{\sigma}_n^2(q) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X}_n)^2 + \frac{2}{n} \sum_{j=1}^q \omega_j(q) \{ \sum_{i=j+1}^n (X - \bar{X}_n)(X_{i-j} - \bar{X}_n) \} \quad (4.8)$$

$$= \hat{\sigma}_x^2 + 2 \sum_{j=1}^q \omega_j(q) \hat{Y}_j, \quad \omega_j(q) = 1 - j + \frac{q}{q+1}, \quad q < n \quad (4.9)$$

formüllerde yer alan $\hat{\sigma}_x^2$ ve $\hat{Y}_j$ zaman serisinin sırasıyla örnek varyans ve otokovaryansını göstermektedir.

Willinger, Taqqu ve Teverovsky ise Lo'nun düzeltilmiş R/S testinin pratikte birtakım problemlerden dolayı kullanılamayacağını ifade etmişlerdir. Yazarlar makalesinde düzeltilmiş R/S test metodunun boş hipotezi olan uzun hafızanın olmadığına ilişkin hipotezin kabul edilmesine yönelik güçlü bir eğilim olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak yazarlar Lo'nun R/S testinin tek başına uzun dönem bağımlılığı test etmede yeterli olmayacağı sonucuna ulaşmışlardır (Willinger, Taqqu, & Teverovsky, 1999, s. 3).

4.1.4.2. GPH Testi

Zaman serilerindeki uzun hafıza özelliğini tespit etmede Geweke ve Porter-Hudak (GPH) yarı parametrik yaklaşım önermişlerdir (Geweke & Hudak, 1983, s. 221). Bu yaklaşımda bir zaman serisinin spektral yoğunluk fonksiyonunda yer alan fraksiyonel fark alma parametresi (d), yarı parametrik bir yöntemle tahmin edilmektedir.

Fraksiyonel bütünleşik bir seri olan y_t 'nin spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$f_y(\omega) = \left(\frac{\sigma^2}{2\pi}\right) [4\sin^2(\omega)]^{-d} f_u(\omega) \quad (5.1)$$

olarak yazılmaktadır. Denklemden yer alan $f_u(\omega)$ ifadesi, u_t hata teriminin spektral yoğunluk fonksiyonu olup, $f_u(\omega) = \sigma^2/2\pi$ 'ye eşittir. Denklemin logaritmik fonksiyonu alındığında aşağıdaki ifadeye ulaşılır;

$$\ln f_y(\omega_j) = \beta - d \ln \left[4\sin^2 \left(\frac{\omega_j}{2} \right) \right] + \varepsilon_j \quad (5.2)$$

Yine yukarıdaki denklemde yer alan $\beta = \ln \left(\frac{\sigma^2 f_u(0)}{2\pi} \right)$, $\varepsilon_j = \ln \left(\frac{f_u(\omega_j)}{f_u(0)} \right)$ 'dir.

Geweke ve Porter-Hudak gözlem sayısı T olan y_t serisi için $w_{j,r} = 2\pi j/T$ frekansında ($j = 1, 2, 3, \dots, g(T)$) bağımlı değişkeni y_t serisinin periodogramı olan $I(\omega_{j,t})$ ve açıklayıcı değişkeni $\ln[4\sin^2(\omega_{j,t})]$, sabit terimi $\ln\{\sigma^2 f_u(0)/2\pi\}$, hata terimi $\ln\{I(\omega_{j,t})/f_u(\omega_{j,t})\}$ ve eğim katsayısı $-d$ olan aşağıdaki regresyon denklemini önermişlerdir.

$$\ln\{I(\omega_{j,t})\} = \ln \left(\frac{\sigma^2 f_u(0)}{2\pi} \right) - d \ln \left[4\sin^2 \left(\frac{\omega_{j,t}}{2} \right) \right] + \ln \left\{ \frac{f_u(\omega_{j,t})}{f_u(0)} \right\} + \ln\{I(\omega_{j,t})/f_u(\omega_{j,t})\} \quad (5.3)$$

Denklemden yer alan $\ln \left\{ \frac{f_u(\omega_{j,t})}{f_u(0)} \right\}$ terimi frekans $\omega_{j,t}$ sıfıra yaklaştıkça ihmal edilebilir bir terim olacaktır. Denklemden yer alan eğim katsayısı $-d$ en küçük kareler tahminiyle elde edilmektedir. Fraksiyonel fark alma parametresi $(d \ln [4\sin^2(\frac{\omega_{j,t}}{2})])$ bağımsız değişken katsayısı olarak tahmin edilmektedir.

Geweke ve Porter-Hudak tarafından y_t serisinin periodogramı olan $I(\omega_{j,t})$ 'nin frekansı $\omega_{j,t} = 2\pi j/T$ 'de yer alan j büyüklüğünün ($j = 1, 2, 3, \dots, g(T)$) $g(T) = T^\alpha$ olması gerektiği, burada yer alan α parametresinin $0 < \alpha < 1$ aralığında değer alacağını

oratay koymuşlardır (Geweke & Hudak, 1983, s. 232). Bu koşul fraksiyonel fark alma parametresi olan $\hat{d}$ 'nin EKK tahmin edicisinin büyük örneklerde asimptotik olarak normal dağılması için gereklidir. Geweke ve Porter-Hudak $g(T)$ büyüklüğünün seçimine bağlı olarak d parametresi hassas bir şekilde değişkenlik gösteriyorsa $g(T)$ 'nin küçük değerler alması gerektiğini ifade etmektedir. Mills ise α parametresinin 0.50 değer aldığında modelin iyi sonuç verdiğini ifade etmektedir (Mills T. C., 1999, s. 85).

$$\hat{d} \approx N\left(d, \frac{n^2}{6 \sum_{j=1}^{T-1} (U_j - \bar{U})^2}\right) \quad (5.4)$$

$U_j = \ln(4 \sin^2(\frac{w_j}{2}))$ ve $\bar{U} = U_j$ 'lerin ortalamasıdır.

d parametresi tahmin edilen (t_h) istatistik değeri, uzun hafızanın olmadığına ilişkin $(d = 0)$ şeklinde ifade edilen H_o hipotezi altında (t_t) tablo değeriyle karşılaştırılır. $t_h > t_t$ olması durumunda H_o hipotezi reddedilmekte ve serinin uzun dönem bağımlılık gösteren seri olarak kabul edilmektedir.

4.1.5. Uzun Hafıza Zaman Serilerinde Literatür Taraması

Uzun hafıza diğer bir ifadeyle zaman serileri arasındaki uzun dönem bağımlılık ile ilgili ilk ampirik bulgular ekonomi alanı dışında bilim adamları tarafından ortaya koyulmuştur. Kimya, jeofizik, astronomi alanlarıyla ilgili çeşitli zaman serilerinde yüksek otokorelasyon serilerin rassal bir harekete sahip olmadığını geçmiş değerleriyle sıkı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Ekonomi dışı alanlara örnek olarak bazı makaleler (Newcomb, 1886), (Student, 1927) ve (Hurst, 1951) verilebilir.

Örneğin bir hidrolog olan Harold Edwin Hurst (18951), Nil nehri boyunca yapılacak barajlarla ilgili çalışmasında R/S testini kullanarak nehrin akışıyla ilgili uzun dönem bağımlılığı ölçmüştür (Hurst, 1951).

Varlık piyasalarındaki uzun dönem bağımlılık konusu Mandelbrot tarafından incelenmiştir (Mandelbrot B. , 1972). R/S testinden yararlanılarak incelenen uzun dönem bağımlılık bu piyasalarda belirlenen fiyatların uzun dönemli geçmiş fiyatların güçlü bir fonksiyonu olduğu dolayısıyla uzun dönem bağımlılık özelliği gösterdiğini tespit etmiştir.

Ekonomik göstergelerin belli bir zaman döneminde dönemsel veya devresel yapı göstermesi, konjonktürel dalgalanma teorilerinin çıkış noktasını teşkil etmektedir. Ekonomik zaman serilerinde gözlemlenen uzun dönemli bağımlılık konusu konjonktürel dalgalanma teorilerine kaynak olmuştur. Bu devresel özellik Granger tarafından ekonomik değişkenlerin tipik spektral biçimi” şeklinde nitelendirilmiş, böyle ekonomik zaman serilerinin en iyi şekilde modelize edilmesi için d fark alama parametresinin $0 < d < 1$ aralığında değer alması halinde mümkün olacağını ileri sürmüştür. Yine aynı makalede bazı iktisadi zaman serilerinin kendi içinde uzun dönemli bağımlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Greene ve Fielitz makalelerinde R/S testini kullanarak ABD hisse senetleri piyasasındaki 200’ü aşkın hisse senedinin birçoğunda uzun dönemli bağımlılık olduğunu ortaya koymuşlardır (Greene & Fielitz, 1977).

Zaman serilerindeki uzun dönemli bağımlılık ilgili zaman serisindeki değişimlerin en iyi biçimde kendi geçmiş değerleriyle açıklanabileceği ifade ederek etkin piyasa hipotezi piyasa akılcılığını temel almaktadır. Bu açıdan etkin piyasa hipoteziyle zaman serilerini göstereceği uzun dönem bağımlılık özelliği birbirleriyle çelişmektedir. Hisse senetleri piyasalarındaki uzun dönemli bağımlılık konusu etkin piyasa hipotezi çerçevesinde Le Roy tarafından da incelenmiştir (LeRoy, 1989, s. 1586).

Granger ve Joyeux birinci farkı alınmış aylık ABD tüketici gıda fiyatları endeksi üzerinde ayrıca kesirli d kere fark almayla oluşturulacak yeni serinin değişik ARMA (p, q) modellerindeki tahmin performansı hata kareleri (MSE) yöntemi kullanılarak sınanmıştır. Kesikli Bütünlenen Karma Otoregresif Hareketli Ortalama modeli olarak ifade edilen bu yeni modelin tahmin performansı farklı d değerlerinden

1,35 için en iyi sonucu ARIMA (1, 1, 0) modelinden elde edilen 19,85 MSE daha başarılı bulunmuştur (Granger & Joyeux, 2010, s. 28).

Lo standart R/S testinin kısa dönem bağımlılığı tespit etmede yeterince güçlü olmadığını ileri sürerek düzeltilmiş R/S testini geliştirerek kısa ve uzun dönemli bağımlılığı ayırt etmeye çalışmıştır (Lo, 1991). Düzeltilmiş R/S kullanılarak yapılan analizde hisse senedi piyasası getirilerinin uzun dönem bağımlılık özelliğinde olmadığı, diğer bir ifadeyle kısa dönem bağımlılık gözlemlendiği ortaya konulmuştur.

Willinger, Taqqu ve Teverovsky Lo'nun ileri sürdüğü düzeltilmiş *R/S* testinin bünyesinde barındırdığı birtakım problemler nedeniyle pratikte kullanılamayacağını ifade etmişlerdir. Lo'nun ileri sürdüğü düzeltilmiş R/S testindeki boş hipotezin uzun dönemli bağımlılığı olmadığına ilişkin hipotezin kabul edilmesine yönelik güçlü bir eğilim olduğu makalelerinde gösterilmiştir (Willinger, Taqqu, & Teverovsky, 1999, s. 1-13).

Hassler ve Wolters'de birçok ülkedeki enflasyonun fraksiyonel bütünleşme süreciyle $I(d=0,5)$ tanımlanabileceği, dolayısıyla enflasyon oranlarında uzun dönemli bir bağımlılık olduğu, bugünün enflasyonunun fiyat bekleyişleri nedeniyle geçmiş enflasyondan önemli derecede etkilendiği ortaya konulmuştur (Hassler & Wolters, 1995).

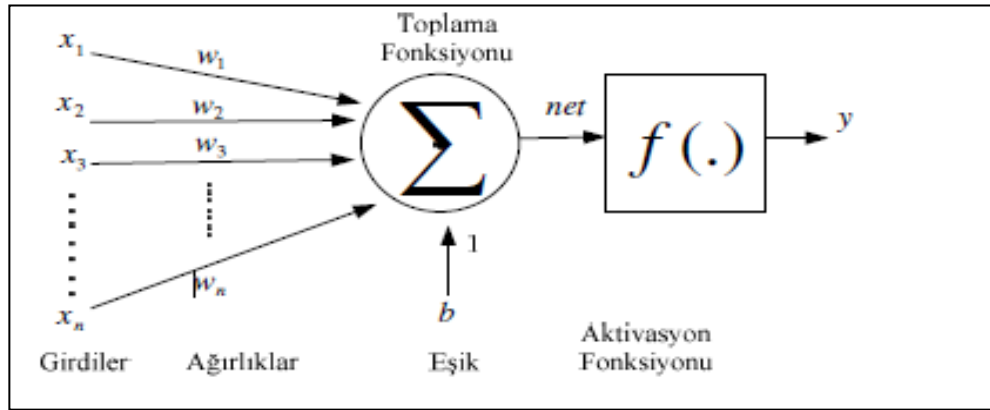
4.2. Yapay Sinir Ağları

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte birçok işlem bilgisayar üzerinden çok hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Karmaşık hesaplamalar bile saniseler için de bilgisayar teknolojisiyle çözüme kavuşturulurken, insanlar tarafından kolay bir şekilde yapılan görme, konuşmayı tanıma, el yazısı tanıma gibi işlemler otomatik olarak bilgisayar teknolojisinin gerçekleştirmesi yetersiz kalmıştır. Bilim adamları bu aşamada klasik bilgisayardan farklı olarak insan beyninin çalışma prensibini baz alarak bilgi işleme sistemini geliştirmeye yönelmişlerdir. Çalışmalar sonucunda elde ettikleri biyolojik bulgulardan hareketle insan beyninin sinir ağlarını basite indirgeyip matematiksel olarak modellemişlerdir. Bu matematiksel modellere sinir ağı adını

vermişlerdir (Küçükkocaoğlu, Benli Keskin, & Küçüksözen, 2005, s. 23). Yapay sinir ağları, herhangi bir yardıma ihtiyaç duymadan insan beyninin öğrenme güdüsünden hareketle otomatik olarak yeni bilgi üretme, oluşturma ve keşfedebilme yeteneğine sahiptir (Yeloğlu & Uğur, 2004).

Deneme yoluyla öğrenme ve genelleştirme yapabilen YSA'lar insan beyin fonksiyonlarından esinlenmektedir. Özellikle geleceği tahmin etme alanında kullanılan YSA, veriler arasındaki bilinmeyen ve fark edilemeyen ilişkileri ortaya çıkartabilir. Bir problemin temelindeki ilişki doğrusal değil ise bu problemi doğrusal modellerle açıklamak mümkün olmayacaktır (Zhang & Hu, 1998, s. 35). Aksine yapay sinir ağları, herhangi bir bilgi ve varsayıma ihtiyaç duymadan doğrusal olmayan modellerle ilişkiyi ortaya çıkarabilmektedir. Katmanlar şeklinde düzenlenen yapay sinir ağları birbirlerine çeşitli şekillerle bağlanırlar. Yapay sinir ağları ve biyolojik sinir ağları mimarileri ve yetenekleri yönünden büyük farklılıklar göstermektedir (Zurada, 1992, s. 92). Yapay sinir ağlarının temel bilgi işleme sistemini hücreler diğer bir adıyla nöronlar oluşturmaktadır. Standart nöronlar, tek bir çıktı ve ağırlıklı giriş bağıntılarından oluşan bir işlem elemanıdır (Saman, 2003, s. 3).

Şekil 8 : Yapay Sinir Hücresi



Yapay sinir hücresi, diğer bir adıyla işlem elemanı, yapay sinir ağının çalışma esasını oluşturan en küçük birimler olarak isimlendirilmektedir.

Yapay sinir hücresi beş ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon olup Şekil 8 'de gösterilmektedir.

Girdiler farklı hücrelerden veya dışarıdan hücreye giren bilgiler girdileri oluşturur. Bu bilgiler ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar işlem elemanı üzerindeki etkiyi ifade etmektedir. Toplam fonksiyonu birbirleriyle bağlantılı girdi ve ağırlıkların çarpılması sonucu oluşup aşağıdaki gibidir.

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (6.1)$$

işlem elemanının çıktısı toplam fonksiyonu sonucu elde edilen doğrusal veya doğrusal olmayan türevi alınabilir transfer fonksiyonundan geçilerek elde edilir.

$$y = f(net) = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (6.2)$$

Çok sayıda ağ yapısı ve modeli olan yapay sinir ağları, değişik olanlarda kullanılan modellerle de (Perceptron, Adaline, MLP, LVQ, Hopfield, Recurrent, SOM, ART vb.) geliştirilmiştir.

Yapay zekanın temelini turing makineleri oluşturmakta olup en çok araştırma yapılan konu ise Yapay Sinir Ağlarıdır. Araştırmalar sonucunda insan beyni örnek alınarak teknolojiyle geliştirilmiştir (Ergezer, Dikmen, & Özdemir, 2003, s. 14-17). Yapay sinir ağları 2 şekilde insan beynine benzerlik göstermektedir:

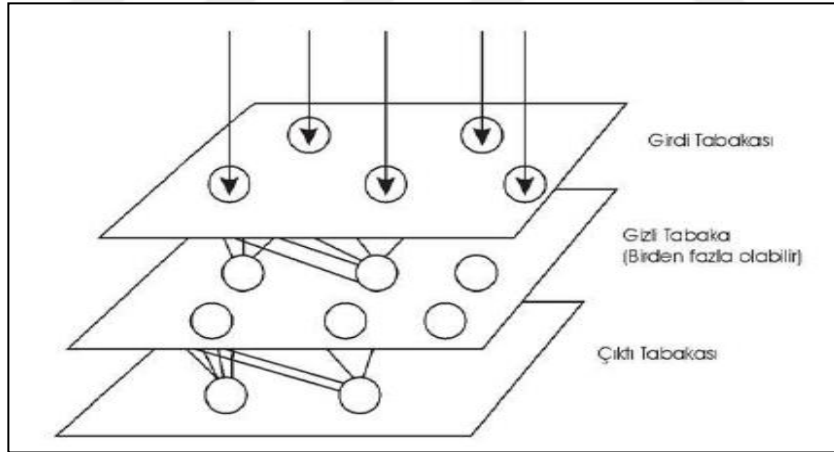
1. Öğrenme süreci yoluyla ağ tarafından bilgi elde edilir.
2. Bilgiyi depolamak için sinaptik ağırlıklar olarak adlandırılan nöronlar arası bağlantı kuvvetlerini kullanır (Haykin, 1999, s. 33).

4.2.1. Yapay Sinir Ağları Özellikleri

Yapay sinir hücresi; biyolojik sinir hücresinin davranışlarını baz alarak matematiksel modeli ortaya koyan bir algoritma veya fiziksel araçtır. Yapay sinir hücresi diğer sinir hücrelerinden aldığı sinyalleri bünyesinde toplar ve toplanan bu sinyallerin birikmesi sonucunda belli bir sınıрын üzerine çıktığı anda, bu yapay sinir hücresi kendi sinyalini farklı bir sinir hücresine ilettiği söylenebilir.

Yapay nöronlar tabakalar şeklinde kümelenir ve bu tabakalar bir diğerine ilişkilendirilir. Birbirine benzer yapı gösteren yapay sinir ağlarının genel görünümü Şekil 9’de gösterilmiştir. Dış mekanla bağlantılı halde olan nöronların bir kısmı girdileri alma ve bir kısmı ise çıktıları iletme görevini üstlenirler. Geriye kalan nöronlar ise ağ içinde bağlantıları olan gizli tabakalardadırlar.

Şekil 9 : Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı



Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşmaktadır. Ancak bu 2 tabaka arasında çok sayıda gizli tabaka yer alabilir. Genellikle uygulamalarda 3 tabaka içeren ağlar kullanılmış olsa da tek tabaka veya tek eleman içeren bazı başarılı ağlar da uygulamalarda kullanılmıştır. Girdi alan nöronlar girdi tabakasını çıktı ileten nöronlar ise çıktı tabakasını oluşturur. Girdi tabakasının görevi; sadece girdi değerlerini bir sonraki tabakaya iletmektir. Bu sebepten bazı araştırmacılar girdi tabakasını ağdaki

tabaka sayısına dahil etmezler. Çıktı tabakası ise çıktıları dışarı ileten nöronları içermektedir. Bu 2 tabaka arasında yer alan ve gizli tabakalar ise çok sayıda nöron içerirler ve bu nöronlar tamamen ağ içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdır. Bu bağlantı, bir önceki tabakadaki, girdi tabakasındaki, nöronları işler ve işlenen bu nöronlar bir sonraki tabakaya çıktı tabakasına gönderilir. Böylelikle ağın çıktısı için bir ileri besleme patikası oluşturur. Bu işlem nöronlar arasındaki iletişim içinde önemli bir parça oluşturmaktadır.

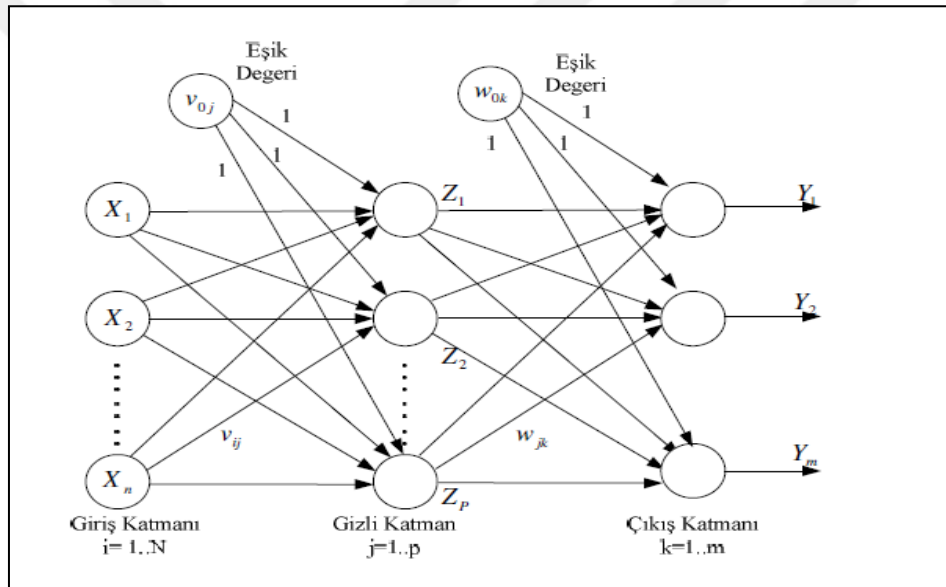
Yapay sinir ağının yapısı ve sinir hücrelerinde ki sayısı her ne kadar değişiklik gösterse de, literatürde YSA'lar için genel kabul görmüş bir kural yer almamaktadır. Gizli katman sayısının gerektiğinden az olması komplike fonksiyonların çözülmesinde yetersiz kalırken, çok sayıda gizli katman ise istenmeyen kararsızlıklara yol açmaktadır. Diğer bir problem ise belirlenmiş olan gizli katman sayısından sonra her tabakada kaç adet nöronun yer alacağına karar vermek olarak karşımıza çıkmaktadır. Lakin girdi ve çıktı katmanında ki nöron sayısını belirlemek için bir sorun bulunmamaktadır. Girdi katmanındaki nöron sayısı girdi sayısına, çıktı katmanındaki nöron sayısı ise çıktı sayısına eşittir. Yukarıda da belirttiğimiz gibi asıl amacımız gizli katmandaki nöron sayısını belirlemektir. Geleneksel matris algoritması matris boyutlarının girdi veya çıktı sayısına eşit olacağını belirtmiş olsa bile, gizli katmanda kaç adet nöron bulunacağı konusunda matematiksel bir test bulunmamaktadır. Dolayısıyla deneme ve yanılma yoluyla uygun nöron sayısını belirlenebilir (Detienne & Joshi, 2003, s. 2).

4.2.2. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (MLP)

Çok katmanlı yapay sinir ağlarında nöronlar katmanlar şeklinde organize edilmiştir. Lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılan MLP'ler en az 3 katmandan meydana gelmektedir. Çok katmanlı sinir ağlarında sinirler ayrı paralel katmanlara yerleştirilmişlerdir. Ağda ayrı katmanlara bağlantının sonucu olarak giriş ve çıkış arasındaki doğrusal olmayan eşlemenin daha karmaşık olması mümkündür. Bu özellik sınıflandırma ve hatırlama uygulamalarında değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkiyi göstermek için kullanılır. İlk katman girdi katmanıdır ve hesaplama için nöronlar bulunmaz sadece birinci ara katmandaki nöronları beslemek için girişler

bulunur. Bu katman, çözülmek istenen probleme ait bilgilerin yapay sinir ağına alınmasını sağlar. Ağ içerisinde işlenen bilgi dışarıya aktarılmasıyla çıktı katmanı oluşur. Girdi ve çıktı katmanları arasında ise gizli katman bir diğer adıyla ara katman yer almaktadır. Genel bir kurala dayanmadan ara katman ve ara katman nöron sayıları belirlenmektedir. Belirlenme işlemi yapılan eşlemenin karmaşıklığına bağlıdır. Giriş sayılarının ve çıkış sayılarının belirlenmesi tamamen probleme özgüdür. Nöronların ve bağlantılarının sayıları sinir ağının doğru olarak saklayabildiği örüntü sayısına kadar sınırlıdır. Tipik çok katmanlı yapay sinir ağı Şekil 10' de yer almaktadır.

Şekil 10 : Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı



Teknik açıdan baktığımızda YSA'nın temel görevlerinden biri, örnek veri setindeki yapıyı öğrenerek, istenilen görevi yerine getirecek şekilde genelleştirmeler yapmasıdır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için ağ, örnek olayla eğitilerek genelleme yapılabilecek yeteneğe kavuşturulur (Öztemel E. , 2003, s. 30). YSA'nın öğrenmesi, işlem elemanlarının sahip olduğu ağırlıkların, seçilen eğitim algoritmalarıyla değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Geri yayılım (Back propagation) algoritması anlaşılır, kolay ve matematiksel olarak ispata dayandığı için MLP ağlarının eğitiminde kullanılır. Hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalıştığı için bu algoritmaya geri yayılım ismi verilmektedir. Araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen ve uygulamalarda kullanılan geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenme yapısına sahiptir. Bu

algoritmada ağın eğitimi için girdi ve çıktı değerlerini içeren örnek veri seti verilir. Örnek veri setinde yer alan değerler, literatürde danışman veya öğretmen olarak adlandırılmaktadır. Danışmalı öğrenme algoritmalarında öğrenme aşamasında ağırlıklar, aşağıda yer alan hata fonksiyonunun minimize edilmesiyle düzenlenmektedir.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - t_k)^2 \quad (6.3)$$

eşitlikte y_k ağın ürettiği çıktıyı t_k ise gerçek çıktı değerini ifade etmektedir. Hatayı minimize edebilmek için bağlantı ağırlıkları güncellenir. Güncelleme sonucunda ağı gerçek çıktı değerlerine en yakın çıktı değerlerini üretmesi amaçlanır. Geri yayılım algoritmasının detayı için incelenebilir (Fausett, s. 294).

Zaman serisi analizinde MLP ağlarının kullanılabilmesi için ağı yapısını belirlemek gerekmektedir. Belirleme süreci; ağıdaki katman sayısını, katmanlardaki işlem elemanı sayısını ve bu işlem elemanlarının hangi transfer fonksiyonuna sahip olacağını belirlemek işlemlerini kapsamaktadır. Tahmin edilecek dönem sayısına göre çıkış nöron sayısı tespit edilir. Çıkış nöron sayısını belirlerken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, serinin zaman içerisinde geçmiş gözlem değerlerinden ne kadar etkilendiğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun yanıtı ise girdi işlem elemanının sayısında saklıdır. Tang ve Fishwick (1993), ARIMA (p, d, q) modelindeki p derecesinin girdi işlem elemanı sayısına eşit olacağını savunmuşlardır (Tang & Fishwick, 1993, s. 374). Bu yaklaşıma Patuwo ve diğer çalışma arkadaşları (1998) karşı çıkıp, Box-Jenkins modellerinin doğrusal modeller olması ve MA modelinin AR terimi içermemesi nedeniyle girdi işlem elemanı sayısının deneme yanılma yoluyla belirlenebileceğini ifade etmişlerdir (Zhang, Patuwo, & Hu, 1998, s. 45). Yapılan çalışmaların çoğunluğunda tek gizli katmana sahip ağ yapılarının tercih edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca katmanlar için farklı fonksiyonların kullanıldığı, çıkış katmanında doğrusal aktivasyon fonksiyonun (6.4), gizli katmanda ise sigmoid aktivasyon fonksiyonunun (6.5) kullanıldığı görülmüştür.

$$f(x) = x \quad (6.4)$$

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (6.5)$$

Yapay sinir ağırları ile tahmin edilmiş literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. Günümüzde yapay sinir ağırları genellikle borsa endeks tahmini, iflas tahmini veya şirket bono sınıflaması gibi birçok finans probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Weigend ve arkadaşları (1992) yapmış oldukları çalışmada yapay sinir ağırları ve rassal yürüyüş modelini kullanarak Alman Markı ile Amerikan Doları arasındaki çapraz kur değerini tahmin etmişler ve yapay sinir ağırları ile yapılan tahminlerin rassal yürüyüş modeliyle yapılan tahminlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir (Weigend, Huberman, & Rumelhart, 1992, s. 38). Bir başka çalışmada ise Kuan ve Liuileri (1995) ve geri beslemeli yapay sinir ağırları modelini kullanarak Amerikan Dolarına karşı 5 değişik çapraz kuru (İngiliz Sterlini, Kanada Doları, Alman Markı Japon Yeni, İsviçre Frangı) tahmin etmişlerdir (Kuan & Liu, 1995). Kamruzzaman ve Sarker tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağırları modelleri kullanılarak Avusturya Dolarına karşı 6 farklı çapraz kurun ARIMA ve tahmin edilmiştir. Çalışmalar neticesinde, yapay sinir ağırları ile yapılan tahminlerin ARIMA modeli ile yapılan tahminlere göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. ARIMA ve YSA modellerinin döviz kuru tahminine uygulandığı diğer bir çalışma ise yine yapay sinir ağlarının daha iyi netice verdiği görülmüştür (Wu, 1995, s. 433). Amerikan Doları ile Alman Markının çapraz kur tahmininde farklı bir çalışma ise Han ve Steurer tarafından yapılmıştır. Aylık veri setiyle yapılan çalışmada, doğrusal modeller ile yapay sinir ağlarını karşılaştırıp, çok belirgin fark görülmesine de haftalık veriler kullanılarak yapılan uygulamada doğrusal modellere göre YSA modellerinin çok daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (Hann & Steurer, 1996, s. 323). Zhang ve Hu tarafından yapılan çalışmada, giriş ve gizli nöron sayıları değiştirilerek farklı YSA modelleri elde etmişler. Farklı boyutlardaki veri setlerine elde etmiş oldukları YSA modelleri uygulayarak farklı yapıdaki ağların ve örnek büyüklüğünün tahmin performans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Zhang & Hu, s. 506).

Türkiye’de yapılan çalışmaları incelediğimizde, öncelikle yapay sinir ağırları finansal başarısızlığın öngörülmesinde kullanılmıştır (Yıldız, 2001). Son yıllarda ise hisse senedi endeks yönü tahmini konusun da yapay sinir ağlarının doğrusal ve

mantıksal regresyon modellerinden daha başarılı olduğu belirlenmiştir (Şenol & Özturan, 2008). Borsa endeksi tahmini yurtdışında çok sayıda olsada, Türkiye'de bu tip çalışmaların azlığı görülmektedir. Yumlu ve arkadaşları (2005) 12 yıllık finansal veri (ISE endeksi kapanış değeri kümesi, Amerikan Doları değeri, faiz değerleri) üzerinde yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları modelinin otoregresif modellerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır (Yumlu, Gürgen, & Okay, 2005).

4.2.3. Hibrit AR(I)MA-ÇKYSA Modeli

Zhang (2003) çalışmasında kullandığı hibrit yaklaşımında bir zaman serisini doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenleri ile;

$$y_t = L_t + N_t \quad (7.1)$$

şeklinde göstermiştir. Burada L_t doğrusal bileşeni, N_t ise doğrusal olmayan bileşeni temsil etmektedir. Hibrit model kurma basamaklarını ise aşağıdaki gibi sıralamıştır (Zhang G. , 2003).

1. Doğrusal Bileşenin Modellenmesi:

AR(I)MA modeli tahmin edilerek y_t serisinin t dönemi için öngörü değerleri olan $\hat{L}_t$ elde edilir ve artıklar

$$e_t = y_t - \hat{L}_t \quad (7.2)$$

şeklinde hesaplanır.

2. Doğrusal Olmayan Bileşenin Modellenmesi:

Doğrusal olmayan ilişkinin ortaya konulması için AR(I)MA modelinin artıkları ÇKYSA ile modellenir. Bu amaçla P tane girdi düğümü için YSA modeli,

$$e_t = f(e_{t-1}, \dots, e_{t-p}) + \varepsilon_t, \quad (7.3)$$

iken

$$y_t = w_0 + \sum_{j=1}^q w_j \cdot g \left(w_{0j} + \sum_{i=1}^p w_{ij} \cdot e_{t-i} \right) + \varepsilon_t, \quad (7.4)$$

şeklinde yazılır.

Modelde $f(\cdot)$ ÇKYSA tarafından tanımlanmış olan bir fonksiyondur ve ε_t rassal hatayı göstermektedir.

1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Bileşenlerin Birlikte Modellenmesi

İkinci ve üçüncü basamaktan elde edilen öngörü değerleri sırası ile $\hat{L}_t$ ve $\hat{N}_t$ olarak gösterilirse bileşenleri;

$$\hat{z}_t = \hat{L}_t + \hat{N}_t \quad (7.5)$$

olarak yazılabilir. Yaklaşımın sonraki basamaklarında $\hat{z}_t$ girdi olarak kullanılır.

5. ETKİN PİYASA HİPOTEZİ

Etkin piyasa hipotezi; menkul kıymetlerin fiyatlarında meydana gelen değişim sonucunda menkul kıymete ait olan tüm bilgilerin etkisinin incelenmesidir. Piyasadaki yatırımcılar menkul kıymete ait olan bilgi, haber ve beklentileri dikkate alarak hareket etmektedir. Dolayısıyla, devamlı olarak piyasa üzerinde bir getiri elde etmek söz konusu değildir. Yine hipoteze göre teknik analiz yapma yolu ile de piyasadaki trendi kestirmek mümkün olmayacaktır. Hipotezin en önemli varsayımlarından biri herhangi bir yatırımcının herhangi bir bilgiyi kullanarak normal üstü getiri sağlayamayacağıdır. Bunun nedeni fiyatların zaten tüm bilgiyi içermesidir (Karan, 2001, s. 268).

İlk olarak neoklasik iktisatçı Fama tarafından öne sürülmüştür. Fama'ya göre; "Fiyatların mevcut bilgiyi daima tam olarak yansıttığı piyasalar etkin piyasa olarak tanımlanır" (Fama, 1970, s. 398). Bu hipoteze daha sonra Jensen bir ön koşul getirerek; " Fiyatlar, kazanç elde edebilmek için bilgideki hareketin marjinal faydası, marjinal maliyeti aşamayacak bir noktada bilgiyi yansıtır" (Jensen, 1978, s. 96). Hisse senedi fiyatının şimdiki değeri gerçek değerini temsil ettiği ve fiyat objektif bilgiyi içermektedir (Shiller, 2002, s. 6). Grossman ise "Bilgi ve ticari maliyetler daima sıfırdır" (Grossman & Stiglitz, 1980, s. 393) şeklinde etkin piyasa için farklı yorumlar yapılmıştır. Rasyonel bir yatırımcı eğer bir bilgi elde etmek istiyorsa bu bilgiye ulaşmadaki maliyet, bilginin getirisine eşit veya fazla olması durumunda yatırımcı bu bilgiyi kullanmak istemeyecektir.

Bütün bilgilerin serbestçe elde edildiği etkin piyasada, işleme konu olan tüm menkul kıymetler istenilen fiyat ve miktardan satılabilmektedir (Madura, 1989, s. 9). Etkin piyasalar hipotezine göre herhangi bir modelleme ile menkul kıymet fiyatlarının tahmin edilemeyeceğini öne sürmektedir. Çünkü burada ki fiyatlar rastgele bir yürüyüş sergilemektedir. Etkin piyasada yapılan testlerde genellikle doğrusallık test edilmektedir. Çünkü insanların davranışları doğrusal olmakla birlikte gerçek hayatta yatırımcının risk ve getiriye verdiği tepkinin ise doğrusal olmadığı söz konusudur (Campbell, Lo, & MacKinlay, 1996, s. 22).

Fama sermaye piyasasının etkinliği için gerekli koşulları şöyle sıralamıştır:

1. Menkul kıymetlerin işlem maliyeti sıfırdır.
2. Piyasadaki oyunculara mevcut olan tüm bilgilerin kullanımı kısıtsız ve maliyetsizdir.
3. Piyasadaki tüm oyuncular menkul kıymetlerin şimdiki ve gelecekteki fiyatlarının belirlenmesi için mevcut verileri aynı yönde kullanma noktasında fikir birliği söz konusudur.

Hisse senedi fiyat ve getiri davranışı, borsada etkinliğin ölçülmesinde etkin piyasalar hipotezi temel gösterge alınmaktadır. Eğer bir hisse senedinin cari fiyatı tüm

bilgileri tam olarak yansıtıyorsa bu tür piyasalar etkin olarak nitelendirilir. Piyasada alım satım konu olan menkul kıymet fiyatları tüm bilgileri içeriyor ve fiyatlar yeni bilgiye hızlı veya yaklaşık olarak tepki veriyorsa yine bu piyasada etkin olarak tanımlanır (Dyckman & Dale, 1986, s. 5). Hipoteze göre hisse senedi fiyat hareketlerini tahmin etmek için 2 varsayım öngörülmektedir. Birincisi, menkul kıymet fiyatları rasyonel veya gerçek değerini yansıtmaktadır. İkincisi ise menkul kıymet fiyatları tahmin edilemezdir. Bu varsayım, gelecekteki fiyat hareketlerini tahmin etmenin piyasaya yayılmış bilgi yoluyla mümkün olmayacağını söylemektedir (Mullainathan & Thaler, 2000, s. 7).

Hipoteze göre menkul kıymetin fiyatını tüm bilgiler oluşturduğu için herhangi bir model tarafından tahmin edilemeyeceğini öne sürmektedir. Çünkü bu tür piyasalarda fiyatlar rastgele yürüyüş sergileyeceği için tahmin edilmesi mümkün olmayacaktır. Bir menkul kıymetin gerçek değeri ile beklenen getirisi mevcut tüm bilgiler kullanılarak doğru olarak hesaplanır ve tahmin edilebilir (Fama, 1976, s. 145).

Yatırımcının amacı etkin bir piyasada karını maksimize etmektedir. Menkul kıymete ait piyasa yeni bilgi oluşması veya duyulması halinde, yatırımcılar bu bilgiyi analiz ederek hemen menkul kıymet fiyatına yansıtmaktadır. Bilgilerin fiyatlara yansımaları mükemmel olmasa da tarafsızdır (Reilly & Brown, 1997, s. 209). Etkin piyasada menkul kıymet alım-satım sürecinde yatırımcılar tüm bilgilere maliyetsiz olarak ulaşabilmektedir. Yatırımcılar bilgilerin menkul kıymet fiyatlarını gelecekte nasıl etkileyeceği konusunda aynı görüşe sahiptirler. Dolayısıyla, yatırımcılar tarafından menkul kıymet fiyatlarını kontrol etmenin mümkün olamayacağını savunmuşlardır (Sears & Trennepohl, 1993, s. 196).

Menkul kıymet fiyatları mevcut tüm bilgileri tam olarak yansıtmaması durumunda bilgi edinme sürecinde haberleşme ve bilgi maliyeti aşırı getiri sağlamaktadır. Böylece;

- Bilginin kalitesinin artması fiyat sisteminin kalitesini de artırmakta,

- Riskten kaçıştaki düşüş, bilgili kişilerin daha büyük pozisyon almalarına yol açarak fiyat sisteminin bilgi kalitesini artırmaktadır,
- Bilgiye dayanmayan ticaretin artması bilgi sahibi ticaretçilerin oranını da artırmaktadır. Ayrıca bilgiden yoksun ticaretteki bir artış aynı zamanda fiyat sisteminde ki bilgi kalitesini de düşürebilmektedir.
- Bilgi maliyetinde ki artış ise bilgili ticaretçilerin oranını düşürebilmektedir (Grossman & Stiglitz, 1980).

Piyasada alıcılar bir mal veya varlığın değerini tam olarak tahmin edemeyebilir. Alıcı söz konusu mal veya varlığı satın almadan önce varlığın değerini belirleyebilmek için ihtiyaç duyulan bilgiyi bir maliyet karşılığında elde edebilir. Bu durumda fiyatlar denge noktasından uzaklaşır. Buna karşın, bütün bilgiler açık ve ulaşılabilir olduğunda maliyet söz konusu olmayacağından bilgiler fiyatlara tam olarak yansıyor denge fiyatı oluşacaktır (Ritzberger & Bester, 2001, s. 1347).

Etkin piyasalar hipotezi zayıf etkinlik, yarı güçlü etkinlik ve güçlü etkinlik olmak üzere 3 yapıda incelenmektedir.

5.1. Zayıf Yapıda Etkinlik (Weak-Form Efficiency)

Zayıf yapıda etkinlik, hisse senedinin geçmiş değerleri kullanılarak yapılacak analizler sonucunda yatırımcının normal üstü bir kazanç elde edemeyeceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla yatırımcıların teknik analiz yapması işe yaramayacak, yani hisse senedinin geçmiş değerleri kullanılarak oluşturulacak bir tahminle normal üstü bir kar elde edilemeyecektir (Karan, 2001, s. 269). Ayrıca halka açıklanmış bazı bilgilerin daha önceden belirli piyasa katılımcıları tarafından bilinmektedir (Fama, 1970). Etkin piyasalar hipotezinde hisse senedine ait fiyatların oluşmasında rassal bir yürüyüş (random walk) oluşturduğunu öne sürmektedir. Fama, ABD'deki çeşit hisse senetlerine korelasyon testi yapmış olup sonucunda hisse senedi fiyatlarının rassal yürüyüşü sergilediğini tespit etmiştir. Aynı zamanda hisse senetleri serilerinin herhangi bir deterministik trend taşımadığı ve rassal yürüyüşe uyum sağladığı sonucuna varmıştır. Rassal yürüyüş şu şekilde ifade edilmektedir.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \quad (8.1)$$

$Y_t = t$ zamandaki hisse senedi fiyatı

$Y_{t-1} = t - 1$ zamandaki hisse senedi fiyatı

u_t = hata terimi

Denklemden yer alan u_t ortalaması sıfır (μ) ve varyansı (σ^2) sabit ardışık bağımlılığı olmayan hata terimidir. Bu özellikleri taşıyan hata terimleri "beyaz gürültü" olarak adlandırılır. Denklemden $\rho = 1$ olması halinde Y_t birim kök içermekte olup rassal yürüyüş olarak adlandırılır.

5.2. Yarı Güçlü Yapıda Etkinlik (Semi Strong Form Efficiency)

Yarı güçlü yapıda etkin piyasalar, hisse senedi fiyatları halka açık olan tüm verileri yansıttığı ve yatırımcıları bu verileri kullanarak normal üstü bir kazanç elde edemeyeceğini ifade etmektedir. Çünkü piyasadaki fiyatların oluşumu halka açık olan bilgilerden değerlendirilmektedir. Piyasada ki fiyatlar yeni bir bilgi açıklandığında gecikmesiz olarak fiyatlara yansımakta olup fiyatlar güncellenmektedir. Böylelikle yatırımcı yine teknik bir analiz yaparak ve bu bilgileri kullanarak normal üstü bir kazanç elde edemez. Fama, piyasa denge fiyatının oluşumunu ifade eden adil oyun modelini geliştirmiştir. Model;

$$E(P_{j,t+1} | \Phi_t) = [1 + E(r_{j,t+1} | \Phi_t) P_{j,t}] \quad (8.2)$$

$$X_{j,t+1} = P_{j,t+1} - E(P_{j,t+1} | \Phi_t) \quad (8.3)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Denklemden yer alan E beklenen değeri, Φ_t zamanındaki fiyatlara tam yansıtıldığını, $P_{j,t+1}$, $t+1$ zamanında j 'inci hisse senedi fiyatını, $X_{j,t+1}$ beklenmeyen getiriyi, $E(P_{j,t+1} | \Phi_t)$ j 'inci menkul kıymetin $t+1$ periyodunda Φ_t koşulunda beklenen fiyatını ifade etmektedir. Beklenmeyen getiri ancak j 'inci hisse senedinin $t+1$ zamanındaki fiyatının t zamanındaki bilgi setinin veri

olması koşulu ile $t + 1$ zamanındaki beklenen fiyatından yüksek olması durumunda gerçekleşir. Eğer bilgi tam yansımaz ise anormal getirinin beklenen değeri 0 olacaktır. Bu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$E (X_{j,t+1} | \phi_t) = 0 \quad (8.4)$$

Sermaye piyasasında yarı güçlü yapıda etkinlik için iki koşulun sağlanması gerekmektedir:

1. Eşanlı öngörülme-yen değişkenlerin hisse senedi getirisi ile istatistiki bakımdan anlamlı olması,
2. Gecikmeli öngörülen ve gecikmeli öngörülme-yen ve eşanlı öngörülen değişkenlerin hisse senedi getirisi ile istatistiki açıdan anlamlı bir ilişkide olmaması gerekmektedir.

Burada yer alan değişkenler halka açık bilgilerdir. Eğer piyasa etkin bir piyasa ise, halka açık bilgilerin beklenen değerleri ve cari değerleriyle değişkenlerin beklenmeyen geçmiş değerleriyle ilişkisiz olmalıdır. Piyasa etkin ise, piyasanın fiyatları tam olarak yansıtması, değişkenlerin ve beklenmeyen cari kısımları ile ilişkili olması gerekmektedir.

Yukarıdaki ön şartlar Rasyonel Beklentiler Hipotezi ile örtüşmektedir. Rasyonel beklentiler hipotezi, ekonomik birim rasyonel davranıp amaçlarının ise fayda maksimizasyonu olduğunu ifade etmektedir. Ekonomik birim tercih yaparken rasyonel davranıp mevcut tüm bilgileri kullanmaktadır. Rasyonel beklentiler hipotezi testinde hisse senedi fiyatları yerine çıktı alınmakta ve makroekonomik değişkenlerin geçmiş ve cari değerleri ile çıktının cari ve geçmiş değerleri arasındaki ilişki ön şartlar dikkate alınarak analiz edilmektedir.

Ayrıca, piyasa fiyatları ile makroekonomik değişkenler arasında kısa ve uzun dönemli bir nedensellik veya eş bütünleşme olması durumunda gelecekte oluşacak fiyatlar tahmin edilebilmektedir.

5.3. Güçlü Yapıda Etkinlik (Strong Form Efficiency)

Güçlü yapıda etkin piyasa, açıklanmış veya gizlenmiş bütün bilgilerin fiyatlar tarafından yansıtıldığını ifade etmektedir. Bu sebeple şirket içi çalışanlar dahil hiçbir yatırımcı olağanüstü bir kar elde etmesi söz konusu değildir. Yine bu tür piyasalarda menkul kıymet fiyatlarına kamuoyuna açıklanan, açıklanmayan ve özel bütün bilgilerin yansıdığını öne sürmektedir (Bildik, 2000, s. 7). Bu sebeple piyasanın güçlü yapıda etkin olması söz konusu ise hiçbir analiz metodu ile piyasa ortalaması üzerinde ekstra kazanç sağlamak mümkün olmayacaktır.

Güçlü yapıda etkin piyasa dört koşulda mevcuttur.

1. Tesadüfi olarak hisse senedi fiyatları değişmektedir.
2. Piyasadaki yeni bilgilere göre hisse senedi fiyatları hemen ve doğrudan tepki göstermektedir.
3. Al-sat işlemleri getiri konusunda başarısız olmaktadır.
4. Ekstra getiri sağlamada hem bireysel yatırımcı hem de grup yatırımcılar başarısız olacaklardır.

6. FRAKTAL MARKET HİPOTEZİ

Geleneksel finans teorisinin adımlarını 1900'lü yıllarda genç bir Fransız matematikçi Louis Bachelier tarafından yapılmıştır (Mandelbrot & Hudson, 2006, s. 35). Bachelier hisse senedi fiyatlarında meydana gelen değişimler için öne sürülen Brownian hareketinin de matematiğini oluşturmuştur.

Bachelier'in en önemli varsayımlarından biri ardışık fiyat değişimlerinin bağımsız olmasıdır (Clarkson, 2013, s. 36). Rassal yürüyüş modelini kullanan Bachelier, fiyatların hilesiz bir para gibi eşit olasılıkla aşağı ve yukarı yönde hareket

edeceğini önermiştir. Fama, Bachelier'in yaklaşımını geliştirerek Etkin Piyasa Hipotezi'ni ileri sürmüştür (Mandelbrot & Hudson, 2006, s. 37). 1952 ve 1973 yılları arasında yapılan çalışmalar incelendiğinde, Markowitz'in Modern Portföy Teorisi (MPT) (Markowitz, 1952), Sharpe'ın Sermaye Varlıklarını Fiyatlandırma Modeli (SVFM) (Sharpe, 1964), Fama'nın Etkin Piyasa Hipotezi (EPH) (1970) ve Black-Scholes'un Opsiyon Fiyatlama Modelinin (BSM) (Black & Scholes, 1973) temel varsayımlarından birisi olarak hep finansal piyasaların etkin olduğu, rassal yürüyüş hipotezinin geçerli olduğu ya da getiri serilerinin normal dağılıma uyduğu varsayımlarının kabul edildiği görülmektedir. Ancak, son yıllarda finansal piyasalarda yaşanan kriz ve skandallar, EPH'nin dayanak oluşturduğu rassal yürüyüş modelinin sorgulanmasına neden olmuştur. Finansal zaman serilerinin getiri dağılımlarının normal dağılım göstermediği yapılan birçok ampirik çalışmada ortaya konulmuştur.

Normal dağılım varsayımı ve rassal yürüyüş modeli, tüm eleştirilere rağmen, hesaplamalarda sağladığı kolaylıktan ötürü çalışmalarda kullanılmıştır. Ünlü matematikçi Mandelbrot, normal dağılım varsayımı ve rassal yürüyüş modelinin finansal piyasaların gerçek karakteriyle uyuşmadığını öne süren ilk isim olmuştur. Mandelbrot 1963 yılında yaptığı çalışmada menkul kıymet fiyat dağılımlarının kuyruklarının normal dağılımın öngörmüş olduğundan daha kalın olduğunu ifade etmiş ve Pareto dağılımının kullanılmasını önermiştir. Fakat çalışma sonunda Mandelbrot önermiş olduğu bağımsızlık varsayımının gerçeği tam olarak yansıtmadığını ortaya koyarak, büyük değişimler büyük değişimler tarafından, küçük değişimler de küçük değişimler tarafından takip edilir demiştir. Aynı zamanda İncil'e atıfta bulunarak yedi yıllık bereket ardından yedi yıllık kıtlık durumunu ise "Yusuf Etkisi (Joseph Effect)" olarak isimlendirmiştir (Mandelbrot & Wallis, 1968, s. 6). Mandelbrot'a bu bağımlılık etkisinin nasıl modellenebileceği konusunda 1951 – 1955 yılları arasında Hurst tarafından yayımlanan rapor yol göstermiştir. Bu raporda Hurst, bir yıldan diğer yıla nehir akışı gibi tabiat olayları arasındaki güçlü bağımlılığı Hurst üsteli ile incelemiştir. Mandelbrot'un geliştirmiş olduğu yeni model olan kesirli Brownian hareketi (Fractal Brownian Motion) ise Hurst üsteli olan H 'yi de içeren bir eşitlik tarafından tanımlanmıştır.

Geleneksel finans yazınında yatırımcıların piyasaya ulaşan yeni bilgiye doğrusal şekilde tepki verdikleri belirtilmektedir. Bu varsayım yatırımcıların yeni bilgiyi eşzamanlı olarak değerlendirdiğini savunmaktadır. Bir bütün olarak bakıldığında, hisse senedi getirilerinin normal, özdeş ve bağımsız dağılması beklenmektedir. Ancak yeni paradigma yatırımcıların piyasaya ulaşan yeni bilgilere doğrusal olmayan tepkiler verdiğini ileri sürmektedir (Hiemstra & Jones, 1994).

Doğrusal olmayan sistemlerin ana özelliği, daha önce oluşan koşullara duyarlılık göstermesi yani sınırsız hafızaya sahip olmasıdır. Eğer bir borsa serisinde uzun hafızadan kaynaklanan bir süreklilik mevcut ise günlük fiyat değişimleri ile gelecekteki günlük fiyat değişimleri arasında korelasyon var demektir. Aynı durum serinin haftalık frekanstaki hali içinde geçerlidir. Yani haftalık fiyat değişimleri ile yine gelecekteki haftalık fiyat değişimleri arasında korelasyon vardır. Bu olgu aylık ve yıllık frekanslar içinde şüphesiz geçerli olmaktadır (Skjeltorp, 2000).

Peters (1996), Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH) ile Etkin Piyasa Hipotezine alternatif sunmuştur. Brown ve Liebovitch (2010), piyasa verilerinin EPH'nin varsayımları ile uyumlu olmadığı noktasından hareketle, getiri serilerinin dağılımındaki kalın kuyruklara, getirilerdeki uzun dönemli bellek ve kendine benzerlik (self similarity) kavramlarına dikkat çekmiştir.

Bu görüşlerin ışığında ortaya konulan FPH iki temel bileşene dayanmaktadır. Bunlar; piyasa likiditesi ve bilgidir. Piyasa likiditesi, yatırımcıların alım ve satım işlemleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Piyasa likiditesinin oluşabilmesi için yatırımcıların bir menkul kıymetin değeri üzerinde farklı görüşleri olması gerekmektedir. Bu farklılık iki nedenle ortaya çıkabilir; Birincisi, bir yatırımcının menkul kıymete ilişkin değer üzerinde bilgisi varken, diğer yatırımcının bilgiye ulaşmaması ya da ulaşmamasıdır. İkincisi ise, iki yatırımcının eş zamanlı olarak bilgiye erişmelerinin yanı sıra, yatırım yaptıkları farklı zaman dilimi süresince bilgiye farklı ağırlık vermeleridir.

FPH, fraktal geometriye dayanmaktadır. Fraktal geometri karmaşıklığın ve kaotik yapının geometrisi olarak tanımlanmaktadır. Fraktal geometrinin finansal zaman

serileri ile bağlantılı noktası ise kendine benzerlik prensibi ile ortaya çıkmaktadır. Bir nesnenin kendisinin daha küçük kopyalarının bir birleşimi olması kendine benzerlik durumunu ifade etmektedir. Kendine benzerlik iteratif bir süreç olarak gösterilmekte ve her ölçekte yapının kendini tekrar ettiği varsayılmaktadır (Brown & Liebovitch, 2010, s. 65).

İstatistiksel olarak kendine benzerlik ise fraktalın bir parçasının ortalama ve standart sapmasının, bütünün ortalama ve standart sapması ile orantılı olmasını ifade etmektedir (Brown & Liebovitch, 2010, s. 68). Kendine benzerlik prensibi finansal zaman serilerindeki uzun dönemli bellek ya da uzun dönemli bağımlılık (long-memory) kavramları ile açıklanmaktadır.

Mandelbrot'un bir finansal zaman serisinde çok uzak gözlemler arasında bile korelasyon olabileceğini ifade ederek uzun hafıza özelliğini işaret etmiştir (Mandelbrot B. , 1963). Geçmiş dönemlerdeki gözlemler ile ilişkili olan gelecek gözlemler, EPH'nin en önemli varsayımı olan rassal yürüyüş ortamının finansal piyasalarda oluşamayacağını iddia etmektedir.

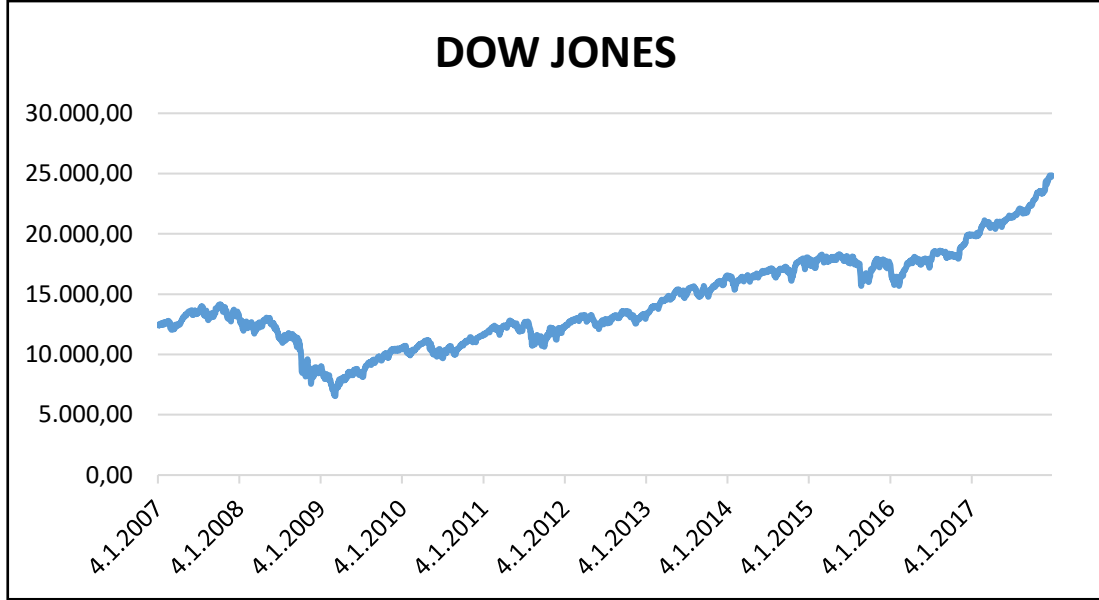
6.1. Kaos ve Finans

Dünya üzerindeki nehirler, bulutlar, dağlar gibi varlıklar eğer insan beyninin sol lobu kullanılarak yaratılmış olsaydı düz nehirler, yuvarlak bulutlar ve huni şeklinde dağlar olurdu. Ancak gerçek hayatta ise dünya doğrusal olmayan kaynaklardan meydana gelmektedir. İnsan beyninin sol lobundan gelen insan yapımı ürünler dil gibi dijital ve doğrusaldır. Finansal işlem sistemlerinde de dil yaratan yöntemlerden oluştuğu için piyasalardaki karı tanımlamakta yetersiz kalmaktadır (Williams B. , 1995, s. 38).

Geleneksel finans teorisine göre fiyat değişimleri istatistiksel olarak birbirinden bağımsız ve fiyat değişimleri normal dağılıma sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar bunun tam tersine işaret etmektedir. Mandelbrot ve diğer bazı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarda birçok fiyat serisinin belleğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer bir durum ise fiyat değişimlerinin normal dağılım gösterdiği hakkındadır. Örneği aşağıdaki grafikte

görüreceği üzere 2007 – 2017 yılları arasındaki Dow Jones Endeksinin günlük değişimini grafiğe aktardığımızda dağılımın normal dağılım göstermediği görülecektir.

Tablo 1 :DowJones Endeksi (Günlük)



Normal dağılımın dışında bir oluşum ortalama-varyans modellerinin optimal olmadıklarını göstermektedir. Aynı zamanda Sermaye Varlıklarını Fiyatlandırma Modeli de varyans ve getirinin teoreminin söylediği şekilde ilişkili olmaması nedeni ile hatalı olacaktır. Bu durum SVFM'nin öngördüğünün tam tersi düşük değişkenli yatırımlar yüksek, yüksek değişkenli yatırımlarda düşük getiri sağlayabilmektedir.

Getiri dağılımında meydana gelen kalın kuyruklar, bilginin kümelenmeler şeklinde verildiği ya da yatırımcıların kümelenmeler ile tepki gösterdiği anlamına gelmektedir. Yani piyasanın bir belleği olduğu ifade edilebilir. Yatırımcılar elde ettiği bilgiye göre ilk anda değil belli bir süre geçtikten sonra tepki göstermektedir. Tepkinin geç verilme sebebi elde edilen bilgiyi doğrulayacak birkaç bilgi toplanmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir neden de yatırımcıların bir topluluğun parçası olarak tepki göstermeleri ve toplulukların da ilk olarak büyümeye ihtiyaç duymaları olabilir (Howell, 2003, s. 215).

6.2. Fraktallar

Fraktal kelimesinin kökeni Latince “fractus” kelimesinden gelmektedir. Fractus ise düzenli olmayan parçalara ayırmak anlamında kullanılmaktadır. Mandelbrot tarafından pütürlü ve parçalanmış olan geometrisini tanımlamak üzere bulunan bir kelimedir. Aynı yapı ve detayı tekrar eden model olarak tanımlanan fraktal, herhangi bir fraktal parçasının tekrar ve tekrar büyüttüğümüzde aynı şekilde görünmektedir (Williams B. , 1995, s. 198).

Fraktalların ilk ortaya çıkışı 190 yılında New York'ta yer alan IBM merkezinde çalışan ve fraktalların babası olarak bilinen Benoit Mandelbrot tarafından tanıtılmıştır. Pamuk fiyatlarının zaman serilerini inceleyen Mandelbrot farklı zamanlarda benzer olduğunu gözlemleyerek geometrik nesneler teorisini geliştirmiştir.

Ölçeklenen fraktal kendine benzer olan bir geometrik yapıdır. Örnek olarak bir ağacın dallarını verebiliriz. Dal, ağacın bütününe benzer özelliktedir. Gerçekte matematiksel olarak fraktal ölçeklemesi sonsuza kadar gidebilir ancak reel sistemlerde, fraktal davranış gösteren en büyük ve en küçük ölçekler bellidir. Fraktallık, ağacın dalları gibi geometrik şekillerin farklı ölçeklerde yinelenerek kendilerinin gitgide daha küçük versiyonlarını ortaya koymasıdır. Küçük parçalar yüksek oranda bütüne benzerler. Farklı bir açıdan bakacak olursak yapraklardaki damarlar dallara benzer, dallar ağaçlara, kayalar ise küçük dağlara benzerler. Cisim boyutlarının değişmesi niteliksel anlamada bir değişikliğe neden olmaz.

Pürüzlü ve düzensizlikle ilgilenen fraktal geometri üç temel prensiple tanımlanmaktadır. Bu prensipler; kendine benzerlik, sabit ölçek ve kuvvet yasası ilişkisidir. Bütünün içinde yer alan küçük parçalar aslında bütünün birer küçük kopyasıdır. Kendine benzerlik fraktallarla doğrudan ilintilidir ve nesnenin fraktal boyutu kendine benzerliğin derecesini gösterir. Kendine benzerlik iteratif bir süreçtir ve her ölçekte yapı kendini tekrar eder. Fraktallar her yönde aynı şekilde aynı ölçeklendiği için kendine benzerdir. Bu bir anlamda her şeyin aynı oranda yakınlaşıp uzaklaşması gibidir (Brown & Liebovitch, 2010).

Deterministik sistemler özel bir kurala uymakla birlikte kendine benzerlik modelleri tam ve mükemmeldir. Ancak bazı durumlarda kendine benzerlik rassal bileşene göre oluşabilir. Bu nedenle, çoğu fraktal modeller gerçek yaşamda istatistikseleir. İstatistiksel olarak kendine benzerlik denildiğinde fraktalın bir parçasının ortalama standart sapması, bütünüñ ortalama ve standart sapması ile orantılıdır. Eğer ölçek farklı yönlerde ve miktarlarda ise fraktal kendini andırır. Fraktal zaman serilerinin özelliklerinden bir tanesi olan kendini andırırılık istatistiksel olarak zaman serisinin küçük bir parçasının yeniden ölçeklendirilen versiyonu büyük parçanın istatistiksel dağılımı ile aynı olmasıdır (Mandelbrot & Hudson, 2006).

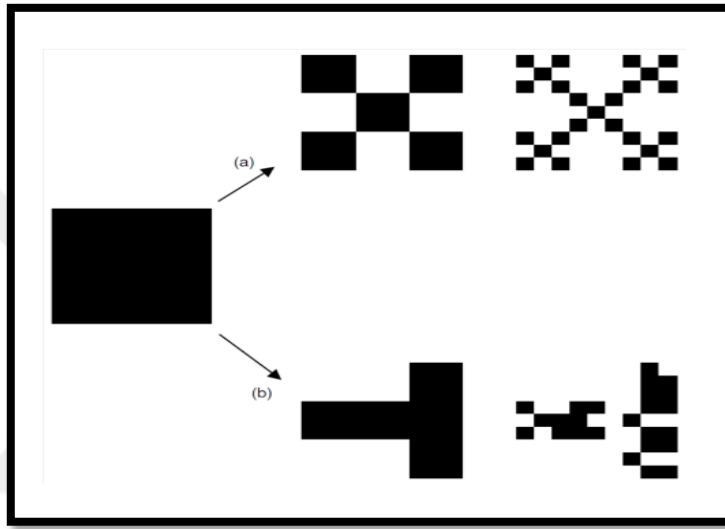
Matematiksel olarak kendini andırırılığı şu şekilde tanımlayabiliriz. Bir zaman serisinde t zamanı göstermek üzere bir $X(t)$ zaman serisi verilmiş olsun. Herhangi bir t ve Lt uzunluğundaki aralık için $XL(t) \equiv L^H X(t)$ ise $X(t)$ kendini andırırır. Burada L uzunluk çarpanı ve H Hurst üsteli olarak ifade edilmektedir. Hurst üsteli 0 ile 1 arasında değer alır ve $\equiv$ işareti ise her iki tarafın standart sapmalarının aynı olduğunu ifade etmektedir (Günay, 2014, s. 6261).

Zaman serilerindeki uzun bellek kavramı Hurst'un Nil Nehri'nde ki akışın kuvvet yasasını izlediğini tespit etmesiyle ortaya çıkmıştır. Hurst Nil Nehrindeki kuvvet yasasını gösteren H üsselini şu şekilde tanımlamıştır. Buna göre, $0 \leq H \leq 0,5$ iken su seviyesindeki sapmalar sürekli olmayıp ortalamaya bandında devam etmektedir. Nil nehrinde meydana gelen yüksek su seviyelerini düşük su seviyeleri takip etmekte olup bu durumun terside geçerlidir. $H=0,5$ olması durumunda su seviyesinin ortalamadan sapmaları bağımsız ve rassaldır. Bu durum "rassal yürüyüş" tekabül etmektedir. $0,5 < H \leq 1$ olması ise, su seviyesindeki sapmalarının sürekli olduğunu yani bir bağımlılık, uzun bellek yapısı olduğunu göstermektedir. Yüksek su seviyesi, yüksek su seviyeleri tarafından takip edilirken; düşük su seviyeleri de yine düşük su seviyeleri ile takip edilmektedir.

Genel olarak fraktallar deterministik ve stokastik olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Fraktalın tasarımında kullanılan geometrik model deterministik ise ortaya çıkan nesne deterministik fraktal olarak nitelendirilir. Aşağıdaki şekilde yer alan (a) ve

(b) oklarını incelediğimizde 2 farklı durum söz konusudur. Şekilde yer alan (a) okunu incelediğimizde bir karenin sürekli olarak 9 küçük kareye bölündüğünü görürüz. Ancak bu dokuz karenin dördü silinmiştir. Eğer bu 4 kare rassal olarak silinirse stokastik bir fraktal elde edilir. Yine şekilde yer alan (b) okuna bakacak olursak karelerin rastgele silindiğini göreceğiz.

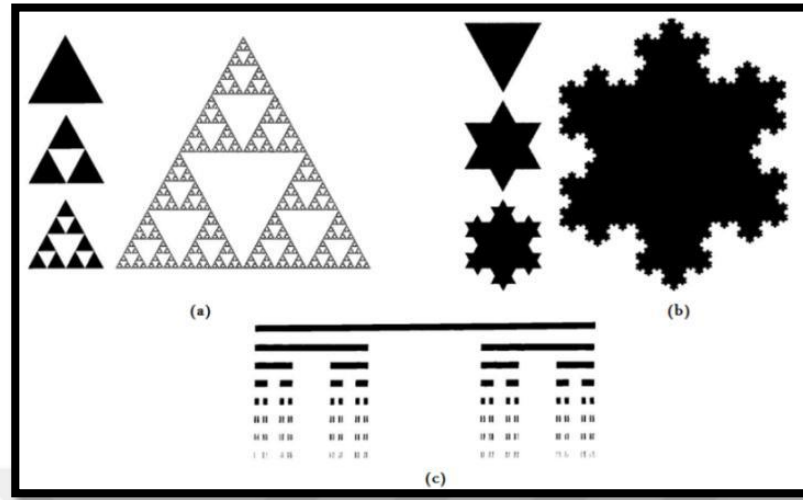
Şekil 11 : Deterministik (a) ve Stokastik (b) Fraktallar



6.2.1. Deterministik Fraktal

Deterministik fraktallar tüm oran düzelerinde tamamen aynı gözükmemektedir. Teorik olarak bakıldığında boyut bakımından aralıklı ya da sonsuzdur. Tüm ölçeklerde üst ve alt limitsiz olarak dağılmakta olup matematiksel ve teorik dünyada daha yaygındırlar. Sierpinski Üçgeni, Von Koch Kartanesi ve Cantor Tozu literatüre örnek olarak verilebilir (Williams G. P., 1997, s. 200). Bu örnekler aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

Şekil 12: (a) Sierpinski Üçgeni (b) Von Koch Kartanesi (c) Cantor Tozu



6.2.2. Stokastik Fraktal

Stokastik fraktallar, deterministik olmayan kurallara göre üretilen fraktallardır. Deterministik ve stokastik fraktalların arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki şekil örneğinden hareket edebiliriz. Deterministik fraktal elde etmek için karenin sağ üst köşesindeki çeyrek kısım kesilmektedir. Aynı işlem kalan bütün kareler içinde uygulanmıştır. Stokastik fraktalın elde edilebilmesi için ise karedeki 4 çeyreklik kareden hangisinin silineceğine rassal olarak karar verilmektedir. Ortaya çıkan şekiller tümüyle farklı olmasına karşın, fraktalları kapsayabilmek için ihtiyaç duyulan kutu sayısı eşit olmasından dolayı bu 2 fraktalın boyutu aynıdır (Tamas Tel, 1988, s.1159).

Doğada bulunan fraktallar stokastik fraktallar olarak adlandırılmaktadır. Bu fraktalları, rassallık ve gürültü unsurlarınıda ekleyerek deterministik fraktallarda kullanılan kurallara göre karşılaştırabiliriz. Rassal unsur; arazi yapısı, dallar, sahil çizgisi gibi doğal özelliklerin üretilmesi için büyük öneme sahiptir. Bu özelliklerin aşağı ya da yukarı yönlü ölçeklendirilmesi sonucunda detaylarda tam olarak birbirine bezemeseler de istatistiksel ve genel olarak benzerlik gösterirler. Stokastik ve deterministik fraktallar arasındaki diğer önemli bir fark ise, stokastik fraktallar doğal nesnelere benzediği için oransal aralıklar sınırlandırılmıştır. Örnek olarak bir kaya

parçasının atomdan daha küçük olamayacağı ve ne kadar büyük olacağının bilinmemesidir (Williams G. P., 1997, s. 200).

6.2.3. Etkin Piyasa ve Fraktal Piyasa Hipotezleri Karşılaştırması

Etkin piyasa ve Fraktal piyasa hipotezlerinin birbirinden ayıran temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

Etkin Piyasa Hipotezi;

- Piyasa doğrusal bir yapıdadır.
- Piyasada fiyatlar rassal yürüyüş (random walk) sergilemektedir. Bu sebeple fiyatlar, geçmiş fiyat hareketlerini içinde barındırmayan kısa hafıza özelliği göstermektedir.
- Kısa hafıza özelliği sebebi ile fiyatlar için başarılı öngörüler yapılamaz.

Fraktal Piyasa Hipotezi;

- Piyasa doğrusal olmayan kaotik bir yapıdadır. Fiyat hareketleri fraktallık özelliği taşır.
- Fraktal yapılarda olan kendine benzerlik özelliği sebebi ile finansal zaman serileri uzun hafıza özelliği gösterir.
- Uygun doğrusal olmayan modeller yardımı ile fiyatlar için başarılı öngörüler yapılabilir.

7. UYGULAMA

Kripto para konusu, son yıllarda yatırımcılar, teknoloji uzmanları ve akademisyenler tarafından dikkatle takip edilmektedir. Kullanılmaya başlanmasının üzerinden kısa bir süre geçmesine rağmen, finans dünyası için gelecekte yaşanacak büyük değişimlerin habercisi olmuştur. Bitcoin ilk ortaya çıktığında, finans piyasasındaki bu yeniliğe inanan çok az kişi olmuştur. Son yıllarda ise bu piyasalara ilgi

artmış, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, kripto para birimlerinin gelecekteki önemini görmüş, kripto para ve blockchain teknolojisinde yerlerini almaya başlamışlardır.

Bu sebeple, kripto para piyasası üzerine akademik çalışmalar yapılması ve piyasa dinamiklerinin incelenmesi önem kazanmıştır.

Son dönemde, kripto para analistleri ve yatırımcılar, piyasanın fraktal hareket ettiği konusunda görüş bildirmeye başlanmıştır. Örneğin, kripto para yatırımcısı Josh Rager, 9 Mayıs 2019 tarihinde tanınmış kripto para analisti Willy Woo'nun zincir üzerinden geçen günlük Bitcoin sermaye akışlarını gösteren Bitcoin ağ momentumu grafiğini ele alarak, oluşan fraktallara dikkat çekmiştir (Woo, 2019). Grafik üzerinde birbirine benzer şekilleri işaret ederek, yatırım kararlarının piyasanın fraktal yapısını dikkate alarak verilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ekonomi yazarı Tony Spilotro ise piyasa oyuncularının verdikleri yatırım kararlarının piyasada fraktal dinamiklere sebep olduğunu söylemiştir (Spilotro, 2019).

Bu bağlamda, kripto para piyasasının olası fraktal hareketlerinin ekonometrik teknikler ile incelenmesi önemlidir. Piyasanın fraktal yapıda olması durumunda ise uygun doğrusal olmayan modeller kullanılması gerekmektedir. Bu modeller yardımı ile başarılı öngörülerin yapılması, analistler ve yatırımcılar açısından yatırım kararları için yol gösterici olacaktır.

Bu tezde, kripto para piyasasının işlem hacmi en yüksek para birimleri olan Bitcoin ve Ethereum analiz edilmiştir. Önce piyasaların Fraktal Piyasa Hipotezine uygunluğu sınanmış, daha sonra öngörü için en başarılı modelin oluşturulması amaçlanmıştır.

Tezin uygulama kısmı üç bölüm olarak planlanmıştır. İlk bölümde, analiz edilen seriler ile ilgili bilgi verilmiştir. Uygulamanın ikinci bölümünde serilerin uzun hafıza özelliği incelenerek fraktal yapıya sahip olup olmadıkları sınanmıştır. Üçüncü bölümde ise, oynaklık modelleri, farklı mimari yapıdaki YSA'lar ve hibrit modeller ile dönem içi öngörüler yapılarak en başarılı model belirlenmiştir.

7.1. Veri Seti

Analizler, kripto para piyasasının işlem hacmi en yüksek para birimleri olan Bitcoin ve Ethereum değişkenleri ile yapılmıştır. Çalışmada 01.01.2018-30.06.2019 dönemi için A.B.D. doları cinsinden Bitcoin (BTC) ve A.B.D. doları cinsinden Ethereum (ETH) verilerinin günlük kapanış değerleri kullanılmıştır. Veriler www.investing.com web sitesinden elde edilmiştir. Serilerin zaman grafiğinde gözlenen varyansta durağan olmama problemini çözmek için logaritmik dönüşüm yapılmış, tüm analiz ve testler

$$RBTC = (\ln BTC_t - \ln BTC_{t-1}) * 100$$

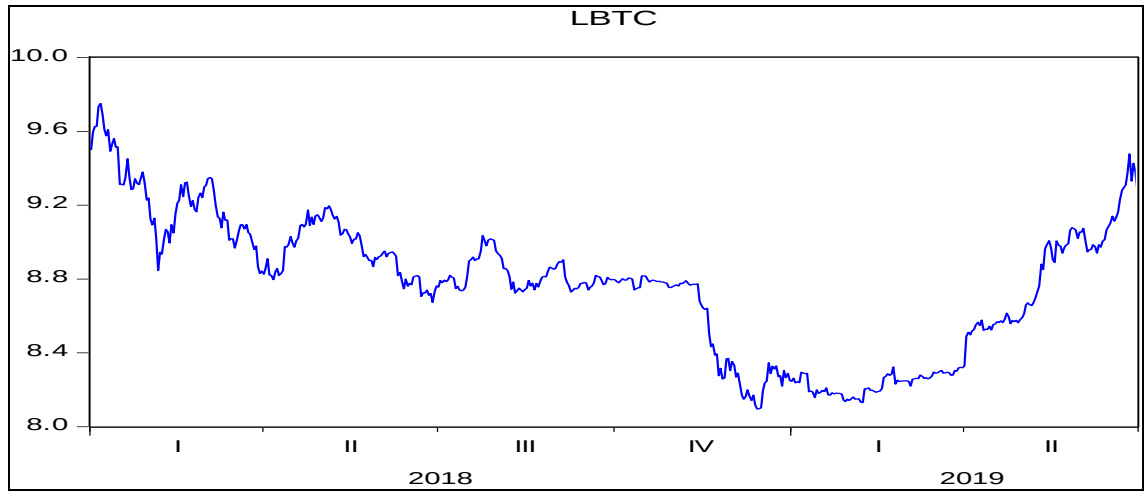
$$RETH = (\ln ETH_t - \ln ETH_{t-1}) * 100$$

olarak hesaplanan getiri serilerine uygulanmıştır.

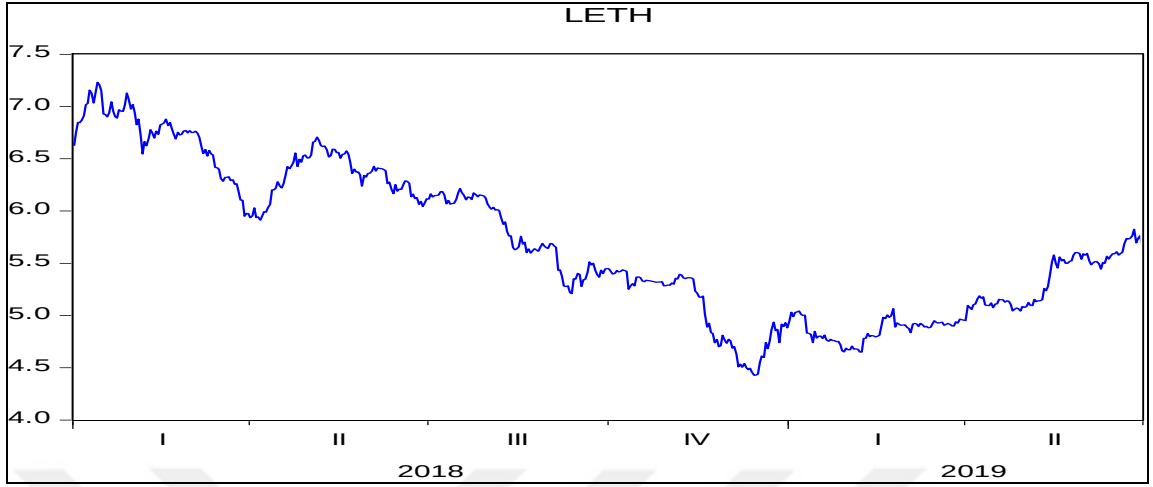
Analize, değişkenlerin grafiklerinin incelenmesi, tanımlayıcı istatistiklerinin yorumlanması ve durağanlıklarının incelenmesi ile başlanmıştır. Daha sonra, değişkenlere doğrusallık testi uygulanarak doğrusal olup olmadıkları incelenmiştir.

Aşağıda, BTC ve ETH serilerinin logaritmik dönüşüm uygulanmış halleri olan LBTC ve LETH serilerinin zaman serisi grafikleri verilmiştir.

Şekil 13: LBTC Serisinin Zaman Grafiği



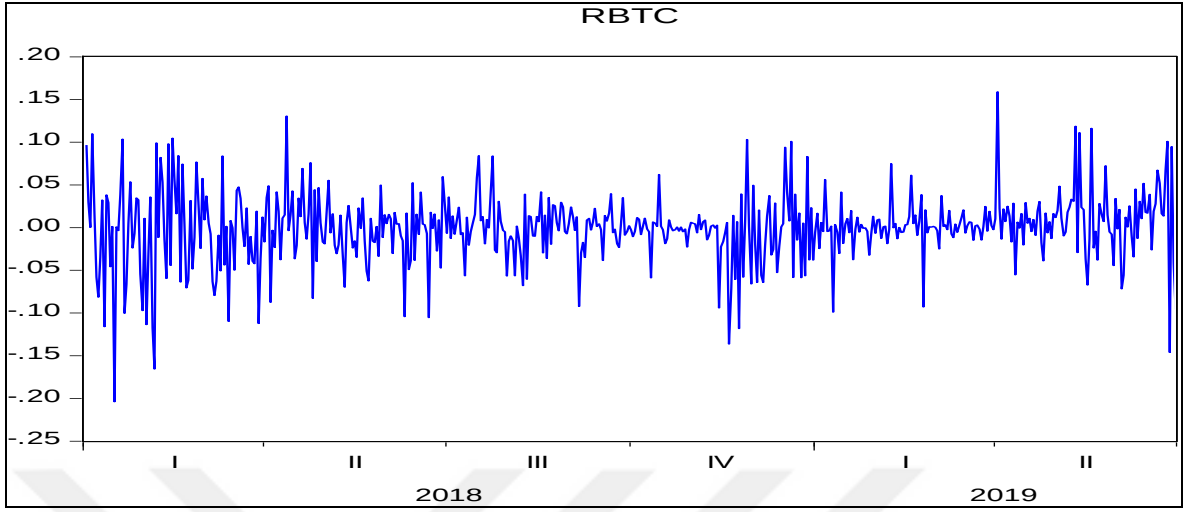
Şekil 14: LETH Serisinin Zaman Grafiği



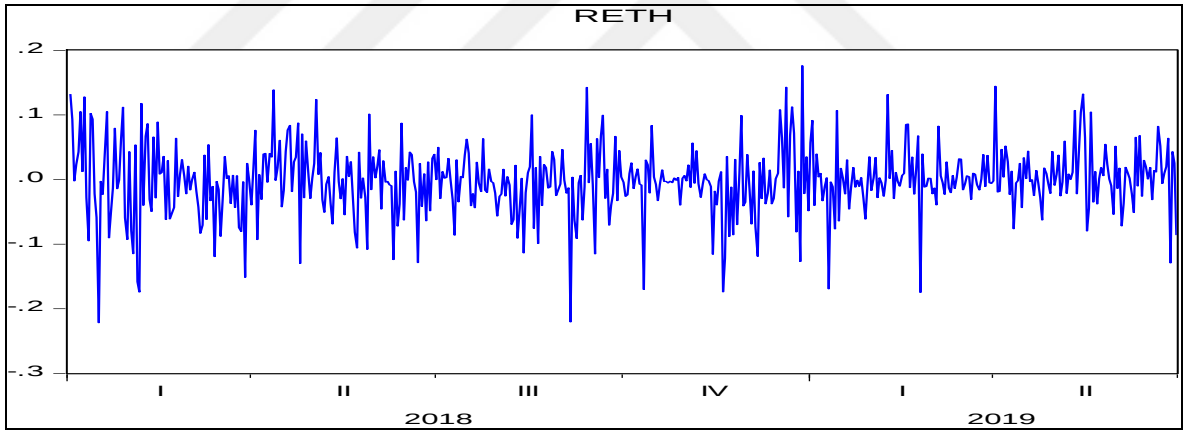
Şekil 13 ve Şekil 14'de yer alan serilere ait grafikler incelendiğinde, her iki serinin de 2018 yılı boyunca azalan trende sahip olduğu ve Aralık ayında en düşük seviyeyi gördükleri izlenmektedir. 2018 yılında, Asya ülkelerinde kripto paralara karşı yürütülen yasal düzenleme çalışmaları, Bitcoin ve Ethereum piyasasında önemli değer kaybına sebep olmuştur. Ayrıca, ABD'de başlayan ve ardından tüm küresel hisse senedi piyasalarına yayılan sert düşüşler, kripto para piyasasında da satış dalgasını etkileyen faktörler arasında yer almıştır. Küresel piyasalarda riskten kaçan yatırımcılar, gelişmiş ülke tahvillerine yönelmiştir. 2019 yılının başında ise, Facebook'un kripto para birimi Libra'yı tanıtması ve piyasa oyuncularının, ABD Merkez Bankası'nın (Fed) Temmuz'da faiz indirimine gidebileceği beklentileri sonucunda kripto para piyasasında tekrar değer artışı başlamıştır. Özellikle, kurumsal yatırımcıların Bitcoin'e ilgi göstermeye başlaması, şirketleri bünyesinde yatırım karar mekanizmaları yoluyla kripto para birimlerine yönelmelerini mümkün hale getirmeyi hedefleyen girişimler yapması, bu piyasanın tekrar yükselişe geçmesini sağlamıştır.

Çalışılan dönemin dinamikleri yorumlandıktan sonra, getiri serileri hesaplanmış, grafikler Şekil 15 ve Şekil 16'te verilmiştir.

Şekil 15: RBTC Serisinin Zaman Grafiği



Şekil 16: RETH Serisinin Zaman Grafiği

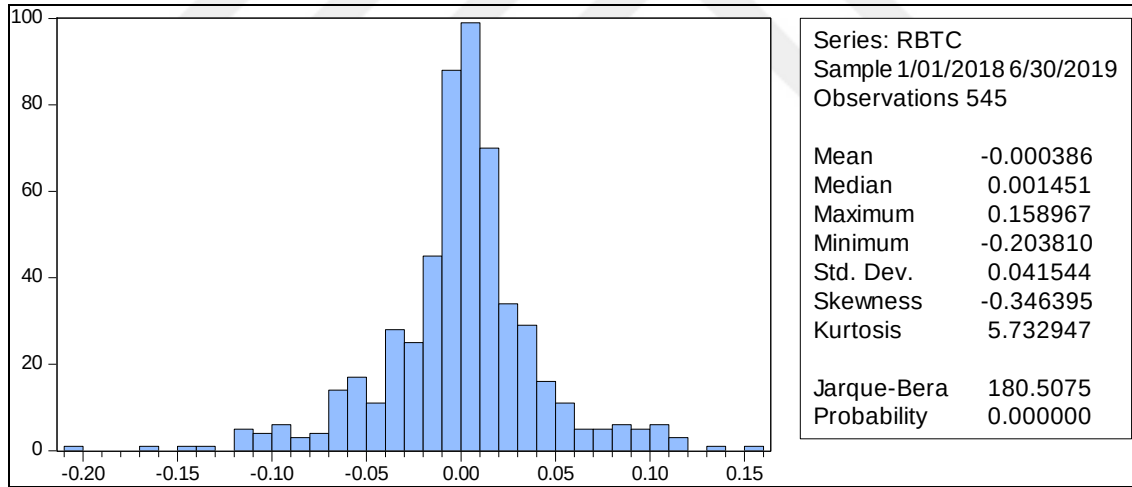


RBTC ve RETH serilerinin grafikleri incelendiğinde, finansal getiri serilerinin özelliklerinden biri olan oynaklık kümelenmesinin varlığı gözlemlenmektedir. Bu konu ile ilgili olarak, Mandelbrot (1963), hisse senedi fiyatlarını incelemiş ve aynı yönlü artış veya azalış olduğunu ortaya koymuştur. Bu özelliği, büyük değişimler büyük değişimler tarafından, küçük değişimler ise küçük değişimler tarafından takip edilir diyerek ifade etmiştir. Fama, (1965) ise oynaklık kümelenmesinin, finansal piyasalarda öbekler şeklinde görüldüğünü söylemiştir. Poon ve Granger (2005) ise finansal piyasalarda

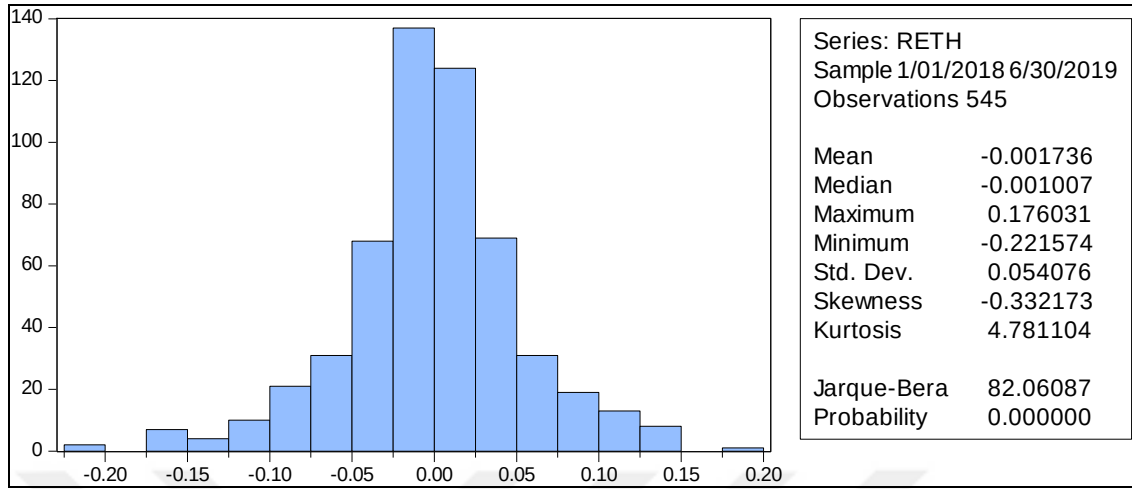
görülen oynaklığın sürekli olduğu ve kümелendiği bulgusuna ulaşmıştır (Granger & Poon, 2005).

Ekonometri yazınında yapılan çalışmaların sonuçları birlikte incelendiğinde, oynaklık kümelenmesinin, piyasa oyuncularının kendilerini tekrarlayan davranış biçimleri sonucu ortaya çıktığı söylenebilir. Geometrik açıdan incelendiğinde, fraktal bir cisim oluşturmak için, seçilen cismin benzerleri sisteme eklenmekte ve kendine benzerlik özelliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, finansal varlık getirilerinde görülen oynaklık kümelenmesi, fraktal sistemlerin en önemli özelliği olan kendine benzerlik özelliğini taşımaktadır. Sonuç olarak Şekil 13 ve Şekil 14’te yer alan grafiklerde görülen oynaklık kümelenmesi, RBTC ve RETH serilerinde fraktal bir yapı olduğu konusunda ön bilgi vermektedir. Getiri serilerine ait tanımlayıcı istatistikler ve histogramlar Şekil 17 ve Şekil 18’da yer almaktadır.

Şekil 17: RBTC Serisine ait Histogram ve Tanımlayıcı İstatistikler



Şekil 18: RETH Serisine ait Histogram ve Tanımlayıcı İstatistikler



Şekil 17 ve Şekil 18’da yer alan tanımlayıcı istatistikler ve histogramlar değerlendirildiğinde, her iki serinin de normal dağılmadığı, kalın kuyruklu olduğu ve leptokurtik dağılıma sahip olduğu görülmektedir.

7.2. Bulgular

7.2.1. Birim Kök Testleri

Verilerin istatistiksel özellikleri ve zaman grafikleri incelendikten sonra analize durağanlıklarının test edilmesi ile devam edilmiştir. Bu amaçla, Augmented Dickey–Fuller Testi (ADF), Phillips–Perron Testi (PP) ve Bierens (1997) doğrusal olmayan ADF Testi kullanılmıştır. Hesaplanan test istatistikleri ve kritik değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 2: RBTC ve RETH için Birim Kök Testi

Değişkenler	ADF	PP
RBTC	-24.58	-24.59
RETH	-24.65	-24.66
Kritik Değer (%5)	-2,86	-2,86

Tablo 2’de yer alan bulgular incelendiğinde, ADF ve PP testleri sonucuna göre birim kökün varlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilmiş ve serilerin durağan olduğu

sonucuna varılmıştır. Bierens (1997) Doğrusal Olmayan ADF Testine ait sonuçlar Tablo 3’de yer almaktadır (Bierens, 1997, s. 61).

Tablo 3: RBTC ve RETH için Bierens Doğrusal Olmayan ADF Testi

RER		RBTC	RETH
β		-0,62	-0,91
$t - ist$	Kritik Değer(%5)=-3.97	-6,14	-7,04
Am	Kritik Değer(%5)=-27.2	31,45	36,78
$F - ist$	Kritik Değer(%5)=4.88	7,16	8,47

RBTC ve RETH serileri için yapılan Bierens (1997) Doğrusal Olmayan ADF Testi ile ekonomik ve finansal değişiklikler sebebi ile meydana gelen kırılmaların sebep olduğu doğrusal olmayan yapı da analize katılarak birim kök sınaması yapılmış ve serilerin durağan olduğu bir kez daha ortaya konulmuştur (Bierens, Nonparametric Cointegration Analysis, 1997). Analize, serilerin doğrusallıkları incelenerek devam edilmiştir.

7.2.2. BDS Testi Sonuçları

Broock, Dechert ve Scheinkman (1986) (BDS) testi, finansal zaman serisindeki doğrusal olmayan bağımlılıkların belirlenmesinde kullanılan bir testtir (Broock, Scheinkman, & Dechert, 1996). Testin serideki doğrusallığı ortadan kaldırmak için ARIMA(p,d,q) tipi bir modelin artıklarına uygulanmasını önermiştir. Buna dayanarak test, RBTC ve RETH serileri için tahmin edilen uygun ARMA(p,q) modellerinin artık terimlerine uygulanmış ve sonuçlar sırası ile Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4: RBTC Serisine ait BDS Test Sonuçları

ε/σ (**)	$m(*)$								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,24	0,01	0,05	0,05	0,26	0,07	0,39	0,53	0,93
1,0	0,45	0,38	0,07	0,21	0,72	0,23	0,184	0,27	0,42
1,5	0,01	0,27	0,29	0,48	0,06	0,52	0,77	0,18	0,63
2,0	0,19	0,31	0,33	0,82	0,16	0,70	0,83	0,48	0,94

(*) m:gömülü boyut (**) ε : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklık, σ :standart hata.

Tablo 5: RETH Serisine ait BDS Test Sonuçları

	m(*)								
ε/σ (**)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,21	0,14	0,10	0,05	0,01	0,17	0,04	0,03	0,14
1,0	0,04	0,08	0,45	0,21	0,54	0,04	0,07	0,47	0,09
1,5	0,06	0,04	0,02	0,08	0,06	0,01	0,14	0,36	0,04
2,0	0,14	0,07	0,07	0,09	0,09	0,06	0,06	0,03	0,78

(*) m:gömülü boyut (**) ε : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklık, σ :standart hata.

Tablo 4 ve Tablo 5'te, ARIMA modelinin hata terimlerinin olasılık dağılımının bağımsız ve türdeş olduğunu ifade eden sıfır hipotezinin, bütün boyutlar için, %5 anlamlılık düzeyinde reddedildiği görülmektedir. Bu bulgular RBTC ve RETH değişkenlerinin doğrusal olmadığını ve fraktal bir yapıya sahip olabileceğini ortaya koymuştur.

7.2.3. Uzun Hafıza ve Fraktallık Özelliğinin Analizi

Uzun hafıza (long memory), zaman serilerinin kendi içerisindeki uzun dönemli bağımlılığı olarak ifade edilebilir. Zaman serilerinin birçoğunda, ortalama ve/veya varyans zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Otokovaryans ve otokorelasyon fonksiyonları yavaş bir azalma eğilimi gösteren, sıfırı uzun gecikmelerde kesen seriler uzun hafızalı seriler olarak isimlendirilmektedir (Özdemir, Vergili, & Çelik, 2018).

Zaman serilerinde, fraktal yapıya ait olan kendine benzerlik özelliği, serinin uzun hafıza özelliği ile incelenmektedir. Seride var olan uzun hafıza özelliği, aynı zamanda fraktal yapının varlığını da ortaya koymaktadır. Bu amaçla RBTC ve RETH serilerinde uzun hafıza ve fraktallık özelliği, R/S testi ve GPH tahmincisi ile sınanmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

7.2.3.1. R/S Testi

RBTC serisinin uzun hafıza özelliğinin incelenmesi için kullanılan R/S testi sonucu Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: RBTC Serisi İçin R/S Testi Sonucu

	R/S	E(R/S)
Sabit	-0,167 (0,012)*	-0,076 (0,037)
R²	0,914	0,971
Hurst Katsayısı	0,88 (0,023)	0,947 (0,021)

RBTC serisi için yapılan R/S testi sonucunda Hurst katsayısı 0,88 olarak bulunmuştur. Hurst katsayısından yararlanarak RBTC serisinin kesirli fark alma parametresi $d = H - 1/2 = 0,38$ olarak hesaplanmıştır. Fark alma parametresinin, $0 < d < 1/2$ koşulunu sağlaması nedeni ile RBTC serisinin uzun hafıza özelliği taşıdığı ortaya konulmuştur. Analiz sonucunda elde edilen uzun hafıza bulgusu RBTC serisinin kendine benzerlik özelliği taşıdığını ve fraktal boyutta olduğunu ortaya koymuştur.

Bu bulgunun ardından RETH serisi için R/S testi yapılmış ve sonuçları Tablo 7’te verilmiştir.

Tablo 7: RETH Serisi İçin R/S Testi Sonucu

	R/S	E(R/S)
Sabit	-0,127 (0,014)*	-0,069 (0,025)
R²	0,847	0,954
Hurst	0,941 (0,014)	0,911 (0,027)

(.)* değerleri standart hataları vermektedir.

RETH serisi için yapılan R/S testi sonucunda Hurst katsayısı 0,94 olarak bulunmuştur. Bu değerden yararlanarak RETH serisinin kesirli fark alma parametresi $d = H - 1/2 = 0,41$ olarak hesaplanmıştır. Bulunan fark alma parametresinin, $0 < d < 1/2$ aralığında yer alması nedeniyle RETH serisinin uzun hafıza özelliğine sahip olduğunu karar verilmiştir. Elde edilen bu bulgu, RETH serisinin kendine benzerlik özelliği taşıdığını ve fraktal boyutta olduğunu da göstermiştir.

7.2.3.2. GPH Tahmincisi

RBTC serisinin uzun hafıza özelliğinin belirlenmesinde yarı parametrik bir yaklaşım olan GPH tahmincisinden de yararlanılmış, hesaplanan kesirli fark alma parametresi d ve standart hata değeri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: RBTC Serisi İçin GPH Tahmincisi

<i>Yöntem</i>	<i>d</i>	Standart Hata	<i>p-değeri</i>
GPH	0,38	0,164	0,031

GPH tahmincisi ile RBTC serisi için kesirli fark alma parametresinin değeri 0,38 olarak bulunmuştur. İstatistiksel anlamlı olan d 'nin değerinin $0 < d < 0,50$ arasında olması, RBTC serisinin uzun hafıza özelliğine sahip olduğunu, kesirli olduğu için de fraktal yapıda olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Analize, RETH Serisi için GPH tahmincisi ile fark alma parametresinin hesaplanması ile devam edilmiştir. Sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: RETH Serisi İçin GPH Tahmincisi

<i>Yöntem</i>	<i>d</i>	Standart Hata	<i>p-değeri</i>
GPH	0,41	0,153	0,042

RETH serisi için hesaplanan kesirli fark alma parametresinin değeri 0,41 olarak bulunmuştur. İstatistiksel anlamlı olan d değerinin $0 < d < 0,50$ arasında olması, RETH serisinin uzun hafıza özelliğine sahip olduğunu ve fraktal yapıda olduğunu göstermiştir.

RBTC ve RETH için yapılan uzun hafıza testleri, serilerin Fraktal Piyasa Hipotezine uygun dinamikler taşıdığını ortaya koymuştur.

Yukarıda yapılan analizlerin bulguları, RBTC ve RETH serilerinin Fraktal Piyasa Hipotezine ait özellikleri taşıdığını ortaya koymuştur. Bu sonuç Bitcoin ve Ethereum piyasalarının doğrusal olmayan dinamikler içerdiğini, gözlem değerlerinin rastsal davranış sergilemediğini ve şokların etkisinin kalıcı olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, geleneksel zaman serisi modelleri bilgi kaybına sebep olacaktır. Serilerin doğrusal olmayan dinamiklerini temsil etmekte yetersiz olan doğrusal modellerin, öngörü başarısı da düşük olacaktır. Bu bulgulardan yola çıkarak RBTC ve RETH serileri için farklı doğrusal olmayan zaman serisi modelleri tahmin edilmiş, öngörü başarıları karşılaştırılmıştır.

7.2.4. RBTC ve REHT Değişkenlerinin Modellenmesi ve Dönem içi Öngörüsü

Finansal dalgalanmaların dinamik doğrusal olmayan davranış göstermesi, iç veya dış şoklar olmadığı zaman bile düzensiz gibi görünen sürekli dalgalanmalara yol açması, bu seriler için öngörüğü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle fraktal yapıdaki serilerin öngörüsü için esnek doğrusal olmayan modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tezin bu bölümünde, önce ekonometri yazınında finansal verilerin öngörüsünde sıklıkla kullanılan ARCH tipi modeller ve YSA modelleri tahmin edilmiştir. Daha sonra uygun hibrit modeller tahmin edilerek bütün modellerin öngörü başarıları karşılaştırılmıştır.

Aşağıda Tablo 10 ve Tablo 11'de RBTC ve RETH serileri için tahmin edilen oynaklık modelleri yer almaktadır.

Tablo 10: RBTC Serisi İçin ARCH (3) Modelinin Tahmin Sonuçları

Tahmin Yöntemi: ML - ARCH (Marquardt)				
Ortalama Denklemi				
	Katsayı	Standart Hata	z-istatistiği	Olasılık
C	0,0515	0,0173	2,9768	0,0154
AR(1)	0,3269	0,0478	6,8389	0,0000
AR(2)	0,4786	0,0614	7,7947	0,0000
Varyans Denklemi				
RESID(-1)^2	0.130244	0.038703	3.36	0.008
RESID(-2)^2	0.070264	0.034911	2.01	0.044
RESID(-3)^2	0.146756	0.055220	2.65	0.007
Sabit	0.001155	6.32E-05	18.28	0.000
Dum1	0.158125	0.01452	11.29	0.000
Dum2	0.053129	0.01245	4.42	0.000
Dum3	0.045478	0.01475	3.05	0.000
Dum4	0.061654	0.01365	4.51	0.000
Jarque-Bera Testi	5,16	(0.04)		

ARCH(12) Testi	19,31	(0.11)
Q(12)	15,11	(0.90)

Tablo 11: RETH Serisi İçin GARCH(1,1) Modelinin Tahmin Sonuçları

Tahmin Yöntemi: ML - ARCH (Marquardt)				
Ortalama Denklemi				
	Katsayı	Standart Hata	z-istatistiği	Olasılık
C				
AR(1)	0,3269	0,0478	6,8389	0,0000
MA(1)	0,4786	0,0614	7,7947	0,0000
Varyans Denklemi				
RESID(-1)^2	0,017535	0.008939	1.961634	0.008
GARCH(-1)	0,642185	0.022228	42.38644	0.044
Sabit	0.000104	4.56E-05	2.280688	0.000
Dum1	0.147853	0.01452	11.29	0.001
Dum2	0.054712	0.01245	4.42	0.030
Dum3	0.052314	0.01475	3.05	0.041
Dum4	0.051478	0.01245	4.13	0.000
Jarque-Bera Testi	5.45	(0.24)		
ARCH(12) Testi	13,93	(0.30)		
Q(12)	20.02	(0.07)		

RBTC serisi için ARCH(3) modeli, RETH serisi için GARCH (1,1) modeli tahmin edilmiş, katsayılar ve modellere ait tanımlama hatası testleri Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir. Bulgular incelendiğinde, modellerin hata terimlerinde otokorelasyon olmadığı ve ARCH etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Ayrıca Jarque-Bera Test istatistiği incelendiğinde hata terimlerinin normal dağıldığı sonucuna varılmıştır.

Oynaklık modellerinden sonra RBTC ve RETH serileri Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ile modellenmiştir. YSA modellerinin, klasik modellere dayalı öngörü yöntemlerinin aksine, kısıtlayıcı ön savlarının az olması zaman serilerinin öngörüsü için tercih edilmelerine neden olmaktadır. Ayrıca, YSA modellerinin veri güdümlü (data driven) yaklaşımı, karmaşık ilişkilerin modellenmesi açısından diğer zaman serisi

yöntemlerinden ayrışmasına ve öngörü performansının yüksek olmasına olanak sağlamaktadır (Akgül, Gürevin, Güleriyüz, Kaçar, & Çimen, 2018).

Tablo 12’de kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağlarının mimari yapılarına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Çalışmada oluşturulan tüm ÇKYSA modelleri, giriş katmanı, çıkış katmanı ve 1 adet gizli katman olmak üzere 3 katmanlı bir mimariye sahiptir. Çalışmada, giriş nöron sayısı ve gizli katmanda kullanılan nöron sayıları 1’den 12’ye kadar değiştirilerek 120 farklı yapay sinir ağı modeli elde edilmiştir. Veriler, ÇKYSA ile oluşturulan ağlara girilmeden önce ağın yapısına uygun hale getirilmiş, gerekli giriş ve çıkış vektörleri oluşturulmuştur. Eğitim verileri ağı sunularak ağın öğrenme işlemi gerçekleştirilmiş, bu 120 model içerisinde test verileri için hata kareleri ortalaması (MSE), kök hata kareleri ortalaması (RMSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerleri karşılaştırılmış, en başarılı yapay sinir ağı modeli seçilmiştir. Tablo 12’de, seçilen modellerin mimari yapıları verilmiştir.

Tablo 12: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Mimari Yapıları

	RBTC	RETH
Girdi Düğümleri	$RBTC_{t-1}, RBTC_{t-2}$	$RETH_{t-1}, RETH_{t-2}$
Gizli Nöron Sayısı	1	1
Öğrenme Oranı	0,7	0,8
Momentum	0,6	0,9
Eğitim Verisinin Korelasyonu	0,784	0,814

Tabloda yer alan bulgular incelendiğinde öğrenme oranlarının yüksek olması ve eğitim verisi korelasyonlarının 1’e yakın olması, modellerin başarılı olduğunu ortaya koymuştur.

Son dönemde yapılan ekonometrik çalışmalarda YSA’ların öngörü başarılarını destekler nitelikte bulgulara sıklıkla rastlanılmaktadır. Ancak, Huang vd.(2006), YSA modellerinin finansal piyasaların öngörüsünde başarıyla kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları olduğunu ortaya koymuştur (Huang, Keung, Nakamori, Wang, & Yu,

2019). Yavaş gradyan bazlı öğrenme algoritmalarının ve bu algoritmaların doğru sonuçlar ortaya çıkarmaları için mimarideki bütün ağırlıkların yenilemeli bir şekilde değiştirilmek zorunda olmalarının eğitim sürecinin hızını yavaşlattığını söylemişlerdir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için son yıllarda hibrit modeller kullanılmaya başlanılmıştır. Wedding ve Cios (1996) Radyal Temelli Fonksiyon Ağı ve YSA kullanarak öngörü çalışmaları yapmışlardır (Wedding & Cios, 1996). Luxhoj, Riis, ve Stensballe (1996) satışlar için hibrit model kullanarak modelin başarısını ortaya koymuşlardır (Luxhøj, Riis, & Stensballe, 1996). Ginzburg ve Horn (1994) ile Pelikan ve diğerleri (1992) ileri beslemeli yapay sinir ağlarını doğrusal modeller ile kullanarak zaman serilerinin öngörüsünde başarı elde etmişlerdir (Ginzburg & Horn, 1994). Tsaih, Hsu, ve Lai (1998) S&P 500 serisi için uygun hibrit modeli kullanmışlardır (Tsaih, Hsu, & Lai, 1998). Medeiros ve Veiga (2001) Yumuşak Geçişli Otoresif Model ve YSA ile öngörü yapmışlardır (Medeiros & Veiga , 2001). Pai ve Lin (2005) AR(I)MA Modelleri ve Destek Vektör Makinaları ile finansal piyasaları modellemişlerdir (Pai & Lin, 2005). Chenand ve Wang (2007) mevsimsel zaman serileri için bir hibrit model geliştirmişlerdir (Chen & Wang, 2007). Armano, Marchesi ve Murru (2005) YSA ve Genetik Algoritmayı birlikte kullanmışlardır (Armano, Marchesi, & Murru, 2005). Goh, Lim ve Peh (2003) hibrit modeli kurarken Elman Ağlarından yararlanmışlardır (Goh, Lim, & Peh, 2003). Tseng, Yu ve Tzeng (2002) SARIMABP hibrit modelini tahmin etmişlerdir (Tseng, Yu, & Tzeng, 2002). Khashei, Hejazi ve Bijari (2008) gözlem sayılarının az olması durumunda kullanılacak bir hibrit model geliştirerek öngörü başarısını arttırmaya çalışmıştır (Khashei, Hejazi, & Bijari, 2008).

Bu çalışmada, Zhang (2003) yaklaşımı ile farklı mimari yapıdaki hibrit ARCH-ÇKYSA modelleri tahmin edilmiş, dönem içi öngörü başarıları Tablo 13 ve Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 13: RBTC Serisi İçin Hibrit Modellerin Öngörü Başarısı Karşılaştırması

Modeller	Girdiler	Ortalama Hata Kare	Kök Ortalama Hata Kare	Ortalama Mutlak Hata
Hibrit Model-1	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, e_{t-4}^s, Z_{t-4}$	0,012	0,561	20,89
Hibrit Model-2	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, e_{t-4}^s$	0,009	0,534	17,28
Hibrit Model-3	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, Z_{t-4}$	0,006	0,529	17,03
Hibrit Model-4	$\hat{L}_t, e_t^s, e_{t-4}^s, Z_{t-4}$	0,009	0,556	19,02
Hibrit Model-5	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}$	0,004	0,404	14,23
Hibrit Model-6	$\hat{L}_t, e_t^s, e_{t-4}^s$	0,007	0,501	15,45
Hibrit Model-7	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-11}$	0,008	0,541	22,16
Hibrit Model-8	$\hat{L}_t, e_t^s$	0,013	0,603	23,18

Tablo 14: RETH Serisi İçin Hibrit Modellerin Öngörü Başarısı Karşılaştırması

Modeller	Girdiler	Ortalama Hata Kare	Kök Ortalama Hata Kare	Ortalama Mutlak Hata
Hibrit Model-1	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, e_{t-4}^s, Z_{t-4}$	0,014	0,447	20,56
Hibrit Model-2	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, e_{t-4}^s$	0,007	0,516	16,64
Hibrit Model-3	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}, Z_{t-4}$	0,005	0,334	12,17
Hibrit Model-4	$\hat{L}_t, e_t^s, e_{t-4}^s, Z_{t-4}$	0,009	0,498	21,45
Hibrit Model-5	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-4}$	0,007	0,547	18,87
Hibrit Model-6	$\hat{L}_t, e_t^s, e_{t-4}^s$	0,006	0,501	13,78
Hibrit Model-7	$\hat{L}_t, e_t^s, \hat{L}_{t-11}$	0,007	0,534	19,78
Hibrit Model-8	$\hat{L}_t, e_t^s$	0,011	0,614	14,78

Öngörü başarılarının kıyaslanması için hesaplanan Ortalama Hata Kare (OHK), Kök Ortalama Hata Kare (KOHK) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) değerleri tabloda yer almaktadır. Bulgular incelendiğinde RBTC Serisi için Hibrit Model-5'in, RETH serisi için Hibrit Model-3'ün en başarılı dönem içi öngörü sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 15: RBTC Serisi için Tahmin Edilen Bütün Modeller İçin Dönem İçi Öngörü Karşılaştırması

	ARCH(3)	ÇKYSA	ARCH(3)-ÇKYSA
Ortalama Hata	0.024	0.020	0.011
Kök Ortalama Hata Kare	0.064	0.051	0.034
Ortalama Mutlak Hata(%)	0.147	0.109	0.097

Tablo 16: RETH Serisi için Tahmin Edilen Bütün Modeller İçin Dönem içi Öngörü Karşılaştırması

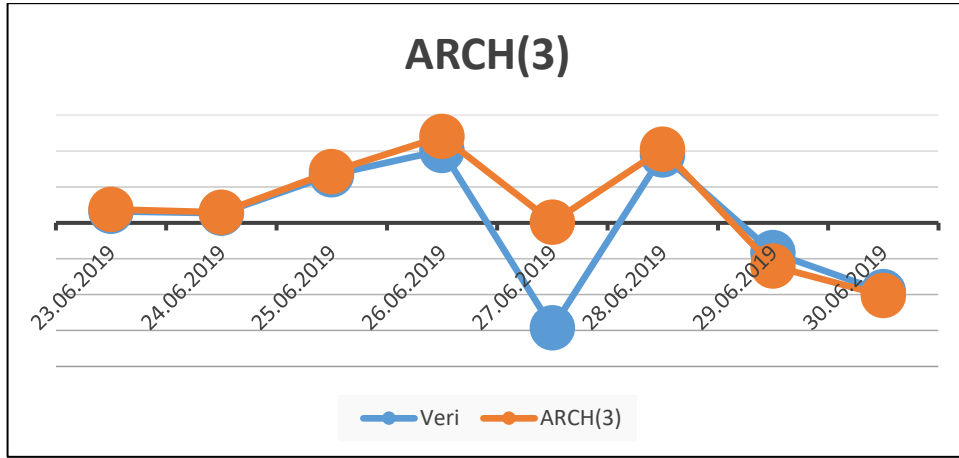
	GARCH(1,1)	ÇKYSA	GARCH(1,1)-ÇKYSA
Ortalama Hata	0.011	0.018	0.009
Kök Ortalama Hata Kare	0.055	0.068	0.041
Ortalama Mutlak Hata(%)	0.322	0.405	0.283

Tablo 17: RBTC Serisi İçin Dönem İçi Öngörü Başarısı Karşılaştırması

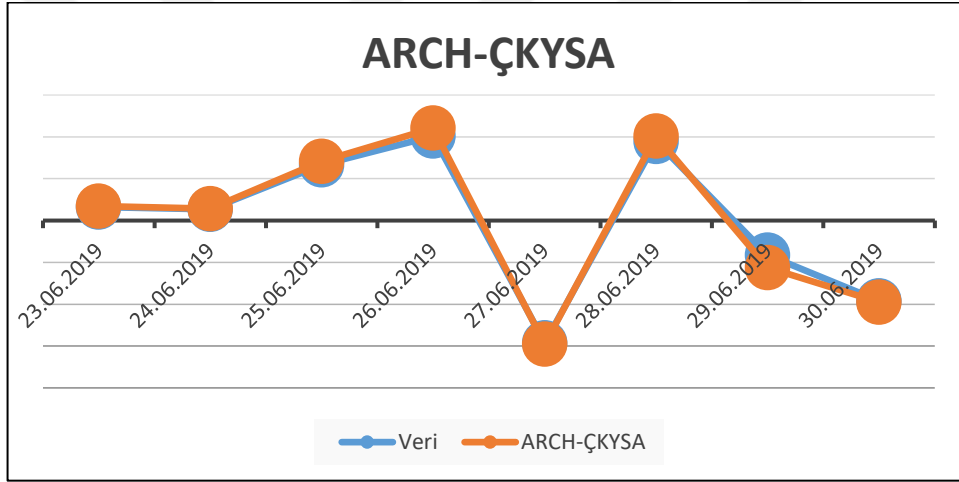
Dönem	Veri	ARCH(3)	ÇKYSA	ARCH(3)-ÇKYSA
23.06.2019	0,0162	0,0187	0,0171	0,0164
24.06.2019	0,0136	0,0146	0,0143	0,0138
25.06.2019	0,0668	0,0714	0,0709	0,0670
26.06.2019	0,1009	0,1204	0,1105	0,1006
27.06.2019	-0,1461	0,0007	-0,1478	-0,1459
28.06.2019	0,0947	0,1025	0,1011	0,0951
29.06.2019	-0,0413	-0,0601	-0,0561	-0,0415
30.06.2019	-0,0958	-0,1012	-0,0975	-0,0961

RBTC serisi için dönem içi öngörü başarı karşılaştırılması sonucunda elde edilen grafikler Şekil 19, 20 ve 21’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde en başarılı öngörünün ARCH(3)-ÇKYSA modeli ile elde edildiği görülmüştür.

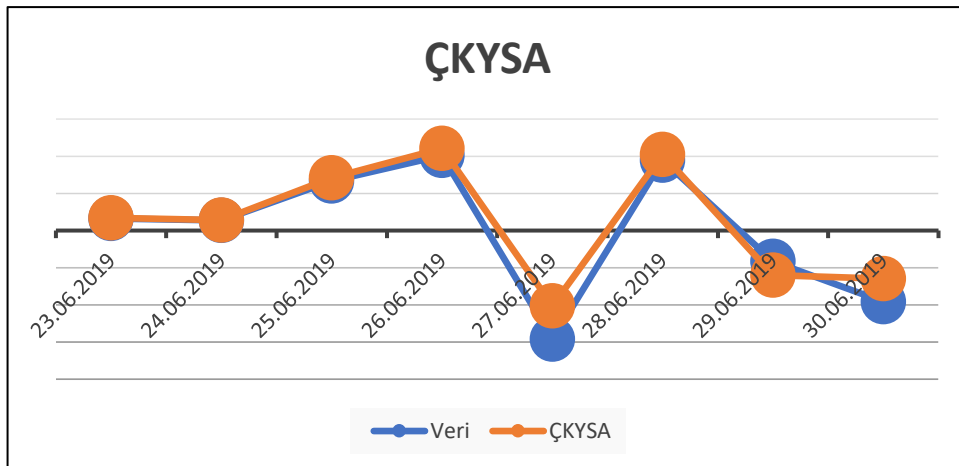
Şekil 19: ARCH (3) Dönem İçi Öngörü Grafiği



Şekil 20: ARCH-ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği



Şekil 21: ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği

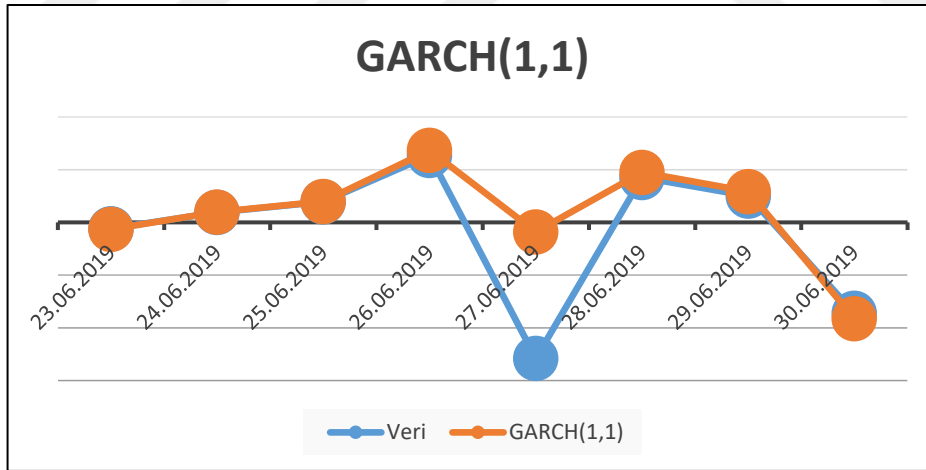


Tablo 18: RETH Serisi İçin Dönem İçi Öngörü Başarısı Karşılaştırması

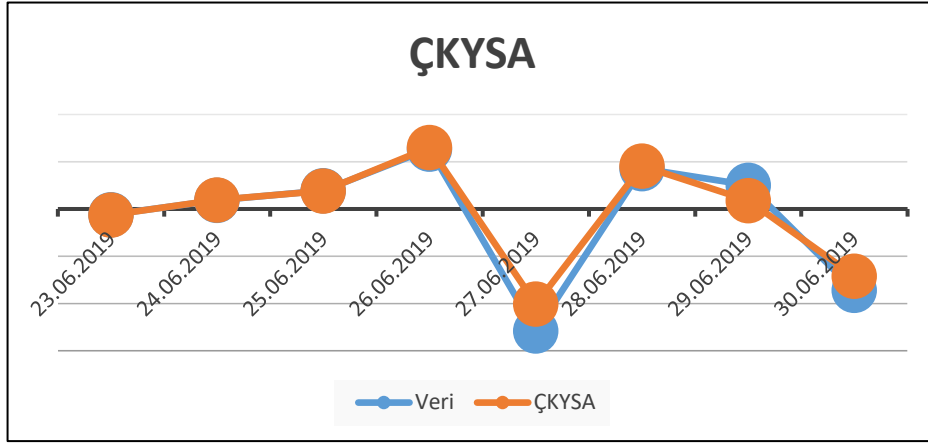
Dönem	Veri	GARCH(1,1)	ÇKYSA	GARCH(1,1)-ÇKYSA
23.06.2019	-0,0059	-0,0065	-0,0064	-0,0061
24.06.2019	0,0094	0,0099	0,0097	0,0095
25.06.2019	0,0196	0,0199	0,0192	0,0195
26.06.2019	0,0636	0,0684	0,0651	0,0639
27.06.2019	-0,1290	-0,1298	-0,1296	-0,1292
28.06.2019	0,0427	0,0476	0,0454	0,0430
29.06.2019	0,0251	0,0294	0,0266	0,0253
30.06.2019	-0,0860	-0,0913	-0,0871	-0,0864

RETC serisi için dönem içi öngörü başarı karşılaştırılması sonucunda elde edilen grafikler Şekil 21, 22 ve 23’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde en başarılı öngörünün GARCH(1,1)-ÇKYSA modeli ile elde edildiği görülmüştür.

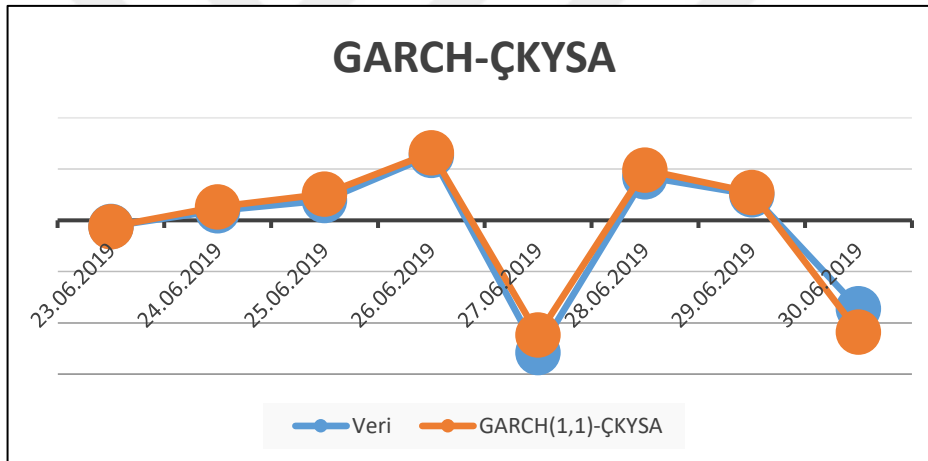
Şekil 22: GARCH (1,1) Dönem İçi Öngörü Grafiği



Şekil 23: ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği



Şekil 24: GARCH-ÇKYSA Dönem İçi Öngörü Grafiği



8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada 01.01.2018-30.06.2019 dönemi için A.B.D. doları cinsinden Bitcoin (BTC) ve A.B.D. doları cinsinden Ethereum (ETH) verilerinden hesaplanan getiri serileri ile çalışılmıştır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleri sonucuna göre serilerin durağan olduğu görülmüştür. BDS testi bulgularına göre serilerin bağımsız ve türdeş olduğunu ifade eden sıfır hipotezi, %5 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu sonuç, RBTC ve RETH değişkenlerinin doğrusal olmadığını ve fraktal bir yapıya sahip olabileceğini ortaya koymuştur.

Serilerin fraktal yapıya sahip olup olmadığının ortaya konulması için uzun hafıza incelemesi yapılmıştır. *R/S* Testi ve *GPH* yöntemi ile hesaplanan kesirli fark alma parametrelerinin 0,5'ten küçük olması nedeni ile serilerin uzun hafızaya sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgu aynı zamanda serilerin doğrusal olmadığını ve Fraktal Piyasa Hipotezi varsayımlarına uygun dinamiklere sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Finansal dalgalanmaların dinamik doğrusal olmayan davranış göstermesi, iç veya dış şoklar olmadığı zaman bile düzensiz gibi görünen sürekli dalgalanmalara yol açması, bu seriler için öngörüye zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla fraktal yapıdaki serilerin öngörüsü için esnek doğrusal olmayan modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, ARCH tipi modeller, YSA modelleri ve hibrit modeller tahmin edilmiştir. ARCH tipi modellerin artıkları ÇKYSA modelleri ile birleştirilerek hibrit model elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışma diğer çalışmalardan ayrılarak literatüre katkı sağlamıştır. Daha sonra modeller ile 8 dönem dönem içi öngörü yapılarak öngörü başarıları karşılaştırılmıştır. Öngörü başarılarının karşılaştırılması için hesaplanan Ortalama Hata Kare (OHK), Kök Ortalama Hata Kare (KOHK) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) değerleri karşılaştırıldığında hibrit modelin iki seri için de en başarılı sonucu verdiği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak; Bitcoin ve Ethereum getiri serilerinin Etkin Piyasa

Hipotezinin öne sürdüğü gibi doğrusal olmadığı, fiyatların rassal yürüyüş sergilemediği ve uzun hafızaya sahip olduğu görülmüştür.

Hükümetlerin, akademisyenlerin ve yatırımcıların kripto para piyasasını incelerken, ya da bu piyasaya yatırım yaparken, kendine benzerlik özelliği sebebi ile uzun hafıza özelliği gösterdiğini dikkate alması gerekmektedir. Ayrıca bu piyasaların öngörüsü yapılırken doğrusal olmayan hibrit modellerin daha başarılı olduğu bilgisi unutulmamalıdır.



9. KAYNAKÇA

- Adenstedt, R. K. (1974). *On Large-Sample Estimation for the Mean of a Stationary Random Sequence*. 4 13, 2019 tarihinde Project EUCLID Mathematics and Statistics Online: https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aos/1176342867 adresinden alındı
- Akbank. (2017). *Bizden Haberler*. 4 11, 2019 tarihinde Akbank: <https://www.akbank.com/tr-tr/Yatirimci-iliskileri/Sayfalar/Bizden-Haberler.aspx> adresinden alındı
- Akel, V. (2006). Finansal Yenilikler ve Risk Yönetimi Tekniklerinin Finansal Gelişmişlik Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 125-140.
- Akgül, A., Gürevin, B., Güteryüz, E., Kaçar, S., & Çimen, M. (2018). Kaotik bir hareket videosunun yapay sinir ağları ile modellenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23-35.
- Al Jazeera Turk. (2014, 3 1). *Mt. Gox iflas etti*. 4 7, 2019 tarihinde Al Jazeera Turk: <http://www.aljazeera.com.tr/haber/mt-gox-iflas-etti> adresinden alındı
- Anderson, G., & Wedgell, A. (2014). Prospects of Bitcoin: An Evaluation of Its Future. *Master Tezi*, 8. Lund, Sweden: Lund University.
- Andolfatto, D. (2014, 3 31). *Bitcoin and Beyond: The Possibilities and the Pitfalls of Virtual Currencies*. 4 6, 2019 tarihinde Federal Reserve Bank of St. Louis: <https://www.stlouisfed.org/~media/files/pdfs/dwtf/bitcoin-3-31-14.pdf?la=en> adresinden alındı

- Andreou, A., Pavlides, G., & Karytinis, A. (2000, 07). *Nonlinear time-series analysis of the Greek exchange-rate market*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/264859288_Nonlinear_time-series_analysis_of_the_Greek_exchange-rate_market adresinden alındı
- Armano, G., Marchesi, M., & Murru, A. (2005). A hybrid genetic-neural architecture for stock indexes forecasting. *Information Sciences*, 3-33.
- Atan, S., Özdemir, Z., & Atan, M. (2009). Hisse Senedi Piyasasında Zayıf Formda Etkinlik: İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33-48.
- Atik, M., Köse, Y., Yılmaz, B., & Sağlam, F. (2015). Kripto Para: Bitcoin ve Döviz Kurları Üzerine Etkileri. *Bartın Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 247-262.
- Avrupa Merkez Bankası. (2012, 10 1). *Virtual Currency Schemes*. 3 30, 2019 tarihinde ECB Europa: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf> adresinden alındı
- Baek, C., & Elbeck, M. (2015). *Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look*. 4 7, 2019 tarihinde Economics and Finance Research: <https://ideas.repec.org/a/taf/apeclt/v22y2015i1p30-34.html> adresinden alındı
- Baliga, A. (2017, 4). *Understanding Blockchain Understanding Blockchain*. 4 6, 2019 tarihinde Semantic Scholar: <https://pdfs.semanticscholar.org/da8a/37b10bc1521a4d3de925d7ebc44bb606d740.pdf> adresinden alındı
- BDDK. (2013, 11 25). *Bitcoin Hakkında Basın Açıklaması*. 4 6, 2019 tarihinde BDDK-Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu: http://www.bddk.org.tr/ContentBddk/dokuman/duyuru_0512_01.pdf adresinden alındı

- Beck, R., Czepluch, J. S., Lollike, N., & Malone, S. (2016). The Gateway To Trust-Free Cryptographic Transactions. *Twenty-Fourth European Conference on Information Systems* (s. 2-15). Istanbul: AIS Electronic Library (AISeL).
- Bierens, H. (1997, 04). *Nonparametric Cointegration Analysis*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/222495159_Nonparametric_Cointegration_Analysis adresinden alındı
- Bierens, H. (1997, 04). *Nonparametric Cointegration Analysis*. ResearchGate: file:///C:/Users/user/Downloads/Nonparametric_Cointegration_Analysis.pdf adresinden alındı
- Bildik, R. (2000). *Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma*. Istanbul: İMKB Yayınları.
- Bircoin Wiki. (2014). *All About Cryptocurrency*. 4 6, 2019 tarihinde Bircoin Wiki: https://en.bitcoinwiki.org/wiki/Main_Page adresinden alındı
- Black, F., & Scholes, M. (1973, 06). *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*. JStor: https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall09/cos323/papers/black_scholes73.pdf adresinden alındı
- Boucher, P., Nascimento, S., & Kritios, M. (2017, 2). *How Blockchain Technology Could Change Our Lives*. 6 4, 2019 tarihinde European Parliament: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2017/581948/EPRS_IDA%282017%29581948_EN.pdf adresinden alındı
- Bouoiyour, J., Selmi, R., & Tiwari, A. (2015, 3). *Is Bitcoin business income or speculative foolery? New ideas through an improved frequency domain analysis*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/275408281_Is_Bitcoin_business_inco

me_or_speculative_foolery_New_ideas_through_an_improved_frequency_domain_analysis adresinden alındı

Brière, M., Oosterlinck, K., & Szafarz, A. (2013, 1). *Virtual Currency, Tangible Return: Portfolio Diversification with Bitcoins*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/272304443_Virtual_Currency_Tangible_Return_Portfolio_Diversification_with_Bitcoins adresinden alındı

Britto, A., Schwart, D., & Youngs, N. (2014). *The Ripple Protocol Consensus Algorithm*. 4 7, 2019 tarihinde Ripple: https://ripple.com/files/ripple_consensus_whitepaper.pdf adresinden alındı

Broock, W., Scheinkman, J., & Dechert, W. (1996). *A test for independence based on the correlation*. Taylor & Francis Online: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07474939608800353> adresinden alındı

Brown, C., & Liebovitch, L. S. (2010). *Fractal Analysis. Quantitative Applications in the Social Sciences*. 4 15, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/221658879_Brown_Clifford_T_and_Larry_S_Liebovitch_2010_Fractal_Analysis_Quantitative_Applications_in_the_Social_Sciences_Monograph_No_165_Thousand_Oaks_Calif_Sage_Publications adresinden alındı

Buterin, V. (2014). *Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform*. 4 7, 2019 tarihinde Ethereum White Paper: http://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf adresinden alındı

Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. (1996). *The Econometrics of Financial Markets*. New Jersey: Princeton University Press.

- Chen, K.-Y., & Wang, C.-H. (2007). A hybrid SARIMA and support vector machines in forecasting the production values of the machinery industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 254-264. Semantic Scholar: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-hybrid-SARIMA-and-support-vector-machines-in-the-Chen-Wang/31ed9888365786c5d769916b4e124dce68d54c77> adresinden alındı
- Cheung, A., Roca, E., & Su, J.-J. (2014, 2). *Crypto-Currency Bubbles: An application of the Phillips-Shi-Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices*. 4 7, 2019 tarihinde Curtin University: https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/45230/227311_227311.pdf?sequence=2 adresinden alındı
- Cheung, K.-C., & Coutts, J. (2010, 10 06). *A note on weak form market efficiency in security prices: evidence from the Hong Kong stock exchange*. Taylor&Francis Online: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/135048501750237865> adresinden alındı
- Chow, K., Pan, M.-S., & Sakano, R. (1996, 03). *On the long-term or short-term dependence in stock prices: Evidence from international stock markets*. Springer Link: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00367503> adresinden alındı
- Clarkson, R. S. (2013). *A Fractal Probability Distribution For Financial Risk Applications*. 4 15, 2019 tarihinde International Actuarial Association: www.actuaries.org/EVENTS/Congresses/Cancun/afir_subject/afir_36_clarkson.pdf adresinden alındı
- Coindesk. (2015, 6 16). *State of Bitcoin*. 4 7, 2019 tarihinde Coindesk: <https://www.coindesk.com/state-of-bitcoin-q2-2015-price-gains-amid-euro-crisis> adresinden alındı

- Coinmarket. (2019, 4 6). 4 6, 2019 tarihinde <https://coinmarketcap.com:https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/> adresinden alındı
- Çarkacıoğlu, A. (2016, 12). *Kripto-Para Bitcoin*. 4 1, 2019 tarihinde Sermaye Piyasası Kurulu: <http://www.spk.gov.tr/SiteApps/Yayin/YayinGoster/1130> adresinden alındı
- Çevik, E. (2012). İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Etkin Piyasa Hipotezinin Uzun Hafıza Modelleri ile Analizi: Sektörel Bazda Bir İnceleme. *Yaşar Üniversitesi Dergisi*.
- Çevik, E., & Erdoğan, S. (2009, 1). Bankacılık Sektörü Hisse Senedi Piyasasının Etkinliği: Yapısal Kırılma ve Güçlü Hafıza. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 26-40. <http://journal.dogus.edu.tr/index.php/duj/article/view/56/73> adresinden alındı
- Çevik, E., & Topaloğlu, G. (2014). Volatilitede Uzun Hafıza Ve Yapısal Kırılma: Borsa İstanbul Örneği. *Namık Kemal Üniversitesi Açık Erişim Arşivi*, 1-11.
- Detienne, K. B., & Joshi, S. A. (2003, 4 1). *Neural Networks as Statistical Tools for Business Researchers*. 4 16, 2019 tarihinde SAGE Journals: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428103251907> adresinden alındı
- Detienne, K., & Joshi, S. A. (2003, 4 1). *Neural Networks as Statistical Tools for Business Researchers*. 4 16, 2019 tarihinde SAGE Journals: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428103251907> adresinden alındı
- Dyckman, T. R., & Dale, M. (1986). *Efficient Capital Markets and Accounting: A Critical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dyhrberg, A. H. (2015, 1 7). *Hedging capabilities of bitcoin is it the virtual gold?* 4 13, 2019 tarihinde Econstor:Startseite: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/129339/1/837459923.pdf> adresinden alındı

ECB. (2017, 10 1). *Virtual Currency Schemes*. 3 30, 2019 tarihinde European Central Bank: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/ecb.mepletter170720_bermejo_viegas.en.pdf?058f01ea6d1274e17f44c32ab8 adresinden alındı

Ergezer, H., Dikmen, M., & Özdemir, E. (2003). Yapay Sinir Ağları Ve Tanıma Sistemleri. *Pivolka*, 14-17.

Eswara, M. (2017, 6). *Cryptocurrency Gyration and Bitcoin Volatility*. 4 13, 2019 tarihinde International Journal Of Business And Administration Research Review: <http://www.ijbarr.com/downloads/1908201732.pdf> adresinden alındı

etherscan.io. (2017, 8 1). *Ethereum Block Time History*. 4 7, 2019 tarihinde Ethereum Blockchain Explorer: <https://etherscan.io/chart/blocktime> adresinden alındı

Fama, E. F. (1970, 5). *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*. 4 14, 2019 tarihinde The Journal of Finance: <https://www.jstor.org/stable/2325486?Search=yes&resultItemClick=true&searchText=efficient&searchText=capital&searchText=markets%3A&searchText=a&searchText=review&searchUri=%2Faction%2FdoBasicSearch%3FQuery%3Defficient%2Bcap%25C4%25B1tal%2Bmarkets%253A%2Ba> adresinden alındı

Fama, E. F. (1976, 3). *Efficient Capital Markets: Reply*. 4 14, 2019 tarihinde The Journal of Finance: <https://www.jstor.org/journal/jfinance?refreqid=excelsior%3A4da46b28e2ba151cff247429c7b92f05> adresinden alındı

Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures Algorithms and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.

Festic, M., Kavkler, A., & Dajčman, S. (2012, 12 19). *Long Memory in the Croatian and Hungarian Stock Market Returns*. Search eLibrary:SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2261687 adresinden alındı

- Fink, C., & Johann, T. (2014, 11 2). *Bitcoin Markets*. 07 21, 2019 tarihinde Search eLibrary:SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2408396 adresinden alındı
- Geweke, J., & Hudak, S. P. (1983). *The Estimation and Application of Long Memory Time Series Model*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/230223081_The_Estimation_and_Application_of_Long_Memory_Time_Series_Model adresinden alındı
- Ginzburg, I., & Horn, D. (1994). *Combined Neural Networks for Time Series Analysis*. Neural Information Processing Systems Foundation: <https://papers.nips.cc/paper/824-combined-neural-networks-for-time-series-analysis.pdf> adresinden alındı
- Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M., & Siering, M. (2015, 5 22). *Bitcoin - Asset or Currency? Revealing Users' Hidden Intentions*. 4 13, 2019 tarihinde Search eLibrary:SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2425247 adresinden alındı
- Goh, W., Lim, C., & Peh, K.-K. (2003, 02). *Predicting drug dissolution profiles with an ensemble of boosted neural networks: A time series approach*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/5613994_Predicting_drug_dissolution_profiles_with_an_ensemble_of_boosted_neural_networks_A_time_series_approach adresinden alındı
- Granger, C. (1980, 4). *Long memory relationships and the aggregation of dynamic models*. 4 13, 2019 tarihinde CiteSeerX: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.452.8179&rep=rep1&type=pdf> adresinden alındı
- Granger, C. W., & Joyeux, R. (2010, 6). *An Introduction to Long-Memory Time Series Models and Fractional Differencing*. 4 13, 2019 tarihinde Cambridge University

Press: <https://www.cambridge.org/core/books/essays-in-econometrics/an-introduction-to-longmemory-time-series-models-and-fractional-differencing/7E89E39543539E26E2EC1F7AD4182D7E> adresinden alındı

Granger, C., & Poon, S.-H. (2005, 02). *Practical Issues in Forecasting Volatility*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/228290046_Practical_Issues_in_Forecasting_Volatility adresinden alındı

Greene, M., & Fielitz, B. (1977). Long-term dependence in common stock returns. *Journal of Financial Economic*, 339-349. 4 13, 2019 tarihinde Boston College: https://www.bc.edu/content/dam/files/schools/cas_sites/economics/pdf/working_papers/wp314.pdf adresinden alındı

Grossman, S., & Stiglitz, J. (1980, 12). *On the Impossibility of Informationally Efficient Markets*. 4 14, 2019 tarihinde Search eLibrary: SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=228054 adresinden alındı

Guo, Y., & Liang, C. (2016). *Blockchain Application and Outlook in The Banking Industry*. Xiamen: Xiamen University School of Economics.

Gupta, V. (2017, 2). *A Brief History of Blockchain*. 4 6, 2019 tarihinde Harvard Business Review: <https://hbr.org/2017/02/a-brief-history-of-blockchain> adresinden alındı

Gün, L. (2014, 1 10). *A New Form of Currency: Description and Economic Principle*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/314800078_A_New_Form_of_Currency_Description_and_Economic_Principle adresinden alındı

Günay, S. (2014). *Yapısal Kırılmalar Dahilinde BİST-100 Endeksi Volatilitesinin Uzun Dönemli Bellek Analizi*. 4 15, 2019 tarihinde DergiPark: <http://dergipark.gov.tr/jyasar/issue/19150/203328> adresinden alındı

- Günay, S. (2015). *International Journal of Economics and Financial Issues*. EconJournals: www.econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/1051 adresinden alındı
- Hann, T. H., & Steurer, E. (1996). *Much ado about nothing? Exchange rate forecasting: Neural networks vs. Linear models using monthly and weekly data*. 4 17, 2019 tarihinde Publikationsarchiv Hochschule Neu-Ulm: <https://publications.hs-neu-ulm.de/87/> adresinden alındı
- Harm, J., Obregon, J., & Stubbendick, J. (2016). *Ethereum vs. Bitcoin*. Omaha: Creighton University.
- Hassler, U., & Wolters, J. (1995, 1). *Long Memory in Inflation Rates: International Evidence*. 4 14, 2019 tarihinde Journal of Business & Economic Statistics: https://www.jstor.org/stable/1392519?seq=1#page_scan_tab_contents adresinden alındı
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hiemstra, C., & Jones, J. (1994, 12). *Testing for Linear and Nonlinear Granger Causality in the Stock Price- Volume Relation*. JSTOR: https://www.jstor.org/stable/2329266?seq=1#page_scan_tab_contents adresinden alındı
- Hong Kong Monetary Authority. (2016, 11 11). *Whitepaper On Distributed Ledger Technology*. 4 1, 2019 tarihinde Hong Kong Monetary Authority: https://www.hkma.gov.hk/media/eng/doc/key-functions/financial-infrastructure/Whitepaper_On_Distributed_Ledger_Technology.pdf adresinden alındı
- Hong Kong Monetary Authority. (2016, 11 11). *Whitepaper On Distributed Ledger Technology*. 4 1, 2019 tarihinde Hong Kong Monetary Authority:

https://www.hkma.gov.hk/media/eng/doc/key-functions/financial-infrastructure/Whitepaper_On_Distributed_Ledger_Technology.pdf adresinden alındı

Howell, M. (2003). *Investing on the Edge of Chaos*. New Jersey: John Wiley & Sons.

<https://coinmarketcap.com>. (2019, 3 30). *CoinMarketCap*. 3 30, 2019 tarihinde Cryptocurrency Market Capitalizations: <https://coinmarketcap.com> adresinden alındı

Huang, W., Keung, K., Nakamori, Y., Wang, S., & Yu, L. (2019, 7 12). *Neural Networks In Finance And Economics Forecasting*. World Scientific: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S021962200700237X> adresinden alındı

Hurst, H. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 770-808. 4 13, 2019 tarihinde Scientific Research Publishing: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2168921> adresinden alındı

Hürriyet Teknoloji. (2017, 12 3). *Ethereum nedir? Nasıl alınır?* 4 7, 2019 tarihinde Hürriyet: <http://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/ethereum-nedir-nasil-alinir-40666041> adresinden alındı

Hyperledger Whitepaper. (2018, 8). *An Introduction to Hyperledger*. 4 6, 2019 tarihinde Hyperledger-Oper Source Blockchain Technologies: https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/08/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf adresinden alındı

Iansiti, M., & Lakhani, K. (2017, 2). *The Truth About Blockchain*. 4 6, 2019 tarihinde Harward Business Review: <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain> adresinden alındı

Iwamura, M., Kitamura, Y., Matsumoto, T., & Saito, K. (2014, 11). *Can We Stabilize the Price of a Cryptocurrency?: Understanding the Design of Bitcoin and Its Potential to Compete with Central Bank Money*. 4 11, 2019 tarihinde Search eLibrary SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2519367 adresinden alındı

İzmir Protestan Kilisesi. (2009). *Yaratılış 41*. 07 21, 2019 tarihinde İncil: Hristiyan Kutsal Kitabı: <https://incil.info/kitap/gen/41> adresinden alındı

Jensen, M. C. (1978, 5 4). *Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency*. 4 14, 2019 tarihinde Search eLibrary: SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=244159 adresinden alındı

Juskalian, R. (2015). *A Weekend in Bitcoin City: Arnhem, the Netherlands*. 4 11, 2019 tarihinde Technology Review: <https://www.technologyreview.com/s/534011/a-weekend-in-bitcoin-city-arnhem-the-netherlands/> adresinden alındı

Kahyaoğlu, H., & Duygulu, A. (2005). Finansal Varlık Fiyatlarındaki Değişme-Parasal Büyüklükler Etkileşimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 63-85.

Kar, A. K., & Dey, S. (2014, 12 12). *Cryptography in the Banking Industry*. 3 30, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/269405090_Cryptography_in_the_Banking_Industry?channel=doi&linkId=548aa9990cf2d1800d7ab800&showFulltext=true adresinden alındı

Karan, B. (2001). *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Karan, B. (2001). *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Katsiampa, P. (2017, 6). *Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/317723547_Volatility_estimation_for_Bitcoin_A_comparison_of_GARCH_models adresinden alındı

Khashei, M., Hejazi, S., & Bijari, M. (2008, 04). *A new hybrid artificial neural networks and fuzzy regression model for time series forecasting*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/223928670_A_new_hybrid_artificial_neural_networks_and_fuzzy_regression_model_for_time_series_forecasting adresinden alındı

Koç, M., Balas, C. E., & Arslan, A. (2004). Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları İle Ön Tasarımı. *İMO Teknik Dergi*, 3351-3375.

Koçoğlu, Ş., Çevik, Y. E., & Tanrıöven, C. (2016, 2 8). *Bitcoin Piyasalarının Etkinliği, Likiditesi ve Oynaklığı*. 4 13, 2019 tarihinde İşletme Araştırmaları Dergisi: http://isarder.org/2016/vol.8_issue.2_article05_full_text.pdf adresinden alındı

Korkmaz, T., Cevik, E., & Özataç, N. (2009). *Testing for long memory in ISE using Arfima-figarch model and structural break test*. Munich Personal RePEc Archive: https://mpira.ub.uni-muenchen.de/71302/1/MPRA_paper_71302.pdf adresinden alındı

Kristoufek, L. (2013, 12 4). *BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era*. 4 13, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/259154514_BitCoin_meets_Google_Trends_and_Wikipedia_Quantifying_the_relationship_between_phenomena_of_the_Internet_era adresinden alındı

Kristoufek, L. (2015, 4 15). *Bitcoin Price?* 4 13, 2019 tarihinde Public Library of Science:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0123923>
adresinden alındı

Kristoufek, L. (2015, 4 15). *What Are the Main Drivers of the Bitcoin Price? Evidence from Wavelet Coherence Analysis.* 4 13, 2019 tarihinde Public Library of Science:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0123923>
adresinden alındı

Kuan, C. M., & Liu, T. (1995, 12). *Forecasting Exchange Rates Using Feedforward and Recurrent Neural Networks.* 4 17, 2019 tarihinde Journal Storage:

<https://www.jstor.org/stable/2285052?Search=yes&resultItemClick=true&searchText=Forecasting&searchText=Exchange&searchText=Rates&searchText=Using&searchText=Feedforward&searchText=And&searchText=Recurrent&searchText=Neural&searchText=Networks&searchUri=%2> adresinden alındı

Küçükkocaoğlu, G., Benli Keskin, Y., & Küçüksözen, C. (2005). Finansal Bilgi Manipülasyonunun Tespitinde Yapay Sinir Ağı Modelinin Kullanımı. *İMKB Dergisi*, 1-23.

LeRoy, S. F. (1989, 12). *Efficient Capital Markets and Martingales.* 4 14, 2019 tarihinde Economics and Finance Research:

<https://ideas.repec.org/a/aea/jeclit/v27y1989i4p1583-1621.html> adresinden alındı

Lo, A. W. (1991, 9). *Long-term Memory in Stock Market Prices.* 4 13, 2019 tarihinde The National Bureau of Economic Research:

<https://www.nber.org/papers/w2984.pdf> adresinden alındı

- Luxhøj, J., Riis, J., & Stensballe, B. (1996). A hybrid econometric—neural network modeling approach for sales forecasting. *Production Economics*, 175-192.
- Madura, J. (1989). *Financial Markets and Institutions*. Saint Paul: West Publishing Co.
- Malhotra, A., & Maloo, M. (2014, 3 1). *itcoin – is it a Bubble? Evidence from Unit Root Tests*. 4 13, 2019 tarihinde Search eLibrary:SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2476378 adresinden alındı
- Mandelbrot, B. (1963, 10). *Chicago Journals*. The Variation Of Certain Speculative Prices: https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public_html/341Fa09/econ/Mandelbroit_VariationCertainSpeculativePrices.pdf adresinden alındı
- Mandelbrot, B. (1972, 7). *Statistical Methodology for Nonperiodic Cycles: From the Covariance To R/S Analysis*. 4 13, 2019 tarihinde The National Bureau of Economic Research: <https://www.nber.org/chapters/c9433.pdf> adresinden alındı
- Mandelbrot, B. B., & Hudson, R. L. (2006). *Finans Piyasalarında Saklı Düzen Risk, Çöküş ve Kazanca Fraktal Yaklaşımlar*. Ankara: Güncel Yayıncılık.
- Mandelbrot, B., & Wallis, J. (1968, 10). *Noah, Ioseph, and Operational Hydrology* . Hydrology: https://hydrology.agu.org/wp-content/uploads/sites/19/2016/09/Mandelbrot_et_al-1968-Water_Resources_Research.pdf adresinden alındı
- Mandelbrot, B., & Wallis, J. (1969). *Computer Experiments with Fractional Gaussian Noises: Part 2, Ranges and Spectra*. 4 13, 2019 tarihinde Yale University Department of Mathematics: https://users.math.yale.edu/~bbm3/web_pdfs/055computerExperimentsPart2.pdf adresinden alındı

- Markowitz, H. (1952, 03). *Portfolio Selection*. JSTOR: https://www.math.ust.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf adresinden alındı
- Medeiros , M., & Veiga , A. (2001, 09 17). *A Flexible Coefficient Smooth Transition Time Series Model*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/8002078_A_Flexible_Coefficient_Smooth_Transition_Time_Series_Model adresinden alındı
- METI. (2017, 4 12). *Information Economy Division Commerce and Information Policy Bureau*. 4 6, 2019 tarihinde Evaluation Forms for Blockchain-Based System: https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/0329_004a.pdf adresinden alındı
- Mills, D., Wang, K., Malone, B., Ravi, A., Marquardt, J., Chen, C., & Baird, M. (2016). *Distributed Ledger Technology in Payments*. 4 6, 2019 tarihinde Federal Reserve Board: <https://www.federalreserve.gov/econresdata/feds/2016/files/2016095pap.pdf> adresinden alındı
- Mills, T. C. (1999). *Econometric Modelling of Financial Time Series*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mobarek, A., & Keasey, K. (2000, 05). *Weak-form market efficiency of an emerging Market: Evidence from Dhaka Stock Market of Bangladesh*. CiteSeerX: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.2264&rep=rep1&type=pdf> adresinden alındı
- Moore, T., & Christin, N. (2013, 4 1-5). *Beware the Middleman: Empirical Analysis of Bitcoin-Exchange Risk*. 4 7, 2019 tarihinde Financial Cryptography and Data Security: <http://fc13.ifca.ai/proc/1-2.pdf> adresinden alındı

- Mullainathan, S., & Thaler, R. H. (2000, 1). *Behavioral Economics*. 4 14, 2019 tarihinde The National Bureau of Economic Research: <https://www.nber.org/papers/w7948> adresinden alındı
- Müller, C., & Hasic, D. (2016). *Blockchain : Technology and Applications*. Salzburg: University of Salzburg Department of Computer Sciences.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2-3. Bitcoin. adresinden alındı
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., Goldfeder, S., & Clark, J. (2016). *Bitcoin and Cryptocurrency Technologies*. New Jersey: Princeton University Press.
- Network Associates. (1999). *An Introduction to Cryptography*. 3 30, 2019 tarihinde Network Associates: <https://courses.cs.vt.edu/cs5204/fall08-kafura/Papers/Security/IntroToCryptography.pdf> adresinden alındı
- Newcomb, S. (1886, 8). *A Generalized Theory of the Combination of Observations so as to Obtain the Best Result*. 4 14, 2019 tarihinde Journal of Business & Economic Statistics: https://www.jstor.org/stable/2369392?seq=1#metadata_info_tab_contents adresinden alındı
- Özdemir, A., Vergili, G., & Çelik, İ. (2018). Döviz Piyasalarının Etkinliği Üzerinde Uzun Hafızanın Rolü: Türk Döviz Piyasasında Ampirik Bir Araştırma. *BDDK Dergisi*, 87-103.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

- Pai, P.-F., & Lin, C.-S. (2005). A hybrid ARIMA and support vector machines model in stock price forecasting. *Omega*, 497-505.
- Palmer, M. (1970, 08). *Money Supply, Portfolio Adjustments and Stock Prices*. JSTOR: https://www.jstor.org/stable/4470699?seq=1#page_scan_tab_contents
adresinden alındı
- Phillips, P. C., Shi, S., & Yu, J. (2011, 11). *Specification Sensitivity in Right-Tailed Unit Root Testing for Explosive Behaviour*. 4 13, 2019 tarihinde Singapore Management University: https://ink.library.smu.edu.sg/cgi/viewcontent.cgi?article=2317&context=soe_research adresinden alındı
- Pinna, A., & Ruttenberg, W. (2016, 4). *Distributed Ledger Technologies in Securities Post-Trading*. 4 11, 2019 tarihinde European Central Bank: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf> adresinden alındı
- Reilly, K., & Brown, K. C. (1997). *Investment Analysis and Portfolio Management*. Ontario: The Dreyden Press.
- Ritzberger, K., & Bester, H. (2001). *Strategic Pricing, Signalling and Costly Information Acquisition*. 4 15, 2019 tarihinde International Journal of Industrial Organization: <http://www.faqs.org/abstracts/publication/international-journal-of-industrial-organization-2001/> adresinden alındı
- Ron, D., & Shamir, A. (2014, 3 3-7). *How Did Dread Pirate Roberts Acquire and Protect His Bitcoin Wealth?* 4 7, 2019 tarihinde Financial Cryptography and Data Security: http://fc14.ifca.ai/bitcoin/papers/bitcoin14_submission_2.pdf
adresinden alındı
- Rotman, S. (2014, 2). *Bitcoin Versus Electronic Money*. 4 6, 2019 tarihinde The Consultative Group to Assist the Poor (CGAP) Publications:

<https://www.cgap.org/sites/default/files/Brief-Bitcoin-versus-Electronic-Money-Jan-2014.pdf> adresinden alındı

Sadique, S., & Silvapulle, P. (2001). *International Journal Of Finance And Economics*. Long Memory: <http://long-memory.com/returns/SadiqueSilvapulle2001.pdf> adresinden alındı

Saleem, K. (2014, 03). *Modeling Long Memory In The Russian Stock Market: Evidence From Major Sectoral Indices*. Journal of Applied Business Research: <https://clutejournals.com/index.php/JABR/article/view/8426/8444> adresinden alındı

Saman, M. (2003). Elektrik Devrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tanınması ve Kontrolü. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi*, 3.

Schneider, J., & Borra, P. (2015). *The Future of Finance*. Tel Aviv: Goldman Sachs Equity Research.

Sears, R. S., & Trennepohl, G. L. (1993). *Investment Management*. Ontario: The Dryden Press.

Sharpe, W. (1964, 09). *Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk*. Wiley Online Library: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x> adresinden alındı

Shiller, R. J. (2002, 1). *From Efficient Market Theory to Behavioral Finance*. 4 14, 2019 tarihinde Search eLibrary: SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=349660 adresinden alındı

Skjeltorp, J. (2000, 08 15). *Scaling in the Norwegian stock market*. ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437100002120> adresinden alındı

Spilotro, T. (2019, 03 27). *Bitcoin Price Fractal*. NEWSBTC: <https://www.newsbtc.com/2019/03/27/inverse-bitcoin-price-fractal-crypto/> adresinden alındı

Student, B. (1927). *Errors of Routine Analysis*. London: Oxford University Press.

Swan, M. (2015). *Blockchain Blueprint For A New Economy*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.

Şahin, E. E. (2018). *Kripto Para Bitcoin: ARIMA ve Yapay Sinir Ağları İle Fiyat Tahmini*. 4 13, 2019 tarihinde DergiPark: <http://fsecon.dergipark.gov.tr/download/article-file/480803> adresinden alındı

Şenol, D., & Özturan, M. (2008). Stock Price Direction Prediction Using Artificial Neural Network Approach: The Case of Turkey. *Journal of Artificial Intelligence*, 261-268.

Tang, Z., & Fishwick, P. (1993). *"Feedforward neural nets as models fo time series forecasting*. Hong Kong: ORSA Journal on Computing.

TCMB. (2014, 9). *Ödeme Sistemleri Türkiye'de Ödeme Sistemleri*. 4 6, 2019 tarihinde Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası: <http://tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/73289f67-d210-4f49-8902-6e14ecae055d/OdemeSistemleri.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORLDSPACE-73289f67-d210-4f49-8902-6e14ecae055d-m5lk6L-> adresinden alındı

The Guardian. (2016, 8 3). *Bitcoin worth \$78m stolen from Bitfinex exchange in Hong Kong*. 4 6, 2019 tarihinde The Guardian:

<https://www.theguardian.com/technology/2016/aug/03/bitcoin-stolen-bitfinex-exchange-hong-kong> adresinden alındı

TMSF, www.tmsf.org.tr. (2004). *Tmsf Mevduat*. 3 30, 2019 tarihinde TMSF: <https://tmsf.org.tr/tr/Tmsf/Mevduat/mevduat.sss> adresinden alındı

Tsaih, R., Hsu, Y., & Lai, C. (1998). Forecasting S&P 500 Stock Index Futures With a Hybrid AI System. *Decision Support Systems*, 161-174.

Tseng, F.-M., Yu, H.-C., & Tzeng, G.-H. (2002). Combining neural network model with seasonal time series ARIMA model. *Technological Forecasting and Social Change*, 71-87.

Weber, B. (2016, 9 8-9). *A typology of virtual currencies*. 4 7, 2019 tarihinde P2P Financial Systems: https://www.p2pfisy.com/wp-content/uploads/2017/04/paper_11-min.pdf adresinden alındı

Wedding, D., & Cios, K. (1996). Time series forecasting by combining RBF networks, certainty factors, and the Box–Jenkins model. *Neurocomputing*, 149-168.

WEF. (2015, 9 1). *Deep Shift: Technology Tipping Points and Societal*. 3 30, 2019 tarihinde WEF Survey Report: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf adresinden alındı

WEF. (2015, 9 9). *Deep Shift: Technology Tipping Points and Societal Impact*. 4 1, 2019 tarihinde The World Economic Forum: <http://reports.weforum.org/deep-shift-technology-tipping-points-and-societal-impact-info/> adresinden alındı

Weigend, A., Huberman, B., & Rumelhart, D. (1992, 38). *Predicting sunspots and exchange rates with connectionist networks*. 4 17, 2019 tarihinde CERN Document Server: <http://cds.cern.ch/record/245460> adresinden alındı

- Williams, B. (1995). *Trading Chaos*. New Jersey: John Wiley&Sons.
- Williams, G. P. (1997). *Chaos Theory Tamed*. Washington: Joseph Henry Press.
- Willinger, W., Taqqu, M. S., & Teverovsky, V. (1999, 1 13). *Stock market prices and long-range dependence*. 4 13, 2019 tarihinde Springer: <http://www.long-memory.com/returns/WillingerTaqquTeverovsky1999.pdf> adresinden alındı
- Woo, W. (2019, 09 29). *Bitcoin fraktal tanımlaması*. Coinex Blog: <http://blog.coinex.com.tr/bu-fraktal-tamamlanirsa-bitcoinin-hareketi-buyuk-olabilir/> adresinden alındı
- Wood, G. (2014). *Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger*. 4 7, 2019 tarihinde Ethereum Yellow Paper: <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf> adresinden alındı
- Wu, B. (1995). *Model-free forecasting for nonlinear time series (with application to exchange rates)*. 4 17, 2019 tarihinde CIS-Current Index to Statistics: <https://www.statindex.org/articles/125029> adresinden alındı
- Yakupoğlu, C. (2016). *A comparative study of bitcoin and alternative cryptocurrencies*. Ankara: Yıldırım Beyazıt Üniversitesi FBE.
- Yalçın, K. (2012). *Uluslararası Finansman*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Yeloğlu, Ö., & Uğur, A. (2004). *Modern Programlama Platformlarında Yapay Sinir Ağı Yazılımlarının Gelistirilmesi*. Denizli: Pamukkale Üniversitesi.
- Yermack, D. (2013, 12). *Is Bitcoin a Real Currency? An economic appraisal*. 4 13, 2019 tarihinde The National Bureau of Economic Research: <https://www.nber.org/papers/w19747> adresinden alındı

Yıldız, B. (2001). Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Yapay Sinir Ağı Kullanımı ve Halka Açık Sirketlerde Ampirik Bir Uygulama. *İMKB Dergisi*, 52-67.

Yumlu, M., Gürgen, F., & Okay, N. (2005, 1 1). *A comparison of global, recurrent and smoothed-piecewise neural models for Istanbul Stock Exchange (ISE) prediction*. 4 17, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/223551978_A_comparison_of_global_recurrent_and_smoothed-piecewise_neural_models_for_Istanbul_Stock_Exchange_ISE_prediction adresinden alındı

Zhang, G. (2003). *Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model*. CiteSeerX: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.462.3756&rep=rep1&type=pdf> adresinden alındı

Zhang, G., & Hu, M. Y. (1998, 8 24). *Neural Network Forecasting of the British Pound/US Dollar Exchange Rate*. 4 16, 2019 tarihinde ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048398000036?via%3Dihub> adresinden alındı

Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998, 3). *Forecasting With Artificial Neural Networks: The State of the Art*. 4 17, 2019 tarihinde ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/222489987_Forecasting_With_Artificial_Neural_Networks_The_State_of_the_Art adresinden alındı

Zivot, E., & Wang, J. (2003). *Modeling-Financial-Time-S-PLUS*. New York: Springer Science & Business Media.

Zurada, J. (1992). *Introduction to Artificial Neural Systems*. Minesota: West Publishing Company.

