



## KRİPTO PARALARIN VOLATİLİTE DİNAMİKLERİNİN İNCELENMESİ: GARCH MODELLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Doç. Dr. H. Murat ERTUĞRUL 

### ÖZET

*Çalışmada 2008 yılındaki Küresel Finansal Krizden sonra ortaya çıkan ancak halen tam olarak para muamelesi görmeyen temel kripto paralar olan Bitcoin ve Ripple'in getiri oranlarının volatilité özellikleri modellenmiştir. Uygulamalı analizde Bitcoin ve Ripple getiri oranları için geleneksel ARCH ve GARCH modelleri yanında asimetriyi de dikkate alan EGARCH ve TGARCH modelleri de tahmin edilmiştir. Alternatif modellerin öngörü performanslarına göre yapılan karşılaştırmada en başarılı olan model olarak asimetriyi dikkate alan TGARCH modeli bulunmuştur. Ayrıca en başarılı modelden elde edilen koşullu varyanslar incelendiğinde volatilitenin yükseldiği dönemlerin kripto paraların fiyatlarında büyük oynaklıkların olduğu dönemlerle örtüştüğü gözlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Kripto Paralar, Volatilité Modellemesi, ARCH/GARCH Modelleri.

**JEL Codes:** C01, C13, C51, E42.

## INVESTIGATION OF VOLATILITY DYNAMICS OF CRYPTOCURRENCIES: AN APPLICATION ON GARCH MODELS

### ABSTRACT

*In this study, the volatility characteristics of the return rates of Bitcoin and Ripple, which emerged after the 2008 global financial crisis and are not yet fully accepted as currency, are modeled. In the empirical modeling, we employed both traditional ARCH/GARCH models and EGARCH-TGARCH models which take asymmetry into consideration. We compare alternative models according to their forecast performance and asymmetric TGARCH model is found as the most successful model according to forecast performance criteria. Also, when we examine conditional variance obtained from the most successful model, we observe that higher volatility periods overlap with the periods of high price movements of the analyzed crypto currencies.*

**Key Words:** Crypto Currencies, Volatility Modeling, ARCH/GARCH Models.

**JEL Codes:** C01, C13, C51, E42.

\* Hazine ve Maliye Bakanlığı, Ankara/Türkiye e-mail: [murat.ertugrul@hmb.gov.tr](mailto:murat.ertugrul@hmb.gov.tr)

#### **Makale Geçmiři/Article History**

Başvuru Tarihi / Date of Application : 18 Nisan / April 2019

Düzeltilme Tarihi / Revision Date : 21 Temmuz / July 2019

Kabul Tarihi / Acceptance Date : 30 Aralık / December 2019

## 1. GİRİŞ

Özellikle 2008 yılındaki Küresel Finansal Krizden sonra yeni bir parasal düzen arayışının bir sonucu ortaya çıkan kripto para fikri, günümüzün para sisteminin yerini almak üzere geliştirilmiş en güçlü adaylar arasında yer almaktadır. Nakamoto (2008) makalesinde küresel finansal krizin etkilerini görmüş ve bundan öngörülemeyen para politikalarını ve yıkıcı etkiler taşıyan bankacılık sistemi sorumlu tutmuştur. Yazara göre iki taraf arasında elektronik bir ödeme işleminin gerçekleşebilmesi ancak üçüncü bir tarafın güvencesiyle olmakta ve bu güven ihtiyacı, güvenceyi sağlayan bankalar tarafından suiistimal edilmektedir. Bu çerçevede, Bitcoin ve sonrasında ortaya çıkan tüm kripto paralar, üçüncü tarafa güven ihtiyacını ortadan kaldırarak güvene ihtiyaç duymayan (trustless) bir sistem kurma çabasının sonucu ortaya çıkmıştır.

Ancak son dönemde kripto paralara ilişkin düzenleme yapılmasına ilişkin gelişmiş ülkeler ve ülke grupları tarafından önlemler alınması önerilmektedir. Fakat ilgili literatürde henüz kripto para birimlerinin düzenlenmesi gerekip gerekmediği ve olası bir düzenleyici çerçevenin kapsamının ne olması gerektiği konusunda bir fikir birliğine ulaşılmamıştır (Gebeşoğlu ve Ayhan, 2019).

Nakamoto (2008) makalesi üzerinden tam 10 sene geçmiştir. Ağustos 2018 itibariyle, %43'ü Bitcoin hakimiyetinde olan kripto para piyasası, 250 milyar doları aşmış ve 11.736 ayrı borsada toplam 1.633 adet kripto para işlem görmektedir (Coinmarketcap). Ancak bu kripto paralar halen günlük hayatta kullandığımız şekliyle para muamelesi görmemekte ve daha ziyade bir yatırım aracı, finansal varlık olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada kısa dönemde bu kadar büyük bir piyasa hacmine sahip olan ve para yerine kabul edilmesi tartışılan temel kripto paraların volatilité özellikleri analiz edilmeye çalışılacaktır. Volatilité, bir menkul kıymetin fiyatının ve piyasanın genelinin kısa bir zaman aralığı içerisinde gösterdiği dalgalanma özelliği olarak tanımlanmaktadır (İMKB Borsa Terimleri Sözlüğü). Volatilitenin özellikle finansal piyasalarda doğru modellenmesi ve tahmin edilmesi 2 temel sebebe dayanarak hem akademide hem de uygulamada önemle üzerinde durulan bir konu olmaktadır. Bu sebeplerden birincisi bir varlığın riskinin, varlığın fiyatının tespitinde önemli bir etken olması ve volatilitenin de riskin göstergesi olarak kullanılması, diğeri ise koşullu ortalamanın etkin ekonometrik çıkarımlar yapılması için koşullu varyansın doğru tanımlanmasına olan gerekliliktir (Ertuğrul, 2012).

Mandelbrot (1963) çalışmasında, finansal piyasalardaki büyük değişimleri büyük, küçük değişimleri yine küçük değişimlerin takip ettiğini özetle finansal piyasalarda oynaklık kümelenmelerinin olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmayla finansal verilerin statik olmayıp zaman içerisinde değişebilme yani dinamik olma özellikleri ön plana çıkmıştır. Böylece değişen varyans yapısına izin veren modelleme teknikleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada temel kripto paraların volatilité özellikleri geleneksel ve asimetriyi dikkate alan ARCH/GARCH tipi modeller kullanılarak analiz edilecek, modeller öngörü performanslarına göre

karşılaştırılarak volatilité modellemesinde en başarılı modelin hangisi olduğu belirlenmeye çalışılacaktır. Böylece yatırım aracı olarak kullanılan ve para olarak da kullanılabilirliği tartışılan kripto paraların risklilikleri üzerine yorum yapılabilme şansı elde edilecek olup ve kripto paraların fiyatlardaki geçişkenliğini inceleyecek çalışmalar için yön göstermeye çalışılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılacaktır.

Çalışmanın 2. bölümünde literatür incelenecek, 3. bölümde kullanılan veri ve yöntem tanıtılacak, 4. bölümde ise çalışmanın bulguları sunulacaktır. Sonuç bölümünde genel bir değerlendirme yapılmaya çalışılacaktır.

## **2. LİTERATÜR İNCELEMESİ**

Literatürde son dönemde kripto paraların özellikle Bitcoin'in volatilité özelliklerini inceleyen çalışmalarda artış görülmektedir. Bitcoin volatilitésini inceleyen ilk çalışmalardan olan Glaser vd. (2014) ve Gronwald (2014) çalışmalarında Bitcoin volatilitésini geleneksel GARCH tipi modellerle analiz edilmiştir. Glaser vd. (2014) çalışmasında Bitcoin volatilitésini GARCH (1,1) modeli kullanılarak, Gronwald (2014) çalışmasında ise otoregresif atlamalı GARCH modeli yardımıyla incelenmiştir.

Bitcoin volatilitésini asimetrik ARCH/GARCH tipi modellerle inceleyen çalışmalar olarak; Dyhyberg (2016a) ve Bouri vd (2017) çalışmalarında Bitcoin volatilitésini asimetrik GARCH modeli kullanarak analiz edilmiştir. Dyhyberg (2016b) makalesinde ise Bitcoin volatilitésini yine asimetriyi dikkate alan EGARCH modeli kullanılarak modellenmiştir. Buraya kadar incelenen çalışmalarda Bitcoin volatilitésini tek bir model kullanılarak bulunmuş ve modeller arasında bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Bouoiyour ve Selmi (2016) makalesinde Bitcoin fiyat dinamikleri ve volatilitésini iki farklı alt dönem için çeşitli GARCH yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada karşılaştırmalarda ARCH, GARCH, GARCH-M, TGARCH, EGARCH, I-GARCH (Integrated GARCH), CMT GARCH (çoklu eřik GARCH), PGARCH (Power GARCH), AP GARCH (Asymmetric Power GARCH) modelleri kullanılmıştır. Aralık 2010- Aralık 2014 yıllarını kapsayan ilk dönem için CMT GARCH modeli, Ocak 2015 ve Temmuz 2016 dönemini kapsayan 2. Dönem için ise AP GARCH modelleri en başarılı modeller olarak bulunmuştur. Ancak modeller karşılaştırılırken öngörü performans kriterlerine göre değil, AIC (Akaike Information Criterion) ve SIC (Schwarz Information Criterion) gibi bilgi kriterlerine göre bir karşılaştırma yapılmıştır.

Katsiampa (2017) makalesinde ise Bitcoin volatilitésini GARCH, EGARCH, TGARCH, AP GARCH, C- GARCH (Component GARCH) ve AC GARCH (Asimetrik Component GARCH) modelleri kullanılarak modellenmiş ve yine en iyi model AIC, SIC ve HQ bilgi kriterlerine göre CGARCH modeli en başarılı model olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada da Bouoiyour ve Selmi (2016) çalışmasındaki gibi model karşılaştırmada öngörü performans kriterleri yerine bilgi kriterlerine göre bir karşılaştırma yapılmıştır.

Bu çalışmada Bitcoin yanında bir diğer önemli kripto para olan Ripple'in da volatilité dinamikleri analiz edilmeye çalışılmış ve alternatif modeller öngörü performans kriterlerine göre karşılaştırılarak en başarılı modeller tespit edilerek literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

### 3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Çalışmada Bitcoin ve Ripple'in gün sonu değerleri kullanılmış olup tüm veriler Bloomberg veri terminalinden sağlanmıştır. Durağanlık sıkıntılarında kurtulmak için kripto paraların düzey fiyatları ile değil getiri oranları ile çalışılmıştır.

Veriler ulaşılabilen en uzun örneklem için elde edilmeye çalışılmıştır. Örneklem günlük verilerden oluşmakta olup, Bitcoin için örneklem dönemi 19/7/2010- 11/12/2018, Ripple için örneklem dönemi ise 8/2/2018-11/12/2018 tarihlerini kapsamaktadır. Aşağıda Tablo 1'de Bitcoin ve Ripple getiri oranlarının tanımlayıcı istatistikleri sunulmaktadır.

**Tablo 1: Kripto Paraların Getiri Oranlarının Tanımlayıcı İstatistikleri**

	<b>Bitcoin Getiri Oranı</b>	<b>Ripple Getiri Oranı</b>
Ortalama	0.007	-0.002
Maksimum	0.677	0.309
Minimum	-0.452	-0.145
Standart Sapma	0.068	0.067
Eğiklik	1.192	1.117
Basıklık	17.770	6.087
Jarque Bera Testi	2043.630 [0.000]	131,993[0,000]
Gözlem Sayısı	2191	218

Ortalama günlük getiri oranı Bitcoin için pozitif ve %0,7 ve Ripple için ise negatif ve %0,2'dir. Maksimum ve minimum değerler büyük bir aralıkta dalgalanmaktadır ve standart sapma değerleri yüksektir. Bu bulgular kripto paraların getiri oranlarında büyük dalgalanmalar olduğunu göstermektedir. Ayrıca Jarque Bera testine göre normal dağılımın geçerli olmadığı görülmektedir. Ayrıca yüksek basıklık değerleri kripto paraların getirilerinin dağılımında kalın kuyruk olabileceğini göstermektedir.

Uygulamalı analizde ilk önce üç kripto paranın getiri oranlarının durağanlıkları analiz edilmiştir. Durağanlık analizi için geleneksel durağanlık testleri içinde daha güçlü olan Ng-Peron (2001) testi (Ertuğrul ve Soytaş, 2003) ve yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot Andrews (1992) durağanlık testleri kullanılmıştır.

Serilerin durağanlık özellikleri tespit edildikten sonra, ortalama denklemini bulmak için Box Jenkins yöntemi ile alternatif ARMA yapıları incelenmiş ve seri için en uygun ARMA yapısı belirlenmiştir. Belirlenen ARMA yapısında ARCH etkisi olduğu ARCH LM testi ile test edilmiştir.

Koşullu değişen varyans kavramı literatürde ilk defa Engle (1982) tarafından kullanılmıştır. Engle (1982) koşullu varyansı hata terimlerinin geçmiş değerlerinin fonksiyonu olarak bir modellemiştir. Engle (1982) de otoregresif koşullu değişen varyans modelini aşağıdaki gibi tanımlamıştır;

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{h_t}$$

$$h_t = a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (1)$$

(1) numaralı denklemde  $v_t$  beyaz gürültü sürecine sahip olup  $\varepsilon_t$  'den bağımsızdır ve  $Var(v_t) = 1$  olmaktadır. Ayrıca  $a_0$  ve  $a_1$  değişkenleri sabit olup;  $a_0 > 0$  ve  $0 < a_1 < 1$  'dir.

Engle (1982) tarafından önerilen ARCH modelinin en büyük sorunlarından biri çok fazla sayıda hata terimi gecikmesinin istatistiksel olarak anlamlı çıkması yani yüksek “p” parametresi tahminine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu sorunu çözmek için Bollerslev (1986) tarafından Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH) modeli önerilmiştir. GARCH modelinde koşullu varyans otoregresif ve hareketli ortalama terimlerini içeren bir ARMA(p,q) süreci olacak tanımlanmıştır (Ertuğrul, 2012).

GARCH süreci aşağıda denklem (2) gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \varepsilon_t / \psi_{t-1} &\sim N(0, h_t) \\ \varepsilon_t &= y_t - x_t \beta \\ \varepsilon_t &= v_t \sqrt{h_t}, \quad \sigma_v^2 = 1 \\ h_t &= a_0 + \sum_{i=1}^q a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} \end{aligned} \quad (2)$$

(2) numaralı denklemde  $\varepsilon_t$ , kesikli zamanlı ve reel değerli stokastik bir süreç,  $\psi_t$  ise t anındaki tüm bilgileri içeren bilgi kümesi,  $y_t$  bağımlı,  $x_t$  ise açıklayıcı değişkenler vektörü,  $\beta$  ise bilinmeyen parametreler vektörünü göstermektedir (Bollerslev, 1986). (2) numaralı denklemde görüleceği gibi koşullu varyans hem hata terimlerinin karesine hem de kendi geçmişine bağlıdır.

Geleneksel ARCH/GARCH modellerinde şokun sadece büyüklüğü önemli olup işareti göz ardı edilmektedir. Yani koşullu varyansın pozitif ve negatif şoklara karşı tepkisinin simetrik olduğu varsayılmaktadır. Ancak finansal piyasalarda negatif şokların, pozitif şoklara oranla volatiliteyi daha fazla artırdığı kabul edilen bir gerçektir. Bu sebeple volatilite modellemesinde asimetriyi dikkate alan volatilite modelleri geliştirilmiştir.

Nelson (1991) tarafından önerilen EGARCH modelinde koşullu varyans logaritmik olarak tanımlanarak negatif değerler alması engellenmiştir. Böylece katsayılar negatif değer alabilmektedir. Nelson (1991) tarafından önerilen EGARCH modeli aşağıda (3) numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\ln(h_t) = a_0 + a_1 \left( \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}} \right) + \gamma_1 \left| \left( \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}} \right) \right| + \beta_1 \ln(h_{t-1}) \quad (3)$$

Yukardaki EGARCH modelinde asimetri göz önüne alınmaktadır. Asimetri katsayısının negatif olması asimetri olduğunu göstermektedir. Eğer  $(\varepsilon_{t-1} / h_{t-1}^{0.5})$  pozitifse, bu pozitif şokun, koşullu varyansın logaritması üzerindeki etkisi  $(a_1 + \gamma_1)$  kadardır.  $(\varepsilon_{t-1} / h_{t-1}^{0.5})$  değeri negatif ise, şokun koşullu varyansın logaritması üzerindeki etkisi  $(-a_1 + \gamma_1)$  kadardır (Enders, 2004).

Asimetrinin volatilité üzerindeki etkisini inceleyen bir diğér model Glosten, Jagannathan ve Runkle (1993) tarafından önerilen TGARCH modelidir. EGARCH modeli, koşullu varyansın logaritması kullanıldığı için gösterim olarak standart GARCH gösteriminden farklılaşmaktadır. Glosten, Jagannathan ve Runkle (1993) standart GARCH yapısıyla asimetriyi modellemek amacıyla TGARCH modelini önermişlerdir. TGARCH model spesifikasyonu aşağıda (4) numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$h_t = a_0 + \sum_{i=1}^q a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \gamma \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1} + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j}$$

$$I_{t-1} = \begin{cases} 1, \varepsilon_{t-1} < 0 \\ 0, \varepsilon_{t-1} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

(4) numaralı denklemde yer alan TGARCH modelinin standart GARCH gösteriminden farkı, standart GARCH modelinde bulunmayan  $\gamma \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1}$  terimidir.  $I(\cdot)$  fonksiyonu asimetriyi modellemeye yardımcı olacak bir gösterge fonksiyonudur. Asimetri ( $\gamma$ ) parametresinin pozitif olması asimetrinin olduğunu göstermektedir.

Çalışmada, ortalama denklemi belirlendikten sonra geleneksel GARCH modelleri olan ARCH ve GARCH modelleri ve asimetriyi dikkate alan ARCH modelleri olan TGARCH ve EGARCH modelleri kullanılarak tahmin edilmiş ve tahmin edilen alternatif modeller öngörü performans kriterlerine göre karşılaştırılarak en başarılı model tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### 4) MODEL BULGULARI

Uygulamalı analizde ilk önce kullanılan kripto paralar olan Bitcoin ve Ripple'in getiri oranlarının durağanlık özellikleri incelenmiştir. Durağanlık analizi için geleneksel testlerden daha güçlü olan Ng-Perron testi ve yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot Andrews (1992) testi kullanılmıştır. Durağanlık test sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır.

**Tablo 2: Durağanlık Testi Sonuçları**

Ng-Perron Testi Sonuçları					
	$MZ_a$	$MZ_t$	MSB	MPT	
R_BITCOIN	-390.43*	-13.97*	0.03*	0.07*	
R_RIPPLE	-18.59*	-3.01*	0.16*	1.44*	
R_BITCOIN ve R_RIPPLE serileri için Ng-Perron kritik değerleri; %1 anlamlılık düzeyinde $MZ_a$ , $MZ_t$ , MSB, MPT için sırasıyla; -13.80, -2.58, 0.17 ve 1.78; %5 anlamlılık düzeyinde ise -8.1, -1.98, 0.23 ve 3.17'dir. * %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.					
Zivot-Andrews (1992) Testi					
	Model A	Model C		Model A	Model C
R_BITCOIN	-19.53*	-19.54*	R_RIPPLE	-13.53*	-13.89*
R_BITCOIN için kritik değerler; Model A için %1 -5.34, Model C için -5.57 * %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir			R_RIPPLE için kritik değerler; Model A için %1 -5.34, Model C için -5.57		

Ng-Perron(2001) testinde  $MZ_a$  ve  $MZ_t$  testlerinde temel hipotez birim kök, MSB ve MPT testlerinde temel hipotez durağanlık biçiminde kurulmaktadır. Tablo 2'den görülebileceği gibi  $MZ_a$  ve  $MZ_t$  testlerine göre birim kök temel hipotezi her iki kripto paranın getiri oranı için reddedilirken, MSB ve MPT testlerine göre durağanlık temel hipotezi her iki kripto paranın getiri oranları için reddedilememektedir. Yani Ng-Perron testine göre kripto paraların getiri oranları durağandır yani I (0)'dır. Yine Zivot Andrews (1992) testinde temel hipotez birim kök biçiminde kurulmaktadır. Tablo 2'den izlenebileceği gibi her iki kripto para için hem A hem de C modellerine göre hesaplanan değerler tablo kritik değerlerden mutlak olarak yüksek bulunmuş yani birim kök temel hipotezleri reddedilmiştir. Yani Zivot Andrews (1992) testine göre incelenen kripto paraların getiri oranlarının durağan yani I (0) olduğu bulunmuştur.

Serilerin durağanlıkları analiz edildikten sonra Bitcoin ve Ripple değişkenleri için ortalama denklemleri tahmin edilmiştir. Bitcoin getiri oranı için ortalama denklemi olarak ARMA (3,4), Ripple getiri oranı için ise ortalama denklemi olarak ARMA (1,1) modelleri bulunmuştur.<sup>1</sup> Bitcoin getiri oranı için tahmin edilen volatilité modelleri Tablo 3'te Ripple getiri oranı için tahmin edilen volatilité modelleri Tablo 4'te sunulmaktadır. Asimetri modellerinde asimetri katsayıları TGARCH modeli için beklentiler dahilinde pozitif ve EGARCH modelinde ise beklentiler dahilinde negatif çıkmıştır.

<sup>1</sup> Bitcoin ve Ripple'in getiri oranlarının ortalama denklemleri bulmak için Box-Jenkins yöntemi izlenmiştir. Önce korelagram incelenerek alternatif modeller belirlenip tahmin edilmiş, ardından alternatif modeller otokorelasyon ve değişen varyans açısından incelenmiş ve otokorelasyon içeren modeller elenmiştir. Kalan modellerden AIC ve SIC bilgi kriteri değerleri en küçük olan (ve tabii ki ARCH etkisi içeren) model ortalama denklemi olarak kabul edilmiştir. Yer tasarrufu sağlamak için sonuçlar paylaşılmamış olup yazardan talep edilebilir.

**Tablo 3: Bitcoin Getiri Oranı İçin Volatilité Modelleri Tahmin Sonuçları**

Değişken	ARCH (2)	GARCH (2,1)	TGARCH (2,1)	EGARCH (2,1) Bağımlı: $\ln(h_t)$
Ortalama Denklemi				
Sabit	0.002*	0.002*	0.004*	0005*
AR (3)	-0.004*	-0.004	0.003	0.006*
MA (4)	0.063*	0.032***	0.036***	0.035***
Varyans Denklemi				
Sabit	0.002*	0.002*	0.002*	-0.275*
$\varepsilon_{t-1}^2$	0.629*	0.235*	0.260*	
$\varepsilon_{t-2}^2$	0.226*	-0.126*	-0.140*	
$h_{t-1}$		0.696*	0.707*	
$I_{t-1}$			0.054*	
$\left(\frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0,5}}\right)$				-0.042*
$\left(\left \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0,5}}\right \right)$				0.407*
$\left(\left \frac{\varepsilon_{t-2}}{h_{t-1}^{0,5}}\right \right)$				-0.197*
$\ln(h_{t-1})$				0.777*
AIC	-2.922	-3.126	-3.134	-3.134
SIC	-2.906	-3.108	-3.114	-3.113

\* %1 anlamlılık düzeyi, \*\* %5 anlamlılık düzeyi \*\*\* %10 anlamlılık düzeyi

**Tablo 4: Ripple Getiri Oranı İçin Volatilité Modelleri Tahmin Sonuçları**

Değişken	ARCH (1)	GARCH (1,1)	TGARCH (1,1)	EGARCH (1,1) Bağımlı: $\ln(h_t)$
Ortalama Denklemi				
Sabit	-0.004	-0.008	-0.006	-0.006
AR (3)	0.634**	0.563***	0.632***	0.684**
MA (4)	-0.549***	-0.499	-0.582	-0.652
Varyans Denklemi				
Sabit	0.003*	0.001***	0.001**	-0.663**
$\varepsilon_{t-1}^2$	0.194*	0.131**	0.182**	
$\varepsilon_{t-2}^2$				
$h_{t-1}$		0.560*	0.524*	
$I_{t-1}$			0.175**	
$\left(\frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0,5}}\right)$				-0.111**
$\left(\left \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0,5}}\right \right)$				0.205**
$\left(\left \frac{\varepsilon_{t-2}}{h_{t-1}^{0,5}}\right \right)$				
$\ln(h_{t-1})$				0.728*
AIC	-2.594	-2.635	-2.638	-2.627
SIC	-2.516	-2.542	-2.529	-2.518

\* %1 anlamlılık düzeyi, \*\* %5 anlamlılık düzeyi \*\*\* %10 anlamlılık düzeyi



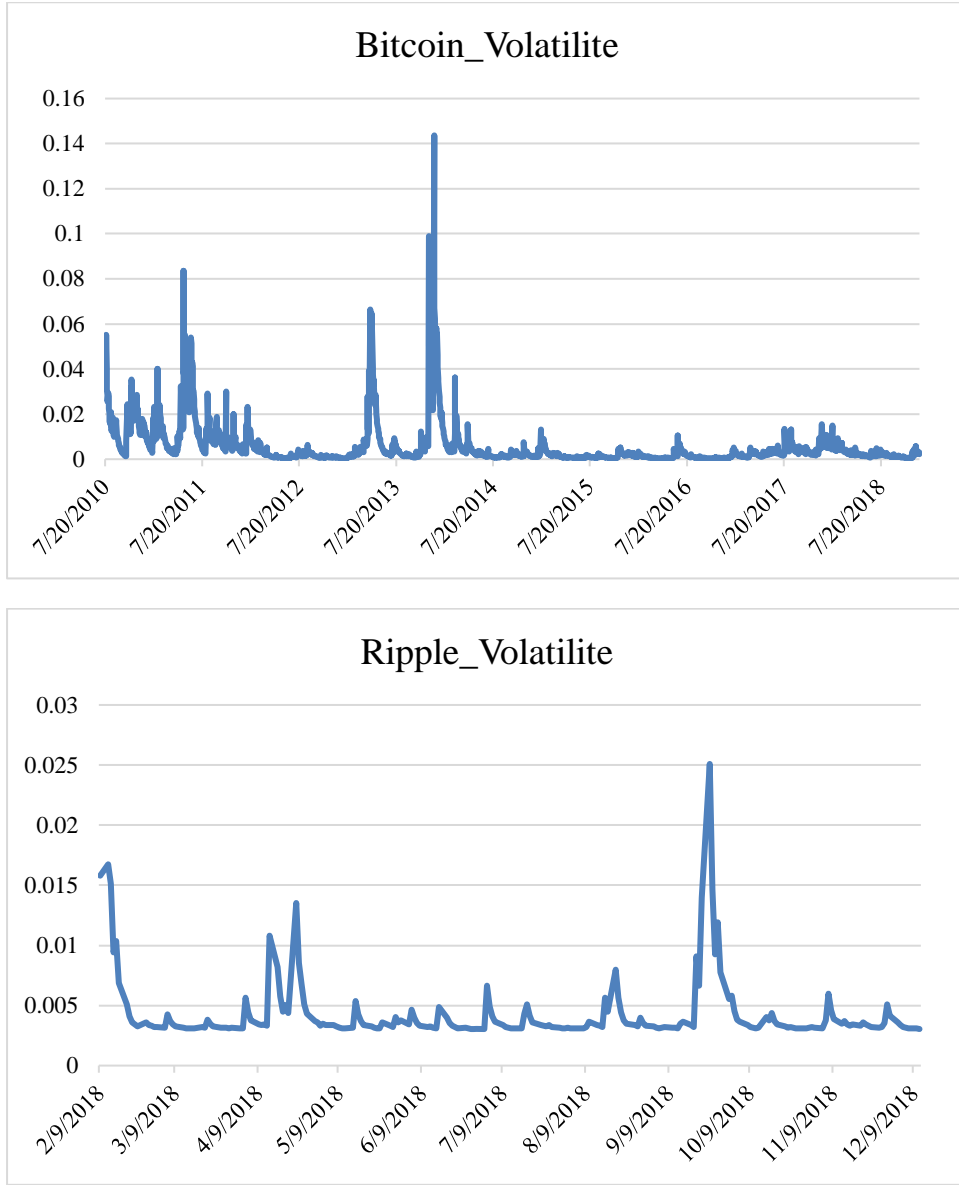
Tahmin edilen modellerin öngörü performanslarını karşılaştırmak ve alternatif volatilité modellerinden en başarılı olan modeli belirlemek amacıyla literatürde kullanılan kayıp fonksiyonları (loss functions) olan ortalama hata kare kökü (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve Theil Eşitsizlik Katsayısı kriterleri kullanılmıştır. Söz konusu kriterler 1, 7 ve 30 dönem (gün) sonrası için Tablo 5’de karşılaştırılmıştır. Söz konusu kriterlerin en küçük olduğu model en başarılı model olarak kabul edilmektedir.

**Tablo 5. Volatilité Modelleri Öngörü Performansları**

Bitcoin												
Kriter	ARCH (2)			GARCH (2,1)			TGARCH (2,1)			EGARCH (2,1)		
	1	7	30	1	7	30	1	7	30	1	7	30
RMSE	0.015	0.033	0.054	0.014	0.033	0.055	<b>0.014</b>	<b>0.032</b>	<b>0.054</b>	0.016	0.035	0.055
MAE	0.012	0.027	0.035	0.010	0.026	0.035	<b>0.010</b>	<b>0.025</b>	<b>0.034</b>	0.012	0.028	0.036
MAPE	93.950	83.56	100.1	62.35	82.52	99.95	<b>56.65</b>	<b>82.43</b>	<b>98.49</b>	78.91	97.97	112.9
Theil	0.829	0.953	0.967	0.902	0.951	0.970	<b>0.826</b>	<b>0.944</b>	<b>0.961</b>	0.886	0.945	0.962
Ripple												
Kriter	ARCH (1)			GARCH (1,1)			TGARCH (1,1)			EGARCH (1,1)		
	1	7	30	1	7	30	1	7	30	1	7	30
RMSE	0.009	0.030	0.056	0.009	0.028	0.055	<b>0.007</b>	<b>0.028</b>	<b>0.054</b>	0.011	0.029	0.055
MAE	0.008	0.025	0.043	0.009	0.024	0.042	<b>0.008</b>	<b>0.024</b>	<b>0.042</b>	0.009	0.025	0.042
MAPE	101.57	97.92	100.8	109.78	108.80	106.9	<b>80.33</b>	<b>97.16</b>	<b>100.1</b>	86.24	99.85	102.7
Theil	0.330	0.766	0.935	0.332	0.695	0.884	<b>0.316</b>	<b>0.660</b>	<b>0.815</b>	0.435	0.756	0.907

Tablo 5’ten görülebileceği gibi hem Bitcoin hem de Ripple’ın getirileri için incelenen 4 kayıp fonksiyonuna göre de gerek 1, gerek 7 gerekse 30 dönem sonrası için öngörü performansı açısından en başarılı model TGARCH modelidir. Asimetriyi dikkate alan model olan TGARCH modelinin volatilité dinamiklerini daha başarılı bir şekilde yakalaması literatürdeki bulgular ile de uyumludur. Çalışmada en iyi tahmin modeli olarak bulunan TGARCH modelinden elde edilen koşullu varyans (volatilité) serileri Grafik 1’de sunulmaktadır.

**Grafik 1: TGARCH Modellerinden Elde Edilen Volatilite Grafikleri**



Grafik 1 incelendiğinde volatilitelerin yükseldiği dönemlerin Bitcoin ve Ripple fiyatlarında büyük oynaklık olan dönemler ile örtüştüğü görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Çalışmada 2008 Küresel Finansal Krizinden sonra yeni bir parasal düzen arayışının bir sonucu olarak ortaya çıkan ancak halen günlük hayatta kullandığımız şekliyle para muamelesi görmeyen ve daha ziyade bir yatırım aracı olarak değerlendirilen temel kripto paralar olan Bitcoin ve Ripple'ın getiri oranlarının volatilitelere özellikleri modellenmeye çalışılmıştır.

Literatürde daha çok Bitcoin kullanarak volatilitelere modellemesi yapan çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmada Bitcoin yanında Ripple'da kullanılarak en çok kullanılan kripto paraların volatilitelere dinamikleri çıkarılmaya çalışılmıştır. Böylece yatırım aracı olarak kullanılan ve para olarak da kullanılabilirliği tartışılan kripto paraların risklilikleri üzerine yorum yapılabilecek olup ve kripto

paraların fiyatlardaki geçişkenliğini inceleyecek çalışmalar için yön göstermeye çalışılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Ayrıca literatürde Bitcoin ve Ripple'in volatilité dinamikleri incelenirken genellikle AIC ve SIC gibi bilgi kriterine göre modeller karşılaştırılmakta ve en başarılı model tespit edilmektedir. Bu çalışmada ise en başarılı model seçiminde öngörü performans kriterlerine göre karşılaştırma yapılarak en başarılı modeller tespit edilmeye çalışılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

Uygulamalı analizde Bitcoin ve Ripple'in günlük verileri kullanılmış olup ilk önce getiri oranları elde edilip getiri oranlarının durağanlık özellikleri hem geleneksel ama diğer testlerden daha güçlü olan Ng-Perron testi hem de yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot Andrews testiyle incelenmiş ve Bitcoin ve Ripple'in getiri oranlarının durağan olduğu bulunmuştur.

Daha sonra volatilité modellemesine geçmeden önce ortalama denklemleri Box-Jenkins yöntemi izlenerek bulunmuş ve Bitcoin ve Ripple getiri oranları için geleneksel ARCH ve GARCH modelleri yanında asimetriyi de dikkate alan EGARCH ve TGARCH modelleri de tahmin edilmiştir. Çalışmada alternatif volatilité modelleri arasında en başarılı olan modelin tespit edilmesi için çeşitli kayıp fonksiyonlarına dayanarak alternatif modellerin öngörü performansları karşılaştırılmıştır. Bitcoin ve Ripple getiri oranları için tahmin edilen alternatif volatilité modelleri arasında 1, 7 ve 30 dönem sonrası için yapılan tahminlerde öngörü performansına göre en başarılı olan model olarak asimetriyi dikkate alan TGARCH modeli bulunmuştur. TGARCH modeli incelenen modeller arasındaki en başarılı model olarak bulunmuştur. Bu sonuç literatürdeki bulgularla da uyumludur. Ayrıca en başarılı modelden elde edilen koşullu varyanslar volatilité grafiği olarak sunulmuştur ve volatilitenin yükseldiği dönemlerin kripto paraların fiyatlarında büyük oynaklıkların olduğu dönemlerle örtüştüğü gözlenmiştir.

Çalışmada özetle, yatırım aracı olarak kullanılan ve para olarak da kullanılabilirliği tartışılan kripto paraların volatilité özellikleri ve dolayısıyla risklilikleri koşullu değişen varyans modelleri kullanılarak analiz edilmeye ve kripto paraların fiyatlardaki geçişkenliğini inceleyecek çalışmalar için yön göstermeye çalışılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

Gelecek araştırmalar için kripto paraların kendileri arasındaki geçişkenlikler düzey veriler yanında volatilité değişkenleri kullanılarak da incelenebilir. Böylece ikinci momentlerdeki (varyanstaki) geçişkenlikler analiz edilmiş olacaktır. Ayrıca kripto paraların volatilité dinamikleri ile normal para ya da altın gibi para benzeri varlıkların fiyat geçişkenlikleri de yine volatilité geçişkenliği kullanılarak analiz edilebilecektir.

## REFERENCES

Bouri, E., Geroges, A. and Dyrberg, A.H. (2017). On the return-volatility relationship in the Bitcoin market around the price crash of 2013, *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 11, syf; 1–16.

- Bouoiyour, J. ve Selmi R. (2016). Bitcoin: a beginning of a new phase?, *Economics Bulletin*, 36(3), syf 1430-1440.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, pp.307-327.
- Box, G. E. P. ve Jenkins, G. M. (1976), "Time Series Analysis, Forecasting and Control", Holden Day, San Francisco.
- Dyhrberg, A. H (2016a). Hedging capabilities of bitcoin. Is it the virtual gold?. *Finance Research Letters*, 16, syf 139-144.
- Dyhrberg, A. H. (2016b): Bitcoin, gold and the dollar: A GARCH volatility analysis, *Finance Research Letters*, 16, syf 85-92.
- Enders, Walter (2004). "Applied Econometric Time Series", New York: John Wiley and Sons.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), pp.987-1008.
- Ertuğrul, H.M. (2012). Türkiye’de Döviz Kuru Volatilitesi ve Enflasyon İlişkisi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Ertuğrul, H.M. (2010). Türkiye’de Döviz Kuru Volatilitesi Modellemesi. Yayınlanmamış Uzmanlık Yeterlilik Tezi, Hazine Müsteşarlığı, Ankara.
- Ertuğrul, H. M ve Soytaş, U. (2013). Sanayi Üretim Endeksinin Durağanlık Özellikleri. *İktisat, İşletme ve Finans*, 328(28), 51-66. <http://dx.doi.org/10.3848/iif.2013.328.3751>
- Gebesoglu, F. ve Ayhan, F. (2019). Regulatory Aspects Of Cryptocurrencies. (s.41-59). F. Ayhan ve B. Darıcı (Editörler). *Cryptocurrencies in all aspects*. Peter Lang, Bern-İsviçre.
- Glaser, F. ve Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M.C. ve Siering, M. (2014). Bitcoin - Asset or Currency? Revealing Users' Hidden Intentions, ECIS 2014 (Tel Aviv). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2425247>.
- Glosten, L. R., Jagannathan, R. ve Runkle, D. E. (1993), "On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks", *Journal of Finance*, 48, 1779–1801.
- Gronwald, M. (2014). "The Economics of Bitcoins- Market Characteristics and Price Jumps," *CESifo Working Paper Series* 5121, CESifo Group Munich.
- Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models, *Economics Letters*, 158, syf 3-6.
- Mandelbrot, B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices. *Journal of Business*, 36, s.394-419.

- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Nisan 8, 2018 tarihinde <http://wfc-knowledgecentre.com/wp-content/uploads/2016/07/Bitcoin-A-Peer-to-Peer-electronic-Cash-System.pdf> adresinden alındı
- Nelson, D. (1991), “Conditional Heteroscedascity in Asset Returns: A New Approach”, *Econometrica*, 59, 347-370.
- Ng, S. ve Peron P. (2001). Lag Length Selection and the Construction of Unit Root Tests with Good Size and Power. *Econometrica*, 69(6), 1519–1554. [http:// dx.doi.org/10.1111/1468-0262.00256](http://dx.doi.org/10.1111/1468-0262.00256)
- Zivot, E., Andrews, D., 1992. Further evidence of great crash, the oil price shock and unit root hypothesis. *Journal of Business Economics and Statistics* 10, 251-270.