

Kriptopara Bağlantılılığı ve COVID-19: Diebold-Yılmaz ve Frekans Bağlantılılığı Yöntemleri

Onur POLAT (<https://orcid.org/0000-0002-7170-4254>), *Bilecik Şeyh Edebali University, Turkey;*
onur.polat@bilecik.edu.tr

Gözde EŞ-POLAT (<https://orcid.org/0000-0001-8857-4962>), *Bilecik Şeyh Edebali University, Turkey;*
gozde.es@bilecik.edu.tr

Cryptocurrency Interdependencies and COVID-19: The Diebold-Yılmaz and the Frequency Connectedness Approaches

Abstract

It is well-known that financial connectedness tends to surge during financial/geopolitical turmoils. To this end, this study examines the impact of the COVID-19 pandemic on cryptocurrency connectedness by employing the Diebold-Yılmaz and the frequency connectedness approaches. Total spillover indexes estimated by both methodologies create proper signs to the 2017/2018 cryptocurrency bubble and gradually escalate around March 2020, which coincides with the WHO's official announcement of the COVID-19. The study contributes to the literature by gauging the COVID-19 connectedness among eight major cryptocurrencies on different frequency bands and 200-day moving windows by employing two novel methodologies.

Keywords : COVID-19, Cryptocurrency, Diebold-Yılmaz Connectedness, Frequency Connectedness.

JEL Classification Codes : C58, G15, Q02.

Öz

Finansal/jeopolitik karmaşa dönemlerinde finansal bağlantılılığın yükselme eğiliminde olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda çalışma, COVID-19 küresel salgının finansal sistemin önemli bir bileşeni olan kriptopara piyasası bağlantılılığına olan etkisini Diebold-Yılmaz ve frekans bağlantılılığı yöntemleriyle 02/10/2017-03/01/2021 döneminde incelemektedir. Her iki yöntemle de elde edilen toplam yayılma endeksleri, 2017/2018 kriptopara piyasası balonuna anlamlı bir şekilde tepki vermekte ve yazınla uyumlu olarak COVID-19'un DSÖ tarafından resmi olarak küresel salgın ilan edildiği 2020 Mart döneminde anlamlı bir seviyeye yükselmektedirler. Çalışma en yüksek piyasa işlem hacmine sahip 8 kriptopara arasındaki COVID-19 dönemi bağlantılılığını farklı frekanslarda ve 200-günlük kayan pencerelerde iki yeni metodoloji ile ölçerek literatüre katkı sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler : COVID-19, Kriptopara, Diebold-Yılmaz Bağlantılılığı, Frekans Bağlantılılığı.

1. Giriş

Dijital bir para birimi olan Bitcoin'in ilk versiyonu (0.1), Satoshi Nakamoto tarafından 2009 yılında dolaşıma çıkmıştır (Nakamoto, 2008). Kriptopara piyasası 2009'dan bu yana yeni kriptoparaların dolaşıma girmesiyle hızla büyümekte ve yatırımcıların ve araştırmacıların bu piyasaya olan ilgisi artarak devam etmektedir. Kriptoparalar finansal bir aracı olmadan uçtan uca (peer-to-peer) ödeme mekanizması sağlayan para mekanizmalarıdır. Kriptoparaların fiyatı hisse senedi, tahvil, bono gibi geleneksel maddi finansal varlıklardan farklı olarak bir güvenlik algoritmasıyla belirlenmektedir (Corbet et al., 2019: 182). Kriptoparaların yazılımsal mimari yapısı Blokzincir (Blockchain) olarak bilinmektedir (Nofer et al., 2017). Blokzincir, parasal transfer işlemlerinin kaydının tutulduğu, şifrelenmiş işlem takibine izin veren ve yüksek şifreleme ve güvenlik algoritmasına sahip olan bir sistemdir. Blokzincir merkezi olmaması (de-centralized), kalıcılık, anonimlik ve denetlenebilirlik gibi birçok faydaya sahiptir (Zheng et al., 2018). Kriptopara blok zincirinde, elektronik parayı temsil eden bilgiler dijital bir adrese eklenir. Sistem kullanıcıları bu bilgileri dijital olarak imzalayabilir ve bilgilerin haklarını başka bir kullanıcıya aktarabilir. Kriptopara blok zinciri bu aktarımı herkese açık olarak kaydederek ağır tüm katılımcılarının işlemlerin geçerliliğini bağımsız olarak doğrulamasını sağlamaktadır. Kriptopara blok zinciri, dağıtılmış bir katılımcı grubu tarafından depolanmakta, korunmakta ve işbirliği içinde yönetilmektedir. Bu mekanizma, belirli kriptografik mekanizmalarla birlikte, blok zincirini daha sonra değiştirme girişimlerine (blokları değiştirme veya sahte işlemler) karşı dirençli hale getirmektedir (Yaga et al., 2019: iv).

Kriptopara piyasasını düzenleyici ve denetleyici bir mekanizmanın olmaması ve piyasanın zaman zaman siber saldırıların hedefi olması, bu piyasaya olan güveni azaltmaktadır. Ayrıca kriptoparaların çok yüksek fiyat enflasyonuna sahip olması, bu piyasadaki oynaklığı artırmaktadır. Örneğin, Baek & Elbek (2015) Bitcoin'in S&P 500'e göre 26 kat daha fazla oynak olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, çalışmalar geleneksel finansal piyasalardan farklı olarak kriptoparalar için asimetrik oynaklık etkisini tespit etmişlerdir (Baur & Dimphi, 2018; Cheikh et al., 2020). Bu çalışmalara benzer şekilde Hafner (2020) kriptopara piyasasının yapısı gereği aşırı oynaklığa eğilimli olduğunu ve balon-benzeri (bubble-like) davranış gösterdiğini belirtmektedir. Yüksek oynaklık bu piyasayı yüksek getirili ve yüksek riskli hale getirmektedir.

Kriptopara piyasasındaki yüksek riske rağmen kriptoparaların piyasa işlem hacmi, 2013-2020 yılları arasında %8900'den fazla yükselerek 10,6 milyar \$'dan 2020 yılında 948,2 milyar \$'a çıkmıştır (CoinMarketCap, 2021). En yüksek piyasa hacmine sahip olan Bitcoin'in kapanış (close) fiyatı ise 2016 Ocak - 2020 Ocak döneminde 378 \$'dan 34.279 \$'a yükselmiştir. Bu artış yıllık olarak yaklaşık %208,5 getiriye karşılık gelmektedir ki başka bir finansal varlıkla böyle bir getirinin elde edilmesi çok zordur. Bu yüksek getiri nedeniyle finansal yatırımcıların kriptopara piyasasındaki işlem hacmi artmaktadır. Kriptoparaların yüksek getiri potansiyelleri, yatırımcıların ve spekülörlerin kriptopara piyasasına ilgisini artırmakta ve piyasa hacmi gün geçtikçe genişlemektedir (Corbet et al., 2019: 183).

Kriptopara piyasasının işlem hacminin genişlemeye başlaması, araştırmacıları kriptoparaların fiyat dinamiklerini incelemeye ve kriptopara piyasasının diğer finansal piyasalarla olan ilişkilerini araştırmaya yöneltmiştir. Yapılan çalışmalar, kriptopara piyasasının finansal piyasalarla güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin; Ji et al., (2019), Panagiotidis et al., (2019) ve Okoria & Lin (2020) tarafından yapılan çalışmalar, kriptopara piyasasının emtia piyasalarıyla; Kostika & Laopodis (2019) ve Conlon et al. (2020) tarafından yapılan çalışmalar, kriptopara piyasasının hisse senedi piyasalarıyla; Akyıldırım et al. (2020) tarafından yapılan çalışma, kriptopara piyasasının türev piyasalarla; Wong et al., (2018) ve Corbet et al. (2018) tarafından yapılan çalışmalar ise kriptopara piyasasının döviz ve tahvil piyasaları ile yüksek bağlantılılıklarını tespit etmiştir.

Kriptopara piyasasının finansal piyasalar ile yüksek bağlantılılığının olması, kriptopara piyasasında oluşabilecek beklenmedik bir şokun diğer piyasalara hızlı bir şekilde yayılmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte, finansal türbülans dönemlerinde kriptoparaları da içeren finansal varlıkların birlikte hareket ve korelasyon ilişkisi yükselmektedir. COVID-19 pandemi döneminde de bu korelasyon beklenen şekilde yükselmiştir (Polat, 2020; So et al., 2020, Adekoya et al., 2021).

Bu çalışmada, COVID-19 pandemisinin kriptopara piyasası bağlantılılığına olan etkisinin incelenmesi amaçlanmış ve bu nedenle COVID-19 pandemisi öncesinde ve sonrasında en yüksek piyasa işlem hacmine sahip 8 kriptopara arasındaki bağlantılılık araştırılmıştır. Bu amaçla, Diebold ve Yılmaz (2012) tarafından oluşturulan Diebold-Yılmaz (DY) ve Barunik ve Krehlik (2018) tarafından oluşturulan Frekans Bağlantılılığı (FC) yöntemleri ampirik analizde kullanılmıştır.

Çalışmamız mevcut yazına iki farklı açıdan katkı sunmaktadır. İlk olarak, COVID-19 küresel salgın döneminde piyasada en yüksek işlem hacmine sahip olan kriptoparalar arasındaki tarihsel oynaklık bağlantılılığını, değişkenler arasındaki yönlü yayılmaları DY yöntemi ile tahmin etmektedir. İkinci olarak, kriptoparaların tarihsel oynaklıkları arasındaki bağlantılılık farklı frekanslarda (kısa, orta ve uzun dönem) FC yöntemi ile incelenmektedir. Böylece çalışmada en yüksek piyasa işlem hacmine sahip kriptoparaların fiyatlarının tarihsel oynaklıklarının bağlantılılık yapısına finansal/jeopolitik durgunluk/karmaşa dönemlerinde odaklanılmış ve kriptoparaların fiyat dinamikleri için önemli bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın izleyen ikinci bölümünde kriptopara piyasasının gelişimi ve özellikleri incelenmiş ve daha sonra üçüncü bölümde finansal bağlantılılık ile ilgili çalışmalara değinilmiştir. Dördüncü bölüm çalışmanın veri seti, DY ve FC yöntemlerini içermektedir. Beşinci bölümde kriptoparalar arasındaki bağlantılılık DY ve FC yöntemleri ile elde edilmekte ve yorumlanmaktadır. Altıncı ve son bölümde çalışmanın bulguları tartışılmakta ve politika önermeleri verilmektedir.

2. Kriptopara Piyasasının Gelişimi

İlk kriptopara olan Bitcoin, Satoshi Nakamoto tarafından 2008 yılında tanımlanmıştır. 2009 yılında dolaşıma çıkan Bitcoin, o tarihten bu yana kriptopara piyasası liderliğini korumaktadır. Nakamoto, Bitcoin'i elektronik paraların dijital imzaların bir zinciri olarak taşınması ve elektronik paranın uçtan uca (peer-to-peer) bir versiyonu olarak tanımlamaktadır (Nakamoto, 2008: 4).

Bitcoin'in kriptopara piyasasında dolaşıma girmesinden itibaren piyasa genişlemeye devam etmiş ve bugün piyasada işlem gören kriptopara sayısı 8222 adete ulaşmıştır. Kriptopara piyasasında işlem gören kriptopara sayısının artması, piyasanın toplam hacminin 1.110.958.649,105 \$'a ulaşarak 1 trilyon \$'ı aşmasına neden olmuştur (CoinMarketCap, 2021). Bununla birlikte, kriptopara piyasa hacmindeki bu önemli genişlemeye *de-regülasyon* ve *siber saldırı* gibi nedenlerle piyasanın doğası gereği sahip olduğu yüksek oynaklık eşlik etmektedir (Corbet et al., 2019: 183). Ayrıca kriptopara piyasası yapısı gereği spekülasyon piyasa balonlarına meyillidir (Fry & Cheah, 2016; Fry, 2018; Kyriazis et al., 2020).

Kriptopara piyasasının esnek yapısı nedeniyle piyasada anlık olarak yeni kriptoparalar işlem görmeye başlamakta ve buna bağlı olarak da kriptopara piyasasında en yüksek piyasa işlem hacmine sahip olan kriptoparalar anlık olarak değişebilmektedir. Tablo 1, çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla kriptopara piyasasında en yüksek piyasa işlem hacmine sahip olan sekiz kriptoparayı göstermektedir¹. Buna göre 3 Ocak 2021 tarihinde en yüksek piyasa işlem hacmine sahip kriptoparalar sırasıyla, Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Bitcoin Cash, Cardona, Chainlink ve Binance Coin'dir. Bitcoin, kriptoparalar arasında en yüksek fiyata (40,234 \$) ve en yüksek piyasa işlem hacmine (760,4 milyar \$) sahip olan kriptoparadır.

Tablo: 1
En Yüksek İşlem Hacmine Sahip Sekiz Kripto Para

Sıra	İsim	Sembol	Piyasa İşlem Hacmi (Milyar \$)	Kapanış Fiyatı (\$)	Arz Edilen Miktar (Milyon)	Hacim (Milyar \$)
1	Bitcoin	BTC	760,4	40.234	18,5 BTC	65,28
2	Ethereum	ETH	152,8	1318,5	114,8 ETH	36,84
3	Ripple	XRP	15,8	0,32	45.404 XRP	7,9
4	Litecoin	LTC	11,9	172,9	66,2 LTC	12,08
5	Bitcoin Cash	BCH	11,1	566,8	18,6 BCH	16,8
6	Cardona	ADA	10,2	0,31	31.112 ADA	3,4
7	Chainlink	LINK	7	16,92	400 LINK	2,9
8	Binance Coin	BNB	5,1	42,93	144 BNB	0,6

Kaynak: <<https://coinmarketcap.com/>>, 03.01.2021.

¹ Çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla piyasa hacmi en yüksek olan ve veri erişilebilirliği en eskiye giden sekiz kriptopara bu çalışmada kullanılmıştır.

Etherium 1318,1 \$ fiyat ve 152,8 milyar \$ piyasa hacmi ile Bitcoin'i takip etmektedir. Piyasa kapanış fiyatına göre diğer paralar sırasıyla Bitcoin Cash, Litecoin, Binance Coin, Chainlink, Ripple ve Cordano'dır.

3. Finansal Bağlantılılık

Küreselleşme sürecinin sonucu olarak uluslararası para ve sermaye piyasalarının entegrasyonu, bir ülke finansal sisteminde ortaya çıkan bir şokun hızlı bir biçimde dünyanın geri kalanına yayılmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, araştırmacılar, finansal karmaşa dönemlerinde finansal varlıklar arasındaki korelasyon ve birlikte hareket (co-movement) ilişkisinin arttığına dikkat çekmektedir.

Finansal piyasalar arasındaki bağlantılılık ilişkisi farklı ekonometrik yöntemlerle incelenmektedir. Araştırmacılar finansal bağlantılılığı, korelasyon analizi (Chiang et al., 2007; Syllignakis & Kouretas, 2011; Støve et al., 2014; Buchholz & Tonzer, 2016), birlikte hareket (Jokipii & Lucey, 2007; Dewandaru et al., 2014); çoklu GARCH (Liu et al., 2017; Bonga-Bonga, 2018; Ghosh et al., 2021); wavelet analizi (Saiti et al., 2016; Dai et al., 2020) gibi kantitatif yöntemlerle incelemektedir.

Bu yöntemlere ek olarak, Diebold & Yılmaz (2009), *N*-değişkenli standart VAR modelinin varyans ayrıştırılmalarını kullanarak geliştirmiş oldukları ve DY olarak isimlendirilen yöntemle 19 ülkenin hisse senedi piyasaları arasındaki getiri ve oynaklık bağlantılılığını 1992 Ocak 2007 Kasım dönemi için incelemiştir. Çalışma, finansal koşulların kötüleştiği dönemlerde finansal bağlantılılığın arttığını tespit etmiştir (Diebold & Yılmaz, 2009: 167). DY yönteminin VAR modelindeki Cholesky faktör ayrıştırmasına bağlı olması elde edilen sonuçların VAR'daki finansal varlıkların sırasına bağlı (order-variant) olmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, orjinal DY yönteminde sadece toplam yayılmalar (spillovers) elde edilmektedir. Bu eksikliği gidermek için Diebold & Yılmaz (2012), DY yönteminde genelleştirilmiş VAR modelini kullanmıştır. Böylelikle tahmin edilen bağlantılılık ölçümleri VAR'daki değişkenlerin sırasına bağımlı olmayacaktır. Ek olarak, yeni yöntem değişkenler arasındaki yönlü (directional) yayılmaları da hesaplamaktadır (Diebold & Yılmaz, 2012: 58). Diebold & Yılmaz, finansal piyasalar arasındaki bağlantılılığı DY yöntemiyle tahmin etmiştir (Diebold & Yılmaz, 2014, 2015)².

Araştırmacılar finansal piyasalar arasındaki bağlantılılığı tahmin etmek için DY yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmalar farklı finansal piyasalar arasındaki bağlantılılığı DY yöntemiyle hesaplamaktadırlar. Örneğin; hisse senedi piyasaları (Mensi et al., 2018; Umar et al., 2020, Ben Amar et al., 2021; Costa et al., 2021), döviz piyasaları (Antonanakos & Kizys, 2015; Chow, 2020; Fasanya et al., 2021), kriptopara piyasaları (Aslanidis et al., 2020; Bagheri & İbrahimi, 2020; Le et al., 2020), tahvil piyasaları (Fernández-Rodríguez et

² Bkz. <<http://financialconnectedness.org>>, 03.01.2021.

al., 2016; Reboredo & Ugolini, 2020) arasındaki bağlantılılığı DY yöntemiyle inceleyen çalışmalar bu kategoride ifade edilebilir.

Son dönemde yapılan çalışmalar, kriptoparaların kendi aralarındaki ve farklı finansal piyasa göstergeleri ile olan bağlantılılığını DY yöntemi ile incelemektedir. Corbet et al. (2018), Bitcoin, Litecoin, Ripple ve 6 finansal piyasa göstergesi (tahvil, altın, döviz, VIX ve S&P 500) arasındaki bağlantılılığı 2013 ve 2017 arasında hesaplamaktadır. Çalışma kriptoparaların finansal piyasalarla olan bağlantılılığının düşük olduğunu, buna karşın kendi aralarındaki bağlantılılığın yüksek olduğunu tespit etmiştir (Corbet et al., 2018: 30). Ji et al. (2019), en yüksek piyasa kapitalizasyonuna sahip 6 kriptopara arasındaki getiri ve oynaklık bağlantılılığını 07/08/2015 ve 22/02/2018 döneminde incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, Bitcoin ve Litecoin kriptoparalarının bağlantılılık ağında merkezde yer aldığını ve diğer kriptoparalara doğru olan en yüksek etkinin bu kriptoparalardan kaynaklandığını göstermektedir (Ji et al., 2019: 262-264). Antonanakis et al. (2019) en yüksek piyasa kapitalizasyonuna sahip 9 kriptopara arasındaki bağlantılılığı TVP-FAVAR yöntemine bağlı olan DY yöntemiyle 07/08/2015 ve 31/05/2018 tarihleri arasında incelemiştir. Çalışma, kriptoparalar arasındaki toplam yayılmanın %25 ile %75 arasında değiştiğini tespit etmiştir (Antonanakis et al., 2019). Aslanidis et al. (2020) en yüksek piyasa kapitalizasyonuna sahip olan 17 kriptopara arasındaki getiri ve oynaklık bağlantılılığını incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, toplam yayılma endeksinin COVID-19 pandemisi ile bağlantılı olarak 2020 Mart ayında önemli bir seviyede yükseldiğini göstermektedir (Aslanidis et al., 2020).

Baruník & Křehlík (2018) finansal değişkenler arasındaki bağlantılılığı kısa-, orta-, ve uzun- dönemlerde tahmin etmeye olanak sağlayan *frekans bağlantılılığı* yöntemini VAR modelinin spektral gösterimine göre tanımlamıştır. Bu yöntem, finansal değişkenler arasındaki bağlantılılığı etki-tepki fonksiyonlarının Fourier dönüşümlerine bağlı olarak farklı frekanslarda hesaplamaktadır. Bu yöntemin mevcut finansal bağlantılılık yöntemlerine göre önemli avantajları bulunmaktadır. İlk olarak, finansal varlıklar arasındaki bağlantılılığı farklı frekans bantlarında tahmin etmekte ve finansal varlıklar arasındaki kısa-, orta-, ve uzun- dönemli bağlantılılığı hesaplamaktadır. İkinci olarak, frekans bağlantılılığı yöntemiyle hesaplanan ölçümler VAR modelindeki değişkenlerin sırasından bağımsız olmaktadır. Üçüncü olarak, bu metodoloji tam spektrali kullanmakta ve değişkenler arasındaki dolaylı nedensellik (indirect causality) zinciri ile ilgili anlamlı bilgi sağlamaktadır (Baruník & Křehlík, 2018: 274). Son dönemde yapılan birçok çalışma, finansal piyasalar arasındaki bağlantılılığı frekans bağlantılılığı yöntemi ile hesaplamaktadır (Polat, 2019, 2020; Maghyreh et al., 2019; Le et al., 2020; Owusu et al., 2020; Fousekis & Tzaferi, 2021).

COVID-19 küresel salgınının kriptopara piyasası bağlantılılığını önemli bir seviyede yükselttiğini tespit eden bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında yer alan Bouri et al. (2021), kantil VAR-temelli DY bağlantılılık analizini kullanarak yedi ana kriptopara (Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Stellar, Monero, Dash) arasındaki bağlantılılığı 8 Ağustos 2015-31 Aralık 2020 dönemi için tahmin etmektedir. Çalışmanın elde ettiği üst ve alt kuyruklardaki (tails) aşırı bağlantılılık ölçümlerine ilişkin bulgular, kripto para birimleri ağ sistemi içinde kuyruk riskinin yayılmasının önemine dair ayrıntılı

bir görüş sunmaktadır. Ayrıca, çalışmanın sonuçları kuyruk-bağımlılık derecesinin zamanla değiştiğini ve COVID-19'un ortaya çıkmasıyla şiddetlendiğini göstermektedir (Bouri et al., 2021). Naeem et al. (2021), 7 kriptopara (Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Monero, Stellar ve NEM) arasındaki ağ bağlantılılığını standart VAR ve kantil VAR yöntemlerini kullanarak 7 Ağustos 2015-31 Ekim 2020 döneminde incelemiştir. Çalışmanın sonuçları kriptoparalar arasındaki bağlantılılığın 2017 ve 2020 dönemlerinde şiddetlendiğini göstermektedir (Naeem et al., 2021). Benzer şekilde Umar et al. (2021), COVID-19 ile ilgili medya kapsamının üç ana kriptopara (Bitcoin, Ethereum ve Litecoin) ve üç itibari para (Euro, GBP ve Yuan) getiri ve oynaklık bağlantılıklarına olan etkilerini Antonakakis & Gabauer (2017) tarafından geliştirilen TVP-VAR temelli DY yöntemiyle 1 Ocak-31 Aralık 2020 döneminde incelemektedir (COVID-19 getiri bağlantılılığı analizi kriptoparaların net iletilici, itibari paraların ise net alıcı konumunda olduklarını tespit etmektedir. COVID-19 oynaklık bağlantılılık sonuçları ise Euro haricinde COVID-19 getiri bağlantılılık analizi ile aynı sonuçları elde etmektedir (Umar et al., 2021).

4. Veri Kümesi ve Ekonometrik Analiz

4.1. Veri Kümesi

Çalışmanın veri kümesinde, 03/01/2021 tarihinde en yüksek piyasa kapitalizasyonuna sahip ve veri erişilebilirliği diğer kriptoparalara göre daha eskiye giden Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Bitcoin Cash, Cardano, Binance Coin, Chainlink bulunmaktadır. 8 kriptoparaya ait veriler 02/10/2017 ve 03/01/2021 tarihleri arasında CoinMarketCap web sitesinden elde edilmiştir. Veri kümesinde yer alan her bir kriptopara 1190 gözlemden oluşmaktadır.

4.2. Ekonometrik Analiz

4.2.1. D-Y Yöntemi

Diebold & Yılmaz (2012), DY yöntemini aşağıdaki kovaryans durağan N -değişkenli genelleştirilmiş $VAR(p)$ modeline bağlı olarak tanımlanmaktadır (Diebold & Yılmaz, 2012: 58):

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de, $\varepsilon_t \sim (0, \Pi)$ birbirinden bağımsız ve aynı dağılıma sahip hata terimleridir. $VAR(p)$ modelinin hareketli ortalama (MA) gösterimi $y_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i}$ şeklinde olsun.

$\varphi_{ij}^g(H)$, $H = 1, 2, \dots$ şeklinde verilen hata varyans ayrıştımlarının H -adım-ileri tahmini aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\varphi_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Pi e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Pi A_h' e_i)} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de Π , ε için varyans vektörü; σ_{jj} j . eşitlik için ε_t ’nin standart hatası; e_i ise i . bileşen için 1 diğer bileşenler için 0 olan seçim vektörüdür. Varyans ayrıştırma matrisinin her bir bileşeni aşağıdaki gibi normalleştirilebilir:

$$\tilde{\varphi}_{ij}^g(H) = \frac{\varphi_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \varphi_{ij}^g(H)} \quad (3)$$

Yukarıdaki tanımlara göre toplam oynaklık yayılması (spillover) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S^g(H) = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100 \quad (4)$$

i . piyasanın tüm j piyasalardan aldığı yönlü (directional) oynaklık yayılması:

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100 \quad (5)$$

i . piyasadan tüm j piyasalarına iletilen yönlü oynaklık yayılması:

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ji}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\varphi}_{ji}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1}^N \tilde{\varphi}_{ji}^g(H)}{N} \cdot 100 \quad (6)$$

i . piyasadan tüm j piyasalarına doğru olan net oynaklık yayılması:

$$S_i^g(H) = S_i^g(H) - S_i^g(H) \quad (7)$$

Net ikili (pairwise) yayılması:

$$S_{ij}^g(H) = \frac{\tilde{\varphi}_{ji}^g(H) - \tilde{\varphi}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100 \quad (8)$$

4.2.2. Frekans Bağlantılılığı

Barunik & Křehlík (2018), frekans bağlantılılığı yöntemini, aşağıda verilen N -değişkenli $VAR(p)$ modelinin varyans ayrıştırmalarının spektral gösterimine bağlı olarak tanımlamıştır.

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (9)$$

Eşitlik (9)’da y_t , varlıkların $N \times 1$ vektörü, ε_t , $\varepsilon_t \sim N(0, \Omega)$ olmak üzere birbirinden bağımsız ve aynı dağılıma sahip beyaz gürültülerin (white noise) $N \times 1$ vektörüdür.

$VAR(p)$ modelinin MA gösterimi $y_t = \Psi(L)\varepsilon_t$ şeklinde ifade edilmektedir. Burada $\Psi(L)$, sonsuz gecikme polinomunu göstermektedir ve özyineli (recursive) olarak $\phi(L) = [\Psi(L)]^{-1}$ şeklinde verilmektedir.

Yukarıdaki tanımlar çerçevesinde frekans tepki fonksiyonu Ψ_h katsayılarının Fourier dönüşümü olarak $\Psi(e^{-iw}) = \sum_h e^{-iwh} \Psi_h$ şeklinde tanımlanmaktadır.

y_t 'nin w frekansındaki spektral yoğunluğu (density), $MA(\infty)$ filtrelenmiş serilerin Fourier dönüşümü olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S_y(W) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} E(y_t y'_{t-h}) e^{-iwh} = \Psi(e^{-iw}) \Sigma \Psi'(e^{+iw}) \quad (10)$$

$w \in (-\pi, \pi)$ frekanslarındaki genelleştirilmiş nedensellik spektrumu (generalized causation spectrum) eşitlik 11'de verilmektedir.

$$\xi(w)_{j,k} = \frac{\sigma_{kk}^{-1} |\Psi(e^{-iw}) \Sigma|_{j,k}^2}{(\Psi(e^{-iw}) \Sigma \Psi'(e^{+iw}))_{jj}} \quad (11)$$

$d = (a, b)$: $a, b \in (-\pi, \pi)$, $a < b$ frekans bandındaki ölçeklendirilmiş (scaled) varyans ayrıştırmaları $(\tilde{\phi}_d)_{j,k} = (\phi_d)_{j,k} / \Sigma_k(\phi_\infty)_{j,k}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

d frekans bandındaki iç (within) bağlantılılık eşitlik 12'de tanımlanmaktadır:

$$C_d^w = 100. \left(1 - \frac{Tr(\tilde{\phi}_d)}{\Sigma \tilde{\phi}_\infty} \right) \quad (12)$$

d frekans bandındaki frekans bağlantılılığı eşitlik 13'de tanımlanmaktadır:

$$C_d^f = 100. \left(\frac{\Sigma \tilde{\phi}_d}{\Sigma \tilde{\phi}_\infty} - \frac{Tr(\tilde{\phi}_d)}{\Sigma \tilde{\phi}_\infty} \right) = C_d^w \frac{\Sigma \tilde{\phi}_d}{\Sigma \tilde{\phi}_\infty} \quad (13)$$

Yukarıda $Tr\{\cdot\}$ iz (trace) işlemi, $\Sigma \tilde{\phi}_d$ ise $\tilde{\phi}_d$ 'nin tüm elemanlarının toplamıdır.

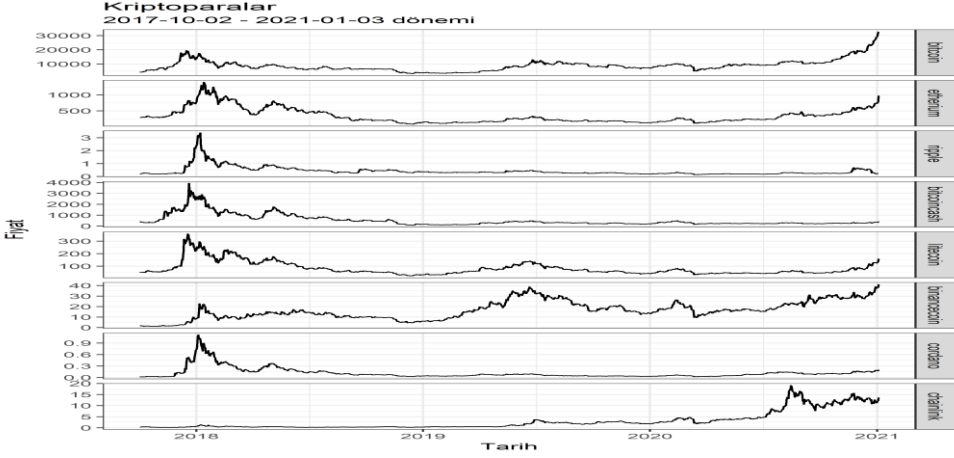
5. Kriptopara Bağlantılılığı ve Toplam Yayılma Endeksleri

Bu bölümde ilk olarak kriptoparaların fiyat dinamikleri ve tarihsel oynaklıkları incelenmektedir. Daha sonra, kriptoparaların bağlantılılığı DY ve FC yöntemleri ile incelenmektedir.

5.1. Kriptoparaların Fiyat Dinamikleri

Şekil 1, 8 kriptoparanın günlük kapanış (close) fiyatlarını 02/10/2017 ile 03/01/2021 tarihleri arasında göstermektedir.

Şekil: 1
Kriptoparaların 02/10/2017 ile 03/01/2021 Arasındaki Kapanış Fiyatları



Kaynak: Yazarların Hesaplamaları.

Şekil 1'den de görülebileceği gibi 2017/2018 yılı kriptopara piyasası balonu (bubble) sonrası piyasada büyük satışlar olmuş ve bunun neticesinde birçok kriptoparanın fiyatı önemli seviyede düşmüştür (Yaya vd., 2019: 2). 2020 Mart'tan başlamak üzere Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Binance Coin kriptoparalarının fiyatları artış trendi göstermektedir.

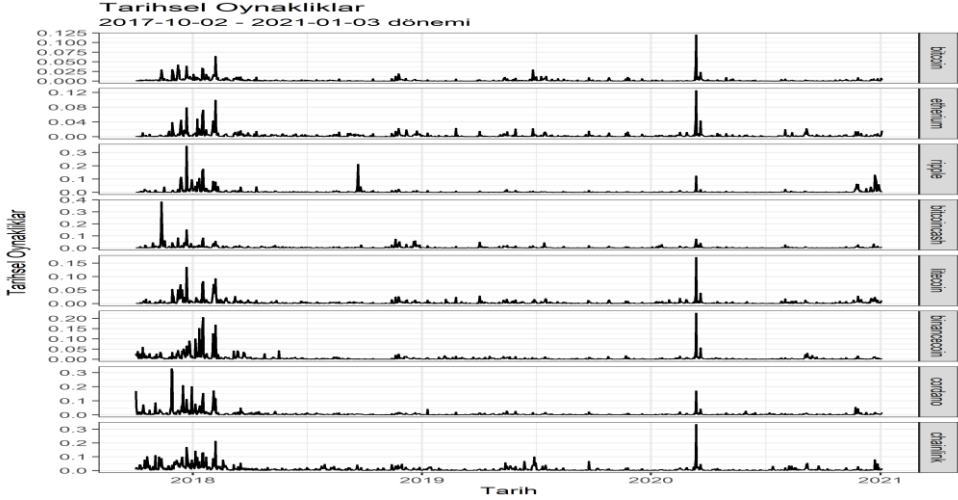
Diebold ve Yılmaz (2015) ve Ji et al. (2019) çalışmaları izlenerek kriptoparaların günlük tarihsel (historical, realized) oynaklıkları aşağıdaki formülle elde edilmektedir:

$$RV = 0.511(H - L)^2 - 0.019[(C - O)(H + L - 2O) - 2(H - O)(L - O)] - 0.383(C - O)^2 \quad (14)$$

Eşitlik 14'te H, L, C ve O sırasıyla günlük en yüksek, en düşük, kapanış ve açılış fiyatlarının logaritmasını göstermektedir.

Şekil 2, kriptoparaların 02/10/2017 ile 03/01/2021 tarihleri arasındaki tarihsel oynaklıklarını (volatility) göstermektedir.

Şekil: 2 Kriptoparaların Tarihsel Oynaklıkları



Kaynak: Yazarların Hesaplamaları.

Kriptoparaların tarihsel oynaklıklarının 2017/2018 kriptopara piyasası balonunda (bubble) yüksek değerler aldığı görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından COVID-19'un pandemi olarak tanımlandığı 11/03/2020 tarihi civarında kriptoparaların tarihsel oynaklıklarının önemli bir seviyede yükselmesi, COVID-19'un kriptopara piyasasına olan etkisi ile ilişkilendirilebilir (Aslanidis et al., 2020: 199).

5.3. Finansal Bağlantılılık Analizi, Toplam Yayılma Endeksi

Bu bölümde kriptoparalar arasındaki bağlantılılık sırasıyla DY ve FC yöntemleri ile tahmin edilmektedir. Şekil 3, Diebold & Yılmaz (2012) çalışması takip edilerek DY yöntemiyle VAR(4)'ün³ 2-, 5-, ve 10-günlük⁴ ileri adım varyans ayrıştırılmalarıyla 200-günlük kayan pencerelede elde edilen toplam yayılma endeksini göstermektedir.

³ VAR modelindeki optimal derece Akeike Bilgi Kriteri'ne (AIC) ve Bayesian Bilgi Kriteri'ne (BIC) göre 4 olarak seçilmektedir.

⁴ 2-, 5, ve 10- günlük ileri adım varyans ayrıştırılmaları sonuçlar için duyarlılık analizi yapılması amacıyla DY model tahminlerinde kullanılmaktadır.

Şekil 3
Kriptoparaların DY Yöntemi ile Toplam Bağlantılılığı



Kaynak: Yazarların Hesaplamaları.

Şekil 3'ten görülebileceği gibi kriptoparalar arasındaki bağlantılılıklar %45 ile %90 arasında değişmektedir. DY yönteminin 2-, 5, ve 10-günlük ileri adım varyans ayrıştırılmaları için uygulanması, tahminlerin duyarlılık analizi için yapılmıştır. Elde edilen 3 toplam yayılma endeksinin hareketlerinin benzer olması modelin tahmin sonuçlarının tercih edilen H -gün ileri adım varyans ayrıştırılmalarına duyarlı olmadığını ve dolayısıyla sonuçların tutarlı olduğunu göstermektedir. Kriptopara bağlantılılıkları en düşük değerlerini 27 Ekim 2018 tarihinde (2-, 5, ve 10- günlük için sırasıyla %46,77, %49,98 ve %50,78) ulaşmaktadır. Kriptopara piyasası 2017 yılında beklenmeyen bir seviyede büyüme göstermiştir. 2018 yılının başından itibaren ise kriptopara piyasasında yüksek hacimli satışlar olmuş ve bu durum kriptoparaların önemli ölçüde değer kaybetmesine neden olmuştur (Bitcoin %65 Ocak-Şubat 2018 döneminde %65 değer kaybetmiştir). Eylül 2018 itibari ile kriptoparalar Ocak 2018'e göre %80 değer kaybetmiştir. Bu durumla paralel kriptopara İşlem hacimleri de aynı dönemde önemli bir miktarda azalma eğilimi göstermiştir. Bu hususların en düşük bağlantılılığın Ekim 2018'de oluşmasına yol açtığı düşünülmektedir. En yüksek değerlerine ise DSÖ'nün COVID-19'u küresel salgın olarak ilan ettiği 11 Mart 2020 tarihinden 2 gün sonra 13/03/2020 tarihinde ulaşmaktadırlar (sırasıyla %87,32, %87,48, ve %87,49). Bu durum COVID-19 küresel salgınının kriptopara piyasası bağlantılılığını önemli bir ölçüde etkilediğini göstermektedir ve Aslanidis et al. (2020) çalışması ile uyumludur.

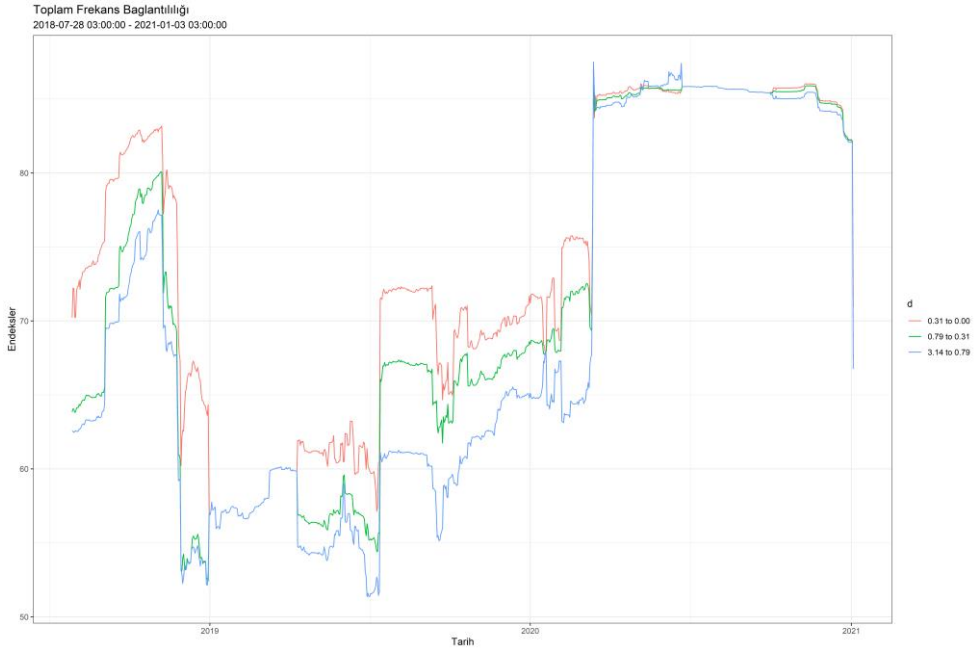
Tablo: 2
Kriptoparalar Arasındaki Yönlü Yayılmalar

	Bitcoin	Etherium	Ripple	Bitcoincash	Litecoin	Binance Coin	Cordano	Chainlink	FROM
Bitcoin	23.79	16.46	5.16	5.84	15.68	11.74	7.82	13.51	9.53
Etherium	14.72	22.6	9.25	4.06	17.11	13.53	7.15	11.58	9.67
Ripple	7.65	14.13	32.46	4.56	14.89	10.32	6.3	9.7	8.44
Bitcoincash	10	8.04	6.07	48.23	8.42	4.7	4.73	9.81	6.47
Litecoin	15.3	17.08	9.8	4.24	22.87	11.6	7.91	11.2	9.64
Binance Coin	12.21	16.49	8.15	2.41	13.15	26.45	6.72	14.41	9.19
Cordano	8.19	11.04	8.21	2.61	10.9	10.38	38.63	10.04	7.67
Chainlink	13.34	13.98	7.98	4.23	13.29	12.91	7.68	26.59	9.18
TO	10.18	12.15	6.83	3.49	11.68	9.4	6.04	10.03	Toplam Yayılma Endeksi = %69.8

Kaynak: Yazarların Hesaplamaları.

DY yöntemi kullanılarak ve 10-günlük ileri varyans ayrıştırılmalarıyla elde edilen yönlü yayılma tablosu Tablo 2’de görülmektedir. Tablo 2’ye göre kriptoparalar arasındaki toplam yayılma endeksi %69,8’dir. Bu durum kriptoparalar arasındaki yüksek bağlantılılığa işaret etmektedir. Diğer kriptoparalara doğru en yüksek yönlü yayılmaya sahip olan üç kriptopara sırasıyla Ethereum (%9,67), Litecoin (%9,64) ve Bitcoin (%9,53)’dir. Bulunan bu sonuç Ji et al. (2019) çalışmasıyla uyumludur. Diğer kriptoparalara doğru en düşük yayılmaya sahip kriptoparalar ise sırasıyla Bitcoincash (%6,47), Cordano (%7,67) ve Ripple (%8,44) dir. Tablo 2’ye göre Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Binance Coin, Chainlink, Cordano net alıcı (receiver); Ripple, Bitcoincash net verici (transmitter) konumundadır.

Şekil: 4 Kriptoparaların FC Yöntemiyle Toplam Yayılmaları



Kaynak: Yazarların Hesaplamaları.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında kriptoparalar arasındaki bağlantılılık, Baruník & Křehlík (2018) çalışması takip edilerek $VAR(4)$ 'ün 100-günlük ileri adım varyans ayrıştırılmaları ile 300-günlük kayan pencerelerde ve $(\pi, \pi/4)$, $(\pi/4, \pi/10)$ ve $(\pi/10, 0)$ ⁵ frekans bantlarında tahmin edilmektedir. Tahminler, Baruník & Křehlík (2018) çalışması

⁵ $(\pi, \pi/4)$, $(\pi/4, \pi/10)$ ve $(\pi/10, 0)$ frekans bantları yaklaşık olarak sırasıyla 1 günden 4 güne, 4 günden 10 güne ve 10 günden ∞ güne kadar olan bağlantılılıkları göstermekte ve kısa-, orta- ve uzun- dönemli bağlantılılığı temsil etmektedir.

izlenerek *LASSO* kaybını (penalty) çapraz doğrulama ile otomatik olarak seçen *VAR – LASSO* (50,50) modeli çalıştırılarak elde edilmektedir. Şekil 4, *VAR*(4)'ün 100-günlük ileri adım varyans ayrıştırmaları ile 300-günlük kayan pencerelerde ve $(\pi, \pi/4)$, $(\pi/4, \pi/10)$ ve $(\pi/10, 0)$ frekans bantlarında frekans bağlantılılığı yöntemiyle elde edilen kriptoparaların toplam yayılmaları göstermektedir.

Frekans bağlantılılığı yöntemi ile farklı frekans bantlarında tahmin edilen toplam yayılmalar %50 ile %90 arasında değişmektedir. Kriptoparalar arasındaki kısa-, orta ve uzun-dönemli frekans bağlantılılıkları 11 Mart 2020 tarihinde önemli bir seviyede yükselmeye başlamışlar ve 13 Mart 2020 tarihinde %87,5 ile maksimum değerlerine ulaşmışlardır. Bu dönemde toplam yayılma endeksleri arasındaki birlikte hareket ilişkisinin yükselmesi ve endekslerin 31 Aralık 2020 tarihine kadar %80'in üzerinde değerler almaları COVID 19 küresel salgınının kriptopara piyasalarını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Aşı çalışmalarının yaygınlık kazanmasının 31 Aralık 2020 sonrasında endekslerin ortalama seviyelerine düşmelerine neden olduğu düşünülmektedir.

6. Sonuç

2008 Küresel Finansal Krizi sonrasında yeni bir parasal sisteme ihtiyaç duyulmuş ve bu durum kriptoparaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kriptoparalar, yüksek getiri potansiyellerinin olması ve uçtan uca (peer-to-peer) parasal aktarım mekanizmasında finansal araçlara ihtiyaç duymamaları gibi nedenlerle finansal yatırımcılar tarafından tercih edilmektedirler. Öte yandan, piyasa regülasyonunun olmaması ve siber güvenlik gibi nedenler dolayısıyla kriptoparalar yüksek oynaklıklara ve spekülatif balonlara maruz kalmaktadır.

Kriptopara piyasalarının finansal sistemin önemli bir bileşeni haline gelmesi ve bu piyasada ortaya çıkabilecek olan şokların diğer finansal piyasaları etkileme potansiyelinin olması nedeniyle çalışmamız kriptopara piyasası oynaklık (volatility) bağlantılılığını incelemektedir. Bu bağlamda; Diebold-Yılmaz ve frekans bağlantılılık yöntemleri ampirik analizde kullanılarak en yüksek piyasa kapitalizasyonuna sahip 8 kriptopara arasındaki oynaklık bağlantılılığı, 02/10/2017 ve 03/01/2021 tarihleri arasında incelenmektedir.

DY yöntemi ile elde edilen toplam yayılma endeksi 2018 kriptopara piyasası krizi ve COVID-19 pandemisinin DSÖ tarafından resmi olarak ilan edilmesi gibi olaylara etkili bir şekilde tepki vermektedir. Aslanidis et al. (2020) çalışması ile uyumlu olarak kriptoparalar arasındaki bağlantılılık 2020 Mart döneminde yükselmekte, %80 seviyesinin üzerine çıkarak maksimum seviyelerine ulaşmaktadır. DY yöntemi ile 2-, 5, ve 10-gün ileri adım varyans ayrıştırmaları ile tahmin edilen endekslerin benzer patikada hareket etmeleri sonuçların tutarlı olduğunu göstermektedir. DY yöntemi ile tahmin edilen yönlü yayılma tablosuna göre diğer kriptoparalara doğru en yüksek yönlü yayılmaya sahip olan üç kriptopara Ethereum, Litecoin ve Bitcoin olarak tespit edilmektedir. Diğer taraftan, Bitcoincash, Cordano ve Ripple ise en düşük yönlü yayılmaya sahip olan kriptoparalardır.

Çalışmanın ikinci aşamasında FC yöntemi ile $(\pi, \pi/4)$, $(\pi/4, \pi/10)$ ve $(\pi/10, 0)$ frekans bantlarında kriptoparalar arasındaki kısa-, orta- ve uzun- dönemli bağlantılılık tahmin edilmektedir. DY analizi ile benzer şekilde kriptopara bağlantılılıkları, 2020 Mart döneminde önemli seviyede yükselmiş ve 13 Mart 2020 tarihinde %87,5 ile maksimum değerlerine ulaşmışlardır.

2020 Mart ayında bağlantılılığın en yüksek değerine ulaşması, bu piyasadaki oynaklığın önemli bir düzeyde yükseldiğini göstermektedir. Bu durumun sürü psikolojisinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 2020 Ocak Şubat döneminde küresel finansal piyasalarda yaşanan kırılma artışı, bu piyasaya yönelimi artırmış olabilir.

Kriptoparalar arasındaki bağlantılılığın özellikle finansal/jeopolitik kırılma dönemlerinde önemli bir seviyede yükselmesi yatırımcıların, politika yapıcıların ve araştırmacıların kararlarını etkilemektedir. Çalışmamızın sonuçlarına göre ve yazınla tutarlı olarak COVID-19 küresel salgınının kriptopara bağlantılılığını önemli bir seviyede yükselttiği tespit edilmektedir. Bu durumun kısa vadede yatırımcılar için kâr olanağı sağlama potansiyeli vardır. Diğer taraftan, en yüksek piyasa işlem hacmine sahip olan kriptoparaların yönlü yayılma tablosu sonuçlarına göre net alıcı olarak bulunması yazındaki bazı çalışmalardan ayrılmaktadır. Buna ek olarak, uzun-dönemli bağlantılılığın COVID-19 dönemi haricinde kısa- ve orta vadeli bağlantılılıktan daha yüksek değerler alması bulgusu da çalışmanın özgün sonuçlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Orta ve uzun vadede bu piyasadaki yüksek oynaklığın diğer piyasalara farklı iletim kanalları ile yansıma olasılığı olması nedeniyle otoriteler tarafından kriptopara piyasası fiyat gelişmeleri yakından izlenmelidir. Bu bağlamda, regülasyon mekanizmasının oluşturulması faydalı olabilir.

Kaynaklar

- Adekoya, O.B. & J.A. Oliyide (2021), "How COVID-19 drives connectedness among commodity and financial markets: Evidence from TVP-VAR and causality-in-quantiles techniques", *Resources Policy*, 70(101898), 1-17.
- Akyıldırım, E. et al. (2020), "The development of bitcoin futures: Exploring the interactions between cryptocurrency derivatives", *Finance Research Letters*, 34(101234), 1-9.
- Antonakakis, N. & D. Gabauer (2017), "Refined Measures of Dynamic Connectedness based on TVP-VAR", *Munich Personal RePEc Archive*, No. 78282, University Library of Munich, Almanya.
- Antonakakis, N. & R. Kizys (2015), "Dynamic spillovers between commodity and currency markets", *International Review of Financial Analysis*, 41, 303-319.
- Antonakakis, N. et al. (2019), "Cryptocurrency market contagion: Market uncertainty, market complexity, and dynamic portfolios", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 61, 37-51.
- Aslanidis, N. et al. (2020), "Are cryptocurrencies becoming more interconnected?", *Economics Letters*, 199, 109725.

- Baek, C. & M. Elbeck (2015), "Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look", *Applied Economics Letters*, 22(1), 30-34.
- Bagheri, E. & S.B. Ebrahimi (2020), "Estimating Network Connectedness of Financial Markets and Commodities", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 29(5), 572-589.
- Baruník, J. & T. Křehlík (2018), "Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk", *Journal of Financial Econometrics*, 16(2), 271-296.
- Baur, D.G. & T. Dimpfl (2018), "Asymmetric volatility in cryptocurrencies", *Economics Letters*, 173, 148-151.
- Ben Amar, A. et al. (2021), "Connectedness among regional financial markets in the context of the COVID-19", *Applied Economics Letters*, 28(20), 1789-1796.
- Bonga-Bonga, L. (2018), "Uncovering equity market contagion among BRICS countries: an application of the multivariate GARCH model", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 67, 36-44.
- Bouri, E. et al. (2021), "Quantile connectedness in the cryptocurrency market", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 71(101302), 1-16.
- Buchholz, M. & L. Tonzer (2016), "Sovereign Credit Risk Co-Movements in the Eurozone: Simple Interdependence or Contagion?", *International Finance*, 19(3), 246-268.
- Cheikh, N.B. et al. (2020), "Asymmetric volatility in cryptocurrency markets: New evidence from smooth transition GARCH models", *Finance Research Letters*, 35(101293), 1-9.
- Chiang, T.C. et al. (2007), "Dynamic correlation analysis of financial contagion: Evidence from Asian markets", *Journal of International Money and Finance*, 26(7), 1206-1228.
- Chow, H.K. (2020), "Connectedness of Asia Pacific forex markets: China's growing influence", *International Journal of Finance & Economics*, 26(3), 3807-3817.
- CoinMarketCap (2021), <<https://coinmarketcap.com/all/views/all/>>, 06.01.2021.
- Conlon, T. et al. (2020), "Are Cryptocurrencies a Safe Haven for Equity Markets? An International Perspective from the COVID-19 Pandemic", *Research in International Business and Finance*, 54(101248), 1-10.
- Corbet, S. et al. (2018), "Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets", *Economics Letters*, 165, 28-34.
- Corbet, S. et al. (2019), "Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis", *International Review of Financial Analysis*, 62, 182-199.
- Costa, A. et al. (2021), "Sectoral connectedness: New evidence from US stock market during COVID-19 pandemics", *Finance Research Letters*, (102124), 1-14.
- Dai, X. et al. (2020), "Multi-scale dependence structure and risk contagion between oil, gold, and US exchange rate: A wavelet-based vine-copula approach", *Energy Economics*, 88(104774), 1-20.
- Dewandaru, G. et al. (2014), "Stock market co-movements: Islamic versus conventional equity indices with multi-timescales analysis", *Economic Systems*, 38(4), 553-571.
- Diebold, F.X. & K. Yılmaz (2009), "Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets", *The Economic Journal*, 119(534), 158-171.
- Diebold, F.X. & K. Yılmaz (2012), "Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers", *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57-66.

- Diebold, F.X. & K. Yılmaz (2014), "On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms", *Journal of Econometrics*, 182(1), 119-134.
- Diebold, F.X. & K. Yılmaz (2015), "Trans-Atlantic equity volatility connectedness: US and European financial institutions, 2004-2014", *Journal of Financial Econometrics*, 14(1), 81-127.
- Fasanya, I.O. et al. (2021), "Dynamic spillovers and connectedness between COVID-19 pandemic and global foreign exchange markets", *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 34(1), 2059-2084.
- Fernández-Rodríguez, F. et al. (2016), "Using connectedness analysis to assess financial stress transmission in EMU sovereign bond market volatility", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 43, 126-145.
- Fousekis, P. & D. Tzaferi (2021), "Returns and volume: Frequency connectedness in cryptocurrency markets", *Economic Modelling*, 95, 13-20.
- Fry, J. & E.T. Cheah (2016), "Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets", *International Review of Financial Analysis*, 47, 343-352.
- Fry, J. (2018), "Booms, busts and heavy-tails: The story of Bitcoin and cryptocurrency markets?", *Economics Letters*, 171, 225-229.
- Ghosh, I. et al. (2021), "Co-movement and Dynamic Correlation of Financial and Energy Markets: An Integrated Framework of Nonlinear Dynamics, Wavelet Analysis and DCC-GARCH", *Computational Economics*, 57, 503-527.
- Hafner, C.M. (2020), "Testing for bubbles in cryptocurrencies with time-varying volatility", *Journal of Financial Econometrics*, 18(2), 233-249.
- Ji, Q. et al. (2019), "Dynamic connectedness and integration in cryptocurrency markets", *International Review of Financial Analysis*, 63, 257-272.
- Jokipii, T. & B. Lucey (2007), "Contagion and interdependence: measuring CEE banking sector co-movements", *Economic Systems*, 31(1), 71-96.
- Kostika, E. & N.T. Laopodis (2019), "Dynamic linkages among cryptocurrencies, Exchange rates and global equity markets", *Studies in Economics and Finance*, 37(2), 243-265.
- Kyriazis, N. et al. (2020), "A Systematic Review of the Bubble Dynamics of Cryptocurrency Prices", *Research in International Business and Finance*, 54, 101254.
- Le, T.L. et al. (2020), "Time and frequency domain connectedness and spill-over among fintech, green bonds and cryptocurrencies in the age of the fourth industrial revolution", *Technological Forecasting and Social Change*, 162(120382), 1-16.
- Liu, X. et al. (2017), "The evolution of spillover effects between oil and stock markets across multi-scales using a wavelet-based GARCH-BEKK model", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 465, 374-383.
- Maghyereh, A.I. et al. (2019), "Connectedness and hedging between gold and Islamic securities: A new evidence from time-frequency domain approaches", *Pacific-Basin Finance Journal*, 54, 13-28.
- Mensi, W. et al. (2018), "Dynamic volatility spillovers and connectedness between global, regional, and GIPSI stock markets", *Finance Research Letters*, 25, 230-238.

- Naeem, M.A. et al. (2021), "COVID-19 and cryptocurrency market: Evidence from quantile connectedness", *Applied Economics*, 1-27.
- Nakamoto, S. (2008), *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*, <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>, 02.01.2020.
- Nofer, M. et al. (2017), "Blockchain", *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187.
- Owusu-Junior, P. et al. (2020), "Connectedness of cryptocurrencies and gold returns: Evidence from frequency-dependent quantile regressions", *Cogent Economics & Finance*, 8(1), 1804037.
- Polat, O. (2019), "Systemic risk contagion in FX market: A frequency connectedness and network analysis", *Bulletin of Economic Research*, 71(4), 585-598.
- Polat, O. (2020), "COVID-19 ve Küresel Finansal Krizi Finansal Risk Bağlantılılığı: Frekans Bağlantılılığı Yöntemi Uygulaması", *İzmir İktisat Dergisi*, 35(3), 623-634.
- Reboredo, J.C. & A. Ugolini (2020), "Price connectedness between green bond and financial markets", *Economic Modeling*, 88, 25-38.
- Saiti, B. et al. (2016), "Testing the conventional and Islamic financial market contagion: evidence from wavelet analysis", *Emerging Markets Finance and Trade*, 52(8), 1832-1849.
- So, M.K. et al. (2020), "Impacts of the COVID-19 pandemic on financial market connectedness", *Finance Research Letters*, 101864, 1-8.
- Støve, B. et al. (2014), "Using local Gaussian correlation in a nonlinear re-examination of financial contagion", *Journal of Empirical Finance*, 25, 62-82.
- Syllignakis, M.N. & G.P. Kourtas (2011), "Dynamic correlation analysis of financial contagion: Evidence from the Central and Eastern European markets", *International Review of Economics & Finance*, 20(4), 717-732.
- Umar, Z. et al. (2020), "The static and dynamic connectedness of environmental, social, and governance investments: International evidence", *Economic Modelling*, 93, 112-124.
- Wong, W.S. et al. (2018), *Cryptocurrency: A new investment opportunity? An investigation of the hedging capability of cryptocurrencies and their influence on stock, bond and gold portfolios. An Investigation of the Hedging Capability of Cryptocurrencies and Their Influence on Stock, Bond and Gold Portfolios*, <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=312737>, 10.01.2021.
- Yaga, D. et al. (2019), *Blockchain technology overview*, arXiv preprint arXiv:1906.11078.
- Zheng, Z. et al. (2018), "Blockchain challenges and opportunities: A survey", *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.