



TÜRK HİSSE SENEDİ PİYASASINA İLİŞKİN DİNAMİK AĞ ANALİZİ

HÜSEYİN ÖZDEMİR*

*Dr., Atılım Üniversitesi, huseyinozdemir83@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4242-8999>.

ÖZ

Bu makale, COVID-19'un Borsa İstanbul'da işlem gören ve piyasa değeri 1 milyar doların üzerinde olan 48 firma arasındaki dinamik ağ yapısını incelemektedir. Getiri verileri günlük frekansta olup 1 Ocak 2017 tarihi ile 31 Mayıs 2022 arası dönemi arasında yer almaktadır. Standart VAR modelinden elde edilen net ikili bağlantılılık endeksi sonuçları kullanılarak düğümler arasındaki yönlendirilmiş ağ yapısı ortaya çıkarılmıştır. Modüler kümeleme yöntemi kullanılarak elde edilen ampirik bulgular COVID-19 salgını öncesinde analize konu 48 firma hisse getirisinin üç alt grup altında toplandığını göstermektedir. Pandeminin ortaya çıkmasından sonra söz konusu hisse senedi getirileri arasındaki küme sayısı dörde çıkmaktadır. Faaliyet alanlarına göre 22 farklı sektörde bulunan söz konusu hisse senedi getirilerinin 3 ya da 4 alt grup ile hareket etmesi hisse senetlerinin sektörel etkilerden çok finansal etkiler ile hareket ettiği gerçeğini doğrulamaktadır. Örneğin, otomotiv sektörüne ait şirketlerin her iki dönemde de farklı gruplar altında yer aldığı görülmektedir. Salgın sonrasında birçok hisse senedinin ait olduğu gruplar değişmiştir. Bu da hisse senetleri arasındaki ilişkilerin statik olmayıp dinamik ve değişken bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu ağ yapısı içinde, bankacılık sektörünün merkezi bir rol oynadığına ilişkin önemli kanıtlar elde edilmiştir. Son olarak, COVID-19 salgını sonrasında hisse senetleri arasındaki getiri korelasyonunun arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağ analizi, grafik teorisi, Türk borsası, getiri yayılması, COVID-19.

Editör / Editor:

Veli AKEL,
Erciyes Üniversitesi, Türkiye

DYNAMIC NETWORK ANALYSIS OF THE TURKISH STOCK MARKET

ABSTRACT

This article examines the dynamic network analysis of 48 firms traded on Borsa Istanbul with a market value of over \$1 billion before and during the COVID-19 pandemic. We use daily return data, and the data spans from January 1, 2017 to May 31, 2022. The pairwise spillover effects, which are obtained by the standard VAR model, are used to construct a directed network graph, including nodes and edges. According to the modular clustering method, the optimal network number is three for the pre-covid period. However, the number of optimal clusters increases to four after COVID-19 outbreaks. Although the stocks fall into 22 different sectoral categories, the empirical evidence shows that they exhibit discernible movements within 3 or 4 sub-groups, indicating stock behavior is driven primarily by financial dynamics rather than sectoral influences. For instance, the firms operating in the automotive industry fall into different cluster groups. Moreover, the empirical findings show that the relationship of stocks is dynamic rather than static. Some important centrality measures also show that the banking sector plays a central role in this network structure. Last but not least, the empirical findings suggest that the correlation between stock returns rose after the COVID-19 outbreak.

JEL:

G10, C32, C61.

Geliş: 6 Haziran 2023

Received: June 6, 2023

Kabul: 22 Eylül 2023

Accepted: September 22, 2023

Yayın: 31 Aralık 2023

Published: Aralık 31, 2023

Atıf / Cited as (APA):

Özdemir, H. (2023),
Türk Hisse Senedi Piyasasına İlişkin Dinamik
Ağ Analizi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari
Bilimler Fakültesi Dergisi, 66, 47-56,
doi: 10.18070/erciyesiibd.1310784

Keywords: Network analysis, graph theory, Turkish stock market, return spillover, COVID-19.

GİRİŞ

Son yıllarda ağ analizi (network analysis) yöntemi finansal varlıklar arasındaki ilişkinin ortaya çıkartılması kapsamında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle bu analizin finansal kriz dönemlerinde şirket davranışları hakkında önemli ipuçları verdiği bilinmektedir. Hisse senedi piyasalarının analiz edilmesi için karmaşık ağların kullanılması fikri ilk defa Mantegna tarafından ortaya atılmıştır (Khojine ve Han, 2019). Mantegna (1999), şirket hisseleri arasındaki ağ yapısını oluşturmak için günlük hisse senedi getirilerinin korelasyon matrisini kullanmıştır. Mantegna'ya takip eden birçok araştırmacı (Abbasian-Naghneh vd., 2020; Gan ve Djauhari, 2015; Marti vd., 2021; Onnela vd., 2003, 2004; Tumminello vd., 2010; Zheng vd., 2012) araştırmalarında minimum yayılan ağaç (minimum spanning tree, MST) yöntemi kullanmış ve farklı hisse senedi piyasaları arasındaki ağ yapısını incelemişlerdir. Örneğin, Majapa ve Gossel (2016) 2008 finansal krizi süresince Johannesburg Borsası'ndaki ilk 100 şirket ağının yapısını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, 2008 Krizinin hisse senedi ağ yapısını değiştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Ağ analizi yönteminde hisse senedi endeksleri genelde düğüm (node) olarak kullanılmaktadır. Literatürde düğümlerin ve bağlantıların (edge) farklı tanımlarına göre, farklı ağ türleri oluşturulmuş ve birçok farklı hisse senedi veya hisse senedi endeksleri arasındaki ilişki ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada olduğu gibi, farklı ülkelere ait hisse senetlerini düğüm olarak ele alan çalışmalar (Bonanno vd., 2003, 2004; Lan ve Zhao, 2010; Tse vd., 2010) olduğu gibi ülkelere ait hisse senedi endekslerini düğüm olarak ele alan çalışmalar da (Chen vd., 2020; Kumar ve Deo, 2012; Liu ve Tse, 2012; Rakib vd., 2022) mevcuttur. Ayrıca, ağ analizinde bağlantının elde edilmesi için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Birçok çalışmada (Bonanno vd., 2003; Kumar ve Deo, 2012; Marti vd., 2021; Onnela vd., 2004; Sun vd., 2020; Tumminello vd., 2010; Zheng vd., 2012) korelasyon katsayımı kullanırken, bazı araştırmacılar (John Wei vd., 1995; Papan vd., 2017) Granger-Causality etkilerini kullanmışlardır. Diğer taraftan Long vd. (2017) Çin'in 18 endüstri sektörü arasındaki oynaklık yayılma etkisini tahmin etmek ve buna bağlı çok ağ yapısını ortaya çıkarmak için BEKK-GARCH yönteminden yararlanmışlardır.

Schuenemann vd. (2020), bu çalışmadakine benzer şekilde dışsal olayların Japonya ve Çin'de ilaç, enerji ve bankacılık sektörlerinde faaliyet gösteren şirketlerin hisse senedi getirileri arasındaki korelasyonu nasıl etkilediğini ağ analizi kapsamında incelemişlerdir. Mücbir sebep olarak sınıflandırılan Fukushima Daiichi nükleer kazasının hisse senedi getirileri üzerinde uzun süreli bir etkiye neden olduğuna ilişkin kanıt elde etmişlerdir. Esmailpour Moghadam vd. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada İran'daki 246 hisse senedi arasındaki ilişki ağ analizi yardımı ile analiz edilmiştir. Merkezilik derecesi ölçümü ile elde ettikleri bulgular daha yüksek piyasa değeri, daha büyük risk, daha yüksek işlem hacmi ve daha düşük borç oranı (yani daha fazla likidite) olan hisse senetlerinin daha fazla merkezi rol oynadıklarını göstermektedir. Bu hisse senetlerinin cazip yatırım özellikleri nedeniyle daha fazla yatırımcıyı çektikleri ve dolayısıyla piyasa etkisinin daha fazla olduğuna dair güçlü kanıtlar elde edilmiştir. Diğer taraftan, Memon vd. (2019) ekonomik krizin Pakistan hisse senedi piyasası KSE-100'e ait en yüksek 96 şirket hissesi arasındaki ağ yapısına olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada aynı ekonomik sektör içindeki hisse senetlerinin benzer küme içinde yer almadıklarına dair kanıtlar elde edilmiştir. Ayrıca ekonomik kriz gibi önemli olayların ağ yapısının daralmasında etkili olduğuna ilişkin bulgular elde edilmiştir.

COVID-19'un finansal piyasalar üzerine etkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. COVID-19 salgını finansal piyasaların istikrarını ciddi ölçüde etkilemiştir (Zhang vd., 2020). Ashraf (2020) bu kapsamda COVID-19 salgınının farklı ülkelerin hisse senedi getirileri üzerine etkisini incelemiştir. Diğer taraftan, Baig vd. (2021) COVID-19 salgınının ABD hisse senedi piyasalarının mikro yapısı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bulgular teyit edilmiş vakalardaki ve koronavirüse bağlı ölümlerdeki artışın, piyasa likiditesizliği ve oynaklığında önemli bir artışa neden olduğu, azalan duyarlılık ve kısıtlama ve tecrit uygulamalarının ise piyasaların likidite ve istikrarının bozulmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Chu vd., (2020, 2021) ve So vd. (2020) COVID-19 salgınının finansal piyasalar üzerine

etkisini bu çalışmada olduğu gibi ağ analizi kullanılarak araştırmışlardır. COVID-19 salgını tüm dünyada olduğu gibi şüphesiz Türkiye'de sosyal hayatın yanı sıra finans piyasalarını da derinden etkilemiş ve bu kapsamda Türk ekonomi yazınında önemli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, (Keleş, 2020) BİST-30 endeksinde yer alan payların vaka, ölüm ve hükümet tarafından sosyal tedbir duyurularına anlamlı negatif tepki verdiği tespit etmiştir. Bu etkinin taşımacılık ile otomobiller ve bileşenleri sanayi grubuna ait firmalarda fazla olduğuna ilişkin bulgular elde etmiştir. Bayraktar, (2020) imalat sanayi hisse senedi getirisinin pandemiye karşı negatif tepki gösterdiğini, (Özdemir, 2020) ise farklı sektörlerde faaliyet gösteren firmalar için farklılaştığı sonucuna ulaşmıştır. (Şenol ve Oğtekin, 2021), sağlık, teknoloji ve perakende dağıtım gibi sektörlerin COVID-19 sürecinde pozitif yönde etkilendiğini, ulaşım ve turizm gibi sektörlerin ise salgından negatif etkilendiği sonucuna ulaşmışlardır. Son olarak, Şükrioğlu (2022) ise BIST-100'de yer alan tüm firmaların hisse senedi oynaklıklarını göz önünde bulundurmuş ve hem COVID-19 öncesi hem de COVID-19 dönemleri için hisse senetleri arasındaki ağ yapısı farklılığını incelemişlerdir. COVID-19 ile birlikte hisse senedi oynaklıkları arasındaki birbirine bağlılık derecesinin arttığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada BIST'te işlem gören 22 alt sektöre ait 48 adet hisse senedi getirisi arasındaki ağ yapısı Diebold ve Yılmaz (2014) tarafından önerilen yöntem çerçevesinde analiz edilmiştir. Diebold ve Yılmaz (2014) aslında daha önceki çalışmalarında (Diebold ve Yılmaz, 2009, 2012) elde ettikleri net yayılma endeksi tablosunun ağ teorisinde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Çalışmalarında ABD'de faaliyet gösteren büyük bankalar arasındaki ağ yapısının 2007-2008 mali krizi öncesinde ve sonrasında nasıl değiştiğine ilişkin önemli bulgular elde etmişlerdir. Benzer yöntemi kullanan Balcılar vd. (2022), 27 gelişmekte olan hisse senedi piyasası ve yedi önemli kripto para birimi arasındaki ağ yapısını birçok çok değişkenli vektör otoregresif (standart, kantil, frekans ve lasso) model çıktısı yardımı ile analiz etmişlerdir. Bu çalışmada olduğu gibi veri setlerini COVID-19 (koronavirüs) öncesi ve sonrası olarak iki farklı dönem altında incelemişler ve böylece küresel sağlık krizinin finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi nasıl etkilediğini araştırmışlardır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu başta bankacılık olmak üzere 22 farklı sektörde faaliyet gösteren Türk borsasına kote 48 işletme arasındaki ağ ilişkisini COVID-19 öncesi dönem (1 Ocak 2017 – 11 Mart 2020) ve COVID-19 sonrası dönem (11 Mart 2020 – 31 Mayıs 2022) için analiz etmektir. Şirketler piyasa değeri 1 milyar dolar ve üstü olan işletmeler arasından seçilmiştir. Çalışmanın temel amacı Türk ekonomisini resmeden bu şirket hisse getirilerinin sektörel gruplamaya uygun olup olmadığının tespit edilmesidir. Çalışmanın diğer bir amacı ise hisse senetlerinin yer aldıkları grupların COVID-19 pandemisi ile birlikte bir değişim geçirip geçirmediğini tespit edilmesidir. Makale çıktısının Türkiye hisse senedi piyasasında yatırım yapan yatırımcılar için ipuçları sunacağı düşünülmektedir. Örneğin otomotiv sektöründe faaliyet gösteren şirketlere ait hisse senetlerinin Covid-19 önce ve sonrasında farklı gruplar altında yer alması bu şirketlerin hisselerinin her zaman beraber hareket etmediğinin bir göstergesi olarak gösterilebilir. Hisse senedi yatırımcılarının yatırım yaptıkları hisselerin hangi grupta yer aldığına ilişkin bilgi sahibi olmaları hisse senedi yatırımcılarının aldıkları riskler konusunda daha bilinçli hareket etmelerini sağlayacaktır. Ayrıca, çalışmada elde edilen birçok farklı ağ teorisi ölçüm yöntemleri ile hisse senedi piyasasında kritik rol oynayan hisse senetleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ağ yapısını karakterize eden yaklaşımın Granger-nedensellik yaklaşımına göre üstünlükleri mevcuttur. Her ne kadar Granger-nedensellik yaklaşımı yönsel bir yaklaşım olsa da yöntemin ikili ve ağırlıksız olması, katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına bağlı olmasından dolayı bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemlere göre daha az çekicidir (Diebold ve Yılmaz, 2014).

Çalışmanın literatüre katkısı çok yönlüdür. Birincisi, son zamanlarda finansal varlıklar arasındaki ilişkinin daha iyi ortaya konabilmesi için kullanılan yöntemin (ağ analizi) yeni oluşu ve bilindiği kadarıyla Türk yazınında bu tür bir çalışmanın daha önce hiç yapılmamış olmasıdır. İkincisi, veri setinde yer alan sermaye piyasasına kote şirketlerin toplam sermaye olarak neredeyse Türkiye hisse senedi piyasasını yansıtır olmasıdır. Her ne kadar literatürde BIST100'ün getirisi ve oynaklık

yapısına ilişkin birçok çalışma mevcut olsa da 48 hisse senedi arasındaki dinamik ilişkinin incelenmesi literatüre ciddi katkı sağlamaktadır. Üçüncüsü, bu çalışmada diğer çalışmalar da olduğu gibi sadece yayılma etkisinin sonuçları irdelenmemiş, birçok ağ ölçüm yöntemi ile hisse senetleri arasındaki ilişki derinlemesine araştırılmıştır. Son olarak, analiz dönemi Covid-19 öncesi ve sonrası olarak iki farklı döneme ayrılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Bu bulguların da son zamanlarda Covid-19'un hisse senedi piyasası üzerine olan etkisini inceleyen literatüre ve tartışmalara ciddi anlamda katkı yaptığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular şu şekildedir. COVID-19 salgını öncesi dönem için optimal kümeleme yöntemi ile yapılan analiz sonucunda, 48 hisse senedi getirisinin üç ana alt gruba ayrıldığı görülmektedir. COVID-19 salgınından sonra ise optimal grup sayısı dörde çıkmıştır. Her iki dönem için de yapılan analiz sonucu elde edilen grup sayısı bu 48 şirketin faaliyet gösterdiği 22 farklı sektörden çok daha azdır. Bu bulgu da hisse senetlerinin kendi sektörel gerçekleri doğrultusundan çok finansal gerçekler doğrultusunda hareket ettiğini göstermektedir. Birçok hisse senedinin yer aldığı gruplar salgın sonrası değişmiştir. Bu ampirik bulgu hisse senetleri arasındaki ağ yapısının statik değil dinamik olduğudur. Diğer bir önemli bulgu ise bu ağ yapısı içinde bankacılık sektörünün oynadığı merkezi rolüdür. Türkiye'de bankaların firmaların kısa ve uzun dönemli finansman ihtiyacında oynadığı kritik rol bu bulguyu desteklemektedir. Son olarak, COVID-19 salgını sonrasında söz konusu ağ içindeki hisse senetleri getirisi arasındaki korelasyonun arttığı gözlemlenmiştir.

Makalenin 1. bölümünde çalışma kapsamında kullanılan ekonometrik yöntem, 2. bölümünde veri seti ve tanımlayıcı istatistikler, 3. bölümünde ampirik bulgular ve son bölümünde ise sonuç ve değerlendirmeler yer almaktadır.

I. YÖNTEM

Gecikme değeri p olan N değişkenli standart bir VAR(p) modelini ele alalım;

$$x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

burada $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma)$ 'dir. Bu modelin hareketli ortalama (moving average, MA) gösterimi $x_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i}$ şeklinde olur. Burada A_i $N \times N$ boyutlu katsayı matrisini temsil etmekte olup $A_i = \Phi_1 A_{i-1} + \Phi_2 A_{i-2} + L + \Phi_p A_{i-p}$ özinelemesine uymakta ve A_0 bir $N \times N$ birim matristir. Bu matris $i < 0$ için $A_i = 0$ değerini almaktadır. Cholesky çarpanlara ayırma yöntemi değişkenlerin sıralamasına bağlı olduğu için bu çalışmada VAR modelinden elde ettiğimiz varyans ayrıştırma Koop vd. (1996) ve Pesaran ve Shin (1998) tarafından geliştirilen genelleştirilmiş yaklaşım tercih edilmiştir. Böylece, değişkenlerin hangi sırada modele girdiğinin önemi kalmamıştır.

Yayımla bağlantılılık tablosunun her girişi ($enrty$) $\theta_{ij}^g(H)$ olarak gösterilmektedir. Bu, j piyasasının i piyasasının H -adım ileri genelleştirilmiş tahmin hatası varyansına katkısını şu şekilde tahmin etmektedir:

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{ij}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma e_j')^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma A_h' e_i)^2}, \quad H = 1, 2, \dots \quad (2)$$

burada Σ , hataların kovaryans matrisini, σ_{ij} , Σ 'nin j 'inci köşegen elemanını temsil etmektedir. e_i seçim vektörü (*selection vector*) olup ve i 'nci bileşen için bir, diğer durumlar için sıfır değerini alır.

Genelleştirilmiş varyans ayrıştırma matrisinin satırlarının toplamı bire eşit olmadığından ($\sum_{i=1}^N \theta_{ij}^g(H) \neq 1$), söz konusu matrisin her bir girişi için aşağıdaki şekilde olduğu gibi normalleştirme gerekmektedir.

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

Dolayısıyla, her bir piyasada, kendi şokları da dahil olmak üzere, varyans ayrıştırmanın toplamı bire eşit olur. Yani $\sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = 1$ olup tüm piyasalar için toplam ayrıştırma $\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = N \cdot e$ eşit olmaktadır.

Bu çalışmada bir bağlantılılık tablosu oluşturmak için $\theta_{ij}^g(H)$, $C_{i \rightarrow j}^H$ 'ye çevrilmiştir. Genel olarak, $C_{i \rightarrow j}^H \neq C_{j \rightarrow i}^H$ olduğu için $N^2 - N$ adedince farklı ikili bağlantılılık ölçüleri elde edilir. i finansal varlığından j finansal varlığına ne kadar net getiri yayılımının aktarıldığını elde etmek için, net çift yönlü bağlantılılığı $C_{ij}^H = C_{i \rightarrow j}^H - C_{j \rightarrow i}^H$

olarak hesaplamamız gerekmektedir. Sonuç olarak, $\frac{N^2 - N}{2}$ adet net ikili bağlantılılık ölçümleri elde edilir. Aslında, burada elde edilen net ikili bağlantılılık tablosu, tüm ağ özelliklerinin gömülü olduğu $N \times N$ bitişiklik matrisi (*adjacency matrix*) A 'dan başka bir şey değildir. Bu nedenle, bu çalışmada ağırlıklı yönlendirilmiş bir ağ grafiği (*directed network graph*) oluşturmak için bu bitişiklik matrisi A 'yı kullanabiliriz.

Net ikili bağlantılılık (*net pairwise connectedness*) tablosunda iki finansal varlık arasındaki getiri yayılımının büyüklüğü, ağırlıklı kenarları elde etmek için kullanılırken, bu çalışmada kullanılan hisse senetleri düğüm noktalarını göstermektedir. Oklar, j varlığından i varlığına getiri yayılma yönlerini göstermektedir.

Çalışma kapsamında net ikili bağlantılılık tablosu elde edildikten sonra ağ grafiği elde edilmiş ve bu ağ grafiği kullanılarak birçok ağ merkezizet ölçümü (*network centrality measures*) hesaplanmıştır. Ağ merkezizet ölçümleri, bir ağın içindeki düğümlerin önemini veya etkisini değerlendirmek için kullanılan ölçümlerdir. Bu ölçümler, bir düğümün diğer düğümlerle olan ilişkisini veya ağ içindeki yerini temsil etmektedir. Bir düğümün merkezizet ölçümleri, ağ analizinde önemli bir rol oynamakta ve çeşitli algoritmalar ve metrikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında 6 farklı ağ merkezizet ölçümü hesaplanmıştır.

Grafik teorisinde ve ağ analizinde, bir grafikteki en kritik düğümleri belirlemek için bazı ağ merkezizet göstergeleri kullanılır. İlk olarak, derece merkezizeti (*degree centrality*) en basit ağ analizi ölçümlerinden biridir ve basitçe bir düğümün sahip olduğu bağlantıların sayısını sayar. i düğümü için, derece merkezizeti şu şekilde verilir:

$$D_i = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^n A_{ij}, \quad (4)$$

burada A_{ij} , yukarıda tanımlanan bitişiklik matrisi A 'nın ij -ninci ögesi ve n , düğüm sayısıdır. Yönel (*directed*) bir ağda iki merkezizet derecesi ölçüsü tanımlayabiliriz. Derece içi merkezizet (*in-degree*) bir düğümün aldığı gelen bağlantıların sayısı ile ölçülür. Yani, bir düğümün kaç farklı düğümden bağlantı aldığı gösterir. Derece içi merkezizeti yüksek olan düğümler, diğer düğümler tarafından daha çok erişilen veya etkilenen düğümlerdir. Bu ölçüm, bir düğümün popüleritesini veya girişimini temsil etmektedir. Derece dışı (*out-degree*) merkezizet ise bir düğümün gönderdiği çıkış bağlantıların sayısı ile ölçülür. Bu ölçüm, bir düğümün etkileme gücünü veya bilgi yayma kabiliyetini temsil edebilir.

İkinci olarak, Freeman (1977) tarafından tanımlanmış ve bir düğümün diğer iki düğüm arasındaki kısa yol boyunca köprü görevi görme sayısını ölçen ara düğüm merkezizetini (*betweenness centrality*) hesaplanmıştır. Ara düğüm merkezizeti, bir düğümün, ağdaki diğer düğümler arasında geçiş yollarında ne kadar sıklıkla bulunduğunu ölçer. Ara düğüm merkezizeti yüksek olan düğümler, ağdaki bilgi veya etkileşimin akışında kilit roller oynar.

$$B(i) = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{u,v=1, u \neq i \neq v}^n \frac{\sigma_{uv}(i)}{\sigma_{uv}} \quad (5)$$

burada u ve v düğümlerdir ve bir jeodezik yol bu iki düğüm arasındaki mümkün olan en az bağlantı olarak tanımlanır. σ_{uv} , jeodezik sayısını gösterirken, $\sigma_{uv}(i)$, i geçiş düğümü olan u ve v 'den geçen jeodezik yolların sayısını göstermektedir. Ara düğüm merkezizeti, bir düğümün ağdaki diğer düğümler arasında geçiş yollarında ne kadar sıklıkla bulunduğunu ölçer. Ara düğüm merkezizeti yüksek olan düğümler, ağdaki bilgi veya etkileşimin akışında kilit rol oynamadığını göstermektedir.

Son olarak, getiri yayılımının rolüne ilişkin en etkili düğümleri belirlemek için Özvektör merkezizeti (*eigenvector centrality*) (S_i) ve onun farklı bir çeşidi olan Google PageRank hesaplanmıştır. Matris gösteriminde,

$$S_i = C_i S_i \quad (6)$$

burada S_i , $N \times 1$ boyutlu özvektör merkezizet vektörüdür, C_i ise $N \times N$ boyutlu bitişiklik matrisidir. Denklem 6'daki S_i çözümü için C_i 'nin en büyük özdeğeri tercih edilir. Yüksek özvektör merkezizetine sahip düğümler, ağdaki güçlü veya etkili düğümleri temsil etmektedir. PageRank merkezizet ölçümü ise her düğüme bir önem puanı atamakta ve bu puanlar düğümler arasındaki bağlantıları dikkate alarak hesaplanmaktadır. Daha yüksek öneme sahip düğümler, daha

fazla bağlantıya sahip olan ve önemli düğümlerden gelen bağlantılara sahip olan düğümler tarafından daha fazla desteklenir. PageRank, ağdaki önemli düğümleri tespit etmek ve yayılan etkileri ölçmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen ağ grafiklerinde gösterilen bağlantı sayısı çok fazla olduğu için hangi düğümün merkezi bir rol oynadığını şekle bakarak anlamak çok güçtür. Bu yüzden, çalışmanın diğer bölümlerinde yer verilen ağ istatistiklerinin hesaplanması yorumlama açısından çok büyük önem arz etmektedir.

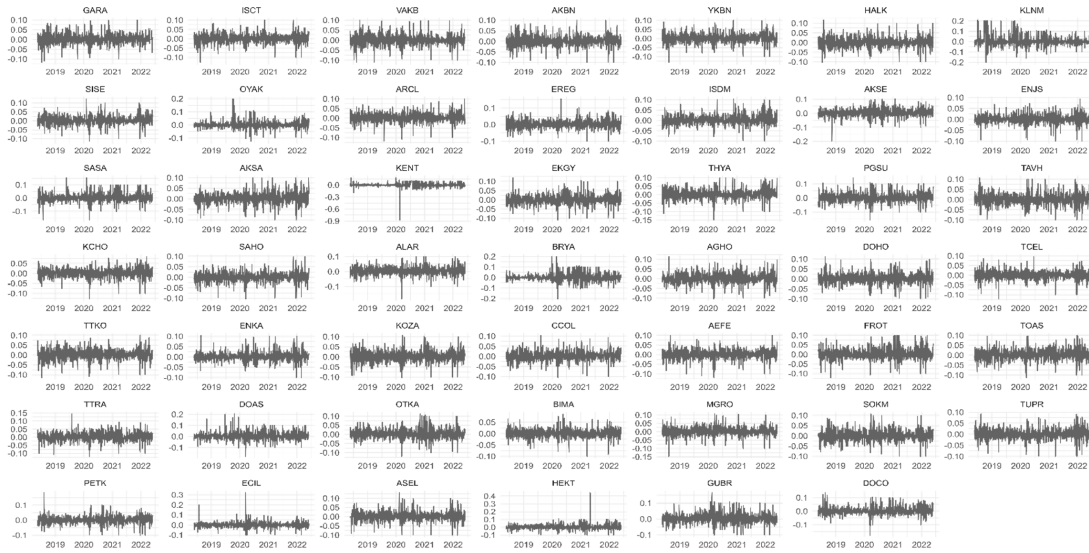
II. VERİ SETİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKLER

Çalışmada Borsa İstanbul'da işlem gören ve piyasa değeri 1 milyar dolardan fazla olan 48 şirkete ait hisse senetlerinin günlük getirileri kullanılmıştır. Söz konusu şirketlerin faaliyet gösterdiği alanların çok geniş bir yelpazede olduğu görülmektedir¹. Günlük veriler 1023 gözlem den oluşmakta olup 1 Ocak 2017 ile 31 Mayıs 2022 arası dönemi kapsamaktadır. COVID-19 öncesi dönem 1 Ocak 2017 – 10 Mart 2020 tarihlerini, COVID-19 dönemi ise 11 Mart 2020 – 31 Mayıs 2022 tarihleri arasında kapsamaktadır. Tüm gözlem dönemini içine alan getiri serileri Şekil-1'de gösterilmektedir. Getiri serilerinin genel anlamda finansal varlıkların stilize gerçekleri (Cont, 2001) olarak sayılan özellikleri yansıttığını söyleyebiliriz. Örneğin, getiri oynaklıklarının kümelenmeler gösterdiği görülmektedir. Yani bazı dönemlerde getiri değişiminin hızlandığı ve bir süre devam ettiği görülmektedir.

Bununla birlikte, çalışmada kullanılan getiri serilerine ilişkin tanımlayıcı istatistiklere Tablo-1'de yer verilmektedir. Tabloda getirilere ilişkin ortalama, ortanca, çarpıklık (D'agostino, 1970), basıklık (Anscombe ve Glynn, 1983), Jarque-Bera normallik testi (Jarque ve Bera, 1980), ERS birim kök testi (Elliott vd., 1996) ve ağırlıklı Portmanteau (Fisher ve Gallagher, 2012) istatistiklerine yer verilmektedir. Söz konusu istatistiklere bakıldığında, getiri serilerinin normal dağılıma sahip olmadıkları, birim kök içermedikleri ve ARCH (Otoregresif Koşullu Değişken Varyans) etkisine sahip oldukları söylenebilir.

Son olarak Şekil-2'de söz konusu 48 adet getiri serisi arasındaki korelasyon ısı haritasına (correlation heat map) yer verilmektedir. Isı haritası hem COVID-19 salgını öncesi dönemini, hem de COVID-19 dönemini göstermektedir. Şekle bakıldığında genel olarak getiri serileri arasındaki korelasyonun farklı derecelerde pozitif olduğu söylenebilir. En güçlü pozitif ilişki banka hisse senedi getirileri arasındadır. Diğer bir pozitif güçlü ilişkinin ise havayolları ve hizmetleri sektöründe faaliyet gösteren Türk Hava Yolları, Pegasus Hava Taşımacılığı ve TAV Holding arasında olduğu söylenebilir. Ayrıca, bankacılık hisse senetleri ile Koç Holding, Sabancı Holding, Türk Telekom, Migros ve Aselsan arasında yine güçlü pozitif korelasyonun varlığından söz edebiliriz. Bunun dışında COVID-19 salgını başladıktan sonra hisse senedi getirileri arasındaki korelasyonun arttığını söyleyebiliriz.

ŞEKİL 1 | Hisse Senedi Getirilerinin Zaman Serisi (Tüm gözlem dönemi)



TABLO 1 | Tanımlayıcı İstatistik Sonuçları

Hisse Senedi	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	JB	ERS	Q(20)	Q2(20)
GARAN	0.001	0.001	-0.064	2.801	334.681***	-7.992***	8.554	61.738***
ISCTR	0.001	0.001	-0.215	2.877	360.326***	-10.529***	11.623	49.701***
VAKBN	0.000	0.001	-0.064	2.976	377.759***	-7.436***	12.209	40.425***
AKBNK	0.000	0.001	0.033	2.609	290.053***	-9.817***	12.889	40.799***
YKBNK	0.001	0.001	-0.099	2.635	297.412***	-8.888***	12.231	69.285***
HALKB	0.000	0.001	0.113	2.832	343.816***	-8.277***	11.582	51.735***
KLNMA	0.004	0.003	1.043	4.347	989.960***	-8.711***	80.870***	2087.284***
SISE	0.002	0.001	-0.095	3.478	516.567***	-4.401***	11.202	104.158***
OYAKC	0.002	0.001	1.314	9.938	4499.844***	-7.931***	20.169**	200.355***
ARCLK	0.002	0.001	-0.296	3.540	548.741***	-4.313***	5.379	95.006***
EREGL	0.002	0.001	0.333	3.292	480.312***	-4.113***	9.165	66.011***
ISDMR	0.002	0.000	0.282	3.358	493.794***	-3.012***	17.165*	111.394***

¹ Şirketlerin belirlenmesinde İş Yatırımın <https://www.isyatiirim.com.tr/tr-tr/analiz/hisse/Sayfalar/Temel-Değerler-Ve-Oranlar.aspx#page-1> web sitesindeki özet tablodan yararlanılmıştır. Piyasa değeri 1 milyar dolar ve üstünde olan 48 şirket 22 farklı sektörde faaliyet göstermektedir

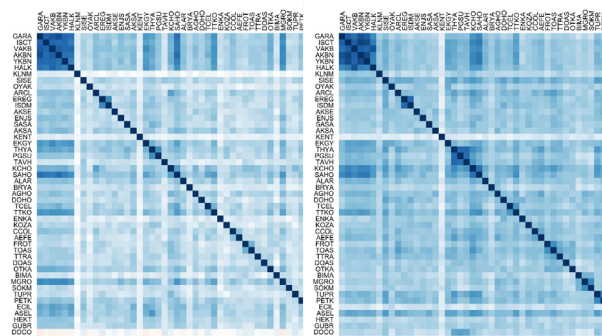
TABLO 1 (Devamı) | Tanımlayıcı İstatistik Sonuçları

Hisse Senedi	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Baskılık	JB	ERS	Q(20)	Q2(20)
AKSEN	0.003	0.001	-0.381	4.300	812.229***	-13.325***	14.134	42.818***
ENJSA	0.001	0.000	-0.283	3.686	592.255***	-6.311***	11.441	63.181***
SASA	0.003	0.001	0.417	3.795	642.812***	-4.721***	18.017**	262.907***
AKSA	0.003	0.001	0.088	2.677	306.409***	-7.602***	13.304	83.336***
KENT	0.002	0.003	-4.485	80.813	281526.222***	-11.130***	45.997***	0.88
EKGYO	0.001	0.001	0.11	2.723	317.849***	-9.986***	10.794	45.180***
THYAO	0.001	0.001	-0.016	2.870	350.721***	-10.494***	14.222	116.777***
PGSUS	0.002	0.001	0.201	2.040	184.064***	-4.717***	31.112***	598.195***
TAVHL	0.001	0.001	0.271	1.912	168.120***	-5.190***	15.24	228.789***
KCHOL	0.001	0.000	-0.526	3.635	609.673***	-12.701***	8.184	109.221***
SAHOL	0.001	0.000	-0.293	3.251	464.679***	-12.471***	9.025	90.983***
ALARK	0.003	0.001	-0.190	3.687	585.094***	-3.331***	16.428*	65.087***
BRYAT	0.003	0.001	0.666	4.105	793.050***	-4.463***	43.244***	460.380***
AGHOL	0.001	0.001	0.069	2.259	218.059***	-7.658***	22.131***	48.625***
DOHOL	0.002	0.001	0.036	2.955	372.168***	-5.036***	8.814	110.034***
TCELL	0.001	0.000	-0.323	3.752	617.129***	-5.893***	10.766	65.380***
TTKOM	0.001	0.001	-0.349	2.421	270.202***	-12.364***	11.212	102.225***
ENKAI	0.002	0.000	0.431	4.973	1084.767***	-11.695***	12.954	106.678***
KOZAL	0.002	0.001	-0.027	2.525	271.655***	-12.911***	12.488	92.658***
CCOLA	0.002	0.001	-0.093	2.672	305.593***	-8.223***	12.354	38.981***
AEFES	0.001	0.001	-0.569	3.972	726.865***	-5.766***	7.391	34.609***
FROTO	0.002	0.001	0.119	2.655	302.518***	-9.896***	13.092	238.886***
TOASO	0.002	0.001	-0.127	2.346	237.061***	-5.418***	16.900*	134.428***
TTRAK	0.002	0.001	-0.024	2.595	286.770***	-9.165***	7.901	33.288***
DOAS	0.003	0.001	0.889	4.495	994.903***	-5.503***	26.207***	40.799***
OTKAR	0.002	0.001	0.392	3.103	436.044***	-10.440***	25.489***	233.216***
BIMAS	0.001	0.000	-0.192	3.622	565.034***	-6.408***	11.274	127.401***
MGROS	0.001	0.001	-0.168	3.722	594.605***	-7.645***	17.967**	49.886***
SOKM	0.001	0.001	0.114	2.837	344.886***	-15.361***	27.944***	104.845***
TUPRS	0.001	0.001	-0.182	2.929	371.073***	-10.634***	12.854	204.921***
PETKM	0.002	0.001	0.200	5.171	1145.649***	-3.937***	13.491	75.172***
ECILC	0.002	0.001	1.931	20.871	19184.278***	-9.074***	24.482***	93.777***
ASELS	0.001	0.001	0.126	3.856	635.832***	-13.262***	15.293	130.550***
HEKTS	0.004	0.001	2.893	36.345	57675.311***	-7.680***	22.052***	4.104
GUBRF	0.004	0.001	0.518	2.485	308.613***	-8.637***	29.041***	228.369***
DOCO	0.002	0.001	0.362	4.331	820.951***	-4.640***	40.331***	327.490***

Not: ***, **, * istatistiksel olarak sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir. Aynı sektöre ait hisse senetleri kalın çizgi ile çerçeve içine alınmıştır.

ŞEKİL 2| Getiri Serileri Arasındaki Korelasyon Tablosu

A) COVID-19 öncesi dönem B) COVID-19 dönemi



III. AMPİRİK BULGULAR

Bu çalışmanın amacı BIST-100'de yer alan ve 22 farklı sektörde faaliyet gösteren 48 şirketin hisse senedi getirilerine ilişkin ağ yapısının COVID-19 salgını ile nasıl değiştiğinin tespit edilmesidir. Aşağıda her iki alt dönem için bu elde edilen ampirik bulgulara yer verilmektedir.

A. COVID-19 ÖNCESİ DURUMA İLİŞKİN BULGULAR

COVID-19 öncesi duruma ilişkin yapılan analizde gözlem dönemi 1 Ocak 2017- 10 Mart 2022 tarihleri arasındaki günlük gözlemlerden oluşmaktadır. Bu alt dönem için toplam gözlem sayısı 420'dir. COVID-19 öncesi bu 48 değişken arasındaki getiri yayılma endeksi standart VAR modeli ile tahmin edilmiştir. Elde edilen net ikili bağlantılılık endeksi sonuçları modüler kümeleme (Brandes vd., 2008) yöntemi ile gruplara ayrılmıştır. Ampirik veriler dikkate alındığında

48 şirketin 3 ana grup altında toplandığı görülmektedir². Genel olarak bakıldığında Kalkınma Bankası hariç diğer bankaların hisse senedi getirilerinin aynı grup içinde yer aldığı görülmektedir. Genel olarak bakıldığında aynı sektörde faaliyet gösteren şirketlerin farklı kümeler içinde yer aldığı görülmektedir. Buna istisna teşkil eden sektör bankacılık sektörüdür. Örneğin, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren şirketlerden Türk Traktör, Doğu Otomotiv ve Otokar'ın 2. grupta yer alırken, Ford Otosan ve Tofaş 3. grupta yer almaktadır. Çalışma kapsamında uygulanan modüler kümeleme yönteminin gruplama için iyi bir tercih olduğunu bankaların da yer aldığı 1. Grup şirketler arasındaki korelasyonun COVID-19 öncesi dönemde nispeten yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo-2'de ise COVID-19 öncesi dönem için çeşitli ağ tabanlı metrik sonuçlarına yer verilmektedir. Ağ analizinde 48 adet değişkenin kullanılması, düğümlere giren ve düğümlerden çıkan bağlantı sayısını anlamayı bir hayli zorlaştırmaktadır. Bunun yerine söz konusu bağlantı sayısı ve derecelerini dikkate alan farklı metriklerin yorumlanması bu tip çok değişken içeren çalışmalar için önemlidir. Derece içi ve derece dışı merkeziliği en fazla olan paylar genellikle bankacılık sektöründe faaliyet gösteren şirketlere ait olduğu görülmektedir. Ara düğüm merkeziliği ve yakınlık merkeziliği değerlerine bakıldığında ağdaki bilgi ve iletişim akışında en kilit rolü oynayan pay DO ve CO'dur. Ayrıca Türkiye Kalkınma Bankası, TAV Holding, Doğu Otomotiv ve Bim Birleşik Mağazalar A.Ş. hisse senetlerinin de kritik rol oynadığı söylenebilir.

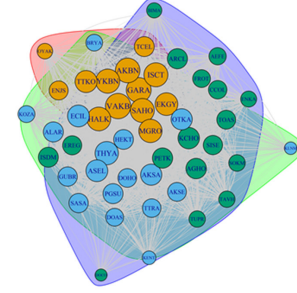
TABLO 2 | COVID-19 Öncesi Dönem İçin Çeşitli Ağ Tabanlı Metrik Sonuçları

Hisse Adı	Kod	Sektör	Derece içi merkezilik	Derece dışı merkezilik	Yakınlık merkeziliği	Özvektör merkeziliği	Ara düğüm merkeziliğini	Google Sayfa Sıralaması
Garanti Bankası	GARA	Bankacılık	912.198	1.528.059	0.0175	0.9880	0	0.0215
İş Bankası (C)	ISCT	Bankacılık	904.089	1.441.179	0.0215	0.9435	0	0.0215
Vakıfbank	VAKB	Bankacılık	914.236	1.575.180	0.0195	10.000	0	0.0217
Akbank	AKBN	Bankacılık	909.705	1.501.868	0.0167	0.9747	0	0.0215
Yapı Kredi Bankası	YKBN	Bankacılık	907.965	1.460.899	0.0188	0.9527	0	0.0215
Halkbank	HALK	Bankacılık	898.994	1.328.232	0.0195	0.8983	0	0.0213
T. Kalkınma Bankası	KLNM	Bankacılık	448.444	114.367	0.1051	0.2175	671	0.0138
Şişecam	SISE	Cam	798.736	733.139	0.0394	0.5555	0	0.0227
Oyak Çimento	OYAK	Çimento	628.335	311.954	0.0419	0.3740	18	0.0171
Arçelik	ARCL	Dayanıklı Tüketim	839.286	848.646	0.0522	0.6448	16	0.0218
Ereğli Demir Çelik	EREG	Demir-Çelik	802.867	658.536	0.0457	0.5533	0	0.0213
İskenderun Demir Çelik	ISDM	Demir-Çelik	827.524	801.453	0.0345	0.6144	0	0.0218
Aksa Yenilenebilir Enerji	AKSE	Elektrik	788.339	591.957	0.0601	0.5300	15	0.0207
Enerjisa Enerji	ENJS	Elektrik	796.958	590.796	0.0445	0.5342	0	0.0212
Sasa Polyester Sanayi A.Ş.	SASA	Endüstriyel Tekstil	796.539	712.623	0.0379	0.5700	0	0.0215
Aksa	AKSA	Endüstriyel Tekstil	864.056	1.032.350	0.0522	0.7171	0	0.0226
Kent Gıda	KENT	Gıda	651.503	319.422	0.0410	0.3677	10	0.0184
Emlak Konut GYO	EKGY	GYO	879.591	1.110.674	0.0176	0.7753	0	0.0222
Türk Hava Yolları	THYA	Havayolları ve Hizmetleri	879.993	1.225.693	0.0351	0.7922	0	0.0233
Pegasus Hava Taşımacılığı	PGSU	Havayolları ve Hizmetleri	811.999	751.682	0.0563	0.5922	16	0.0218
TAV Holding	TAVH	Havayolları ve Hizmetleri	638.955	301.245	0.0626	0.3297	304	0.0199

2 1. Grup (Turuncu-13 Düğüm): GARA, ISCT, VAKB, AKBN, YKBN, HALK, OYAK, ENJS, EKGY, SAHO, TCEL, TTKO, MGRO; 2. Grup (Mavi - 18 Düğüm): KLNM, AKSE, SASA, AKSA, KENT, THYA, PGSU, ALAR, BRYA, DOHO, KOZA, TTRA, DOAS, OTKA, ECIL, ASEL, HEKT, GUBR; 3. Grup (Yeşil - 17 Düğüm): SISE, ARCL, EREG, ISDM, TAVH, KCHO, AGHO, ENKA, CCOL, AEFPE, FROT, TOAS, BIMA, SOKM, TUPR, PETK, DOCO.

Diğer taraftan, yine ağdaki düğümlerin ne kadar merkezi bir konumda olduğunu gösteren başka bir metrik olan özvektör merkeziliği banka hisse senetlerinin hisse getirisi yayılımı açısından merkezi konumda bulduklarını işaret etmektedir. Bu bulgu da reel sektörün gerek kısa dönem faaliyet gideri finansmanında gerekse de uzun dönem yatırım finansmanında kritik bir öneme sahip olan bankacılık sisteminin pay piyasasında da merkezi rol oynadığını göstermektedir.

ŞEKİL 3 | COVID-19 Öncesi Dönem İçin Ağ Analizi Sonuçları



TABLO 2 (Devamı) | COVID-19 Öncesi Dönem İçin Çeşitli Ağ Tabanlı Metrik Sonuçları

Hisse Adı	Kod	Sektör	Derece İçi Merkezilik	Derece Dışı Merkezilik	Yakınlık Merkeziliği	Özvektör Merkeziliği	Ara Düğüm Merkeziliğini	Google Sayfa Sıralaması
Koç Holding	KCHO	Holdingleler	868.442	1.085.781	0.0642	0.7255	0	0.0232
Sabancı Holding	SAHO	Holdingleler	902.421	1.426.373	0.0213	0.9127	0	0.0222
Alarko Holding	ALAR	Holdingleler	821.359	723.503	0.0312	0.6021	0	0.0210
Borusan Yatırım	BRYA	Holdingleler	724.604	383.337	0.0426	0.4344	57	0.0187
Anadolu Grubu Holding	AGHO	Holdingleler	830.406	820.068	0.0528	0.6298	12	0.0215
Doğan Holding	DOHO	Holdingleler	759.380	527.238	0.0348	0.4915	2	0.0205
Turkcell	TCEL	İletişim	821.849	754.471	0.0301	0.6175	0	0.0208
Türk Telekom	TTKO	İletişim	874.283	1.062.061	0.0260	0.7739	0	0.0213
Enka İnşaat	ENKA	İnşaat- Taahhüt	650.370	293.847	0.0480	0.3573	63	0.0184
Koza Altın	KOZA	Madencilik	738.819	491.775	0.0402	0.4659	7	0.0203
Coca-Cola İçecek A. Ş	CCOL	Meşrubat / İçecek	829.058	772.005	0.0526	0.6109	0	0.0219
Anadolu Efes	AEFE	Meşrubat / İçecek	749.050	500.938	0.0471	0.4663	13	0.0205
Ford Otosan	FROT	Otomotiv	750.473	546.685	0.0383	0.4689	9	0.0219
Tofaş Fabrika	TOAS	Otomotiv	787.888	582.682	0.0353	0.5197	0	0.0212
Türk Traktör	TTRA	Otomotiv	800.955	615.621	0.0338	0.5444	0	0.0210
Doğuş Otomotiv	DOAS	Otomotiv	768.467	466.959	0.0759	0.4869	111	0.0200
Otokar	OTKA	Otomotiv	859.838	1.006.135	0.0691	0.7162	12	0.0221
Bim Birleşik Mağazalar A. Ş	BIMA	Perakende- Ticaret	680.990	398.755	0.0695	0.3876	103	0.0204
Migros	MGRO	Perakende- Ticaret	891.207	1.288.928	0.0177	0.8428	0	0.0223
Şok Marketler	SOKM	Perakende- Ticaret	690.789	364.815	0.0550	0.3955	72	0.0199
Tüpraş	TUPR	Petrol	696.769	376.557	0.0476	0.3959	54	0.0200
Petkim	PETK	Petrol	811.447	750.271	0.0267	0.5905	0	0.0213
Eczacıbaşı İlaç	ECIL	Sağlık ve İlaç	866.190	1.062.872	0.0234	0.7455	0	0.0220
Aselsan	ASEL	Savunma	880.025	1.157.538	0.0218	0.7863	0	0.0223
Hektaş	HEKT	Tarım Kimyasalları	823.848	729.112	0.0758	0.6079	65	0.0212
Gübre Fabrikaları	GUBR	Tarım Kimyasalları	840.617	789.951	0.0358	0.6367	0	0.0213
DO ve CO Aktiengesellschaft	DOCO	Ulaştırma-Lojistik	385.422	87.045	0.1266	0.1741	1054	0.0133

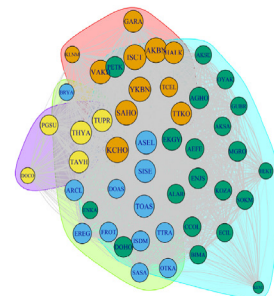
B. COVID-19 DÖNEMİNE İLİŞKİN BULGULAR

COVID-19 dönemindeki ağ yapısını araştırmak için 11 Mart 2020 ve 31 Mayıs 2022 tarihleri arasındaki gözlemler alınmıştır. Toplam gözlem sayısı 463'tür. Şekil-5'te COVID-19 salgını dönemindeki ağ yapısı gruplaması görülmektedir. Görüldüğü üzere salgın başlaması durumunda grup sayısı 3'ten 4'e çıkmıştır.³ COVID-19 salgını dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de büyük etkilere neden olmuştur. Bu salgının en çok etkilediği sektörlerden biri hiç şüphesiz havacılık ve taşımacılık sektörü olmuştur. Salgının yayılmasıyla birlikte ülkeler arası seyahatler kısıtlanmış, sınırlar kapatılmış ve insanların seyahat etme alışkanlıkları önemli ölçüde değişmiştir. Örneğin salgın öncesi 19 TL'yi THY hisseleri salgın nedeniyle alınan tedbirler sonrası 8 TL'nin altına gerilediği görülmüştür. Aynı dönemde 86 TL olan Pegasus hisse senedi fiyatı ise 23 TL'nin altına kadar gerilemiştir. THYA, PGSU, TAVH, TUPR ve DOCO aynı grup içinde yer alan hisse senetleridir. Burada dikkat çeken husus şudur ki, COVID-19 salgını sonrasında yarıya yakın hisse senedi COVID-19 dönemi öncesine göre farklı gruplar içinde yer aldığı görülmektedir. Bu da bize, hisse senedi getirilerinin ağ yapısının statik olmaktan çok dinamik olduğunu göstermektedir.

Tablo-3, COVID-19 dönemi için çeşitli ağ tabanlı metrik sonuçlarını göstermektedir. COVID-19 döneminde de derece içi ve derece dışı

merkeziliği en fazla olan paylar yine bankalara ait hisse senedi getirilerinde olduğu görülmektedir. Salgın sonrası dönem için ağdaki bilgi ve iletişim akışında en kilit rolü oynayan pay senedi Kent Gıda olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sonuç şaşırtıcı değildir çünkü salgından önce 130 TL civarında olan hisse senedi fiyatı, salgından sonra spekülasyon bir şekilde 2300 TL'nin üzerini görmüştür. DO ve CO ise salgından sonra yine ağdaki bilgi ve iletişim akışındaki önemli konumunu korumuştur. COVID-19 öncesi analizde olduğu gibi özvektör merkeziliği metriği bankacılık hisselerinin hisse senedi getirisi ağı içinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

ŞEKİL 4 | COVID-19 Dönemi için Ağ Analizi Sonuçları



³ 1. Grup (Turuncu-11 Düğüm): GARA, ISCT, VAKB, AKBN, YKBN, HALK, SAHO, TCEL, TTKO, KLNK, KCHO; 2. Grup (Mavi - 11 Düğüm): SASA, BRYA, TTRA, DOAS, OTKA, ASEL, SISE, ARCL, EREG, ISDM, FROT, TOAS; 3. Grup (Yeşil - 20 Düğüm): OYAK, ENJS, EKGY, MGRO, AKSE, AKSA, KENT, ALAR, DOHO, KOZA, ECIL, HEKT, GUBR, AGHO, ENKA, CCOL, AEFE, BIMA, SOKM, PETK; 4. Grup (Sarı - 5 Düğüm) THYA, PGSU, TAVH, TUPR, DOCO.

TABLO 3| COVID-19 Dönemi İçin Çeşitli Ağ Tabanlı Metrik Sonuçları

Hisse Adı	Kod	Sektör	Derece içi merkezilik	Derece dışı merkezilik	Yakınlık merkeziliği	Özvektör merkeziliği	Ara düğüm merkeziliğini	Google Sayfa Sıralaması
Garanti Bankası	GARA	Bankacılık	885.990	974.534	0.0231	0.8452	9	0.0196
İş Bankası (C)	ISCT	Bankacılık	910.882	1.350.454	0.0247	10.000	0	0.0206
Vakıfbank	VAKB	Bankacılık	898.643	1.191.382	0.0160	0.9236	0	0.0205
Akbank	AKBN	Bankacılık	909.412	1.336.424	0.0162	0.9927	0	0.0206
Yapı Kredi Bankası	YKBN	Bankacılık	907.428	1.278.080	0.0198	0.9686	0	0.0205
Halkbank	HALK	Bankacılık	881.118	997.933	0.0194	0.8257	0	0.0203
T. Kalkınma Bankası	KLNM	Bankacılık	756.432	450.708	0.0251	0.5154	7	0.0189
Şişecam	SISE	Cam	887.712	1.101.245	0.0194	0.8228	0	0.0219
Oyak Çimento	OYAK	Çimento	824.961	689.605	0.0214	0.6252	0	0.0208
Arçelik	ARCL	Dayanıklı Tüketim	865.686	866.634	0.0223	0.7302	1	0.0210
Ereğli Demir Çelik	EREG	Demir-Çelik	862.528	835.063	0.0206	0.7097	0	0.0211
İskenderun Demir Çelik	ISDM	Demir-Çelik	852.507	798.440	0.0245	0.6778	0	0.0213
Aksa Yenilenebilir Enerji	AKSE	Elektrik	816.046	635.836	0.0229	0.5951	2	0.0208
Enerjisa Enerji	ENJS	Elektrik	859.607	871.683	0.0290	0.7118	0	0.0216
Sasa Polyester Sanayi A.Ş.	SASA	Endüstriyel Tekstil	832.778	709.284	0.0158	0.6327	0	0.0210
Aksa	AKSA	Endüstriyel Tekstil	823.780	653.145	0.0299	0.6110	0	0.0207
Kent Gıda	KENT	Gıda	499.464	159.470	0.0686	0.2593	1446	0.0147
Emlak Konut GYO	EKGY	GYO	876.714	990.725	0.0150	0.7841	0	0.0214
Türk Hava Yolları	THYA	Havayolları ve Hizmetleri	891.391	1.158.225	0.0187	0.8579	0	0.0218
Pegasus Hava Taşımacılığı	PGSU	Havayolları ve Hizmetleri	856.957	801.800	0.0288	0.7035	1	0.0210
TAV Holding	TAVH	Havayolları ve Hizmetleri	879.792	1.001.533	0.0173	0.7863	0	0.0217
Koç Holding	KCHO	Holdingleler	912.952	1.398.792	0.0158	0.9747	0	0.0219
Sabancı Holding	SAHO	Holdingleler	909.115	1.307.195	0.0379	0.9633	11	0.0209
Alarko Holding	ALAR	Holdingleler	840.591	706.757	0.0194	0.6476	0	0.0208
Borusan Yatırım	BRYA	Holdingleler	762.659	467.157	0.0549	0.5187	157	0.0192
Anadolu Grubu Holding	AGHO	Holdingleler	867.629	972.349	0.0173	0.7564	0	0.0217
Doğan Holding	DOHO	Holdingleler	858.907	890.909	0.0133	0.7108	0	0.0220
Türkcell	TCEL	İletişim	845.059	727.848	0.0451	0.6668	35	0.0205
Türk Telekom	TTKO	İletişim	890.449	1.093.105	0.0156	0.8376	0	0.0214
Enka İnşaat	ENKA	İnşaat- Taahhüt	809.898	501.617	0.0278	0.5429	2	0.0203
Koza Altın	KOZA	Madencilik	836.583	702.432	0.0237	0.6288	0	0.0212
Coca-Cola İçecek A. Ş	CCOL	Meşrubat / İçecek	842.755	736.090	0.0171	0.6486	0	0.0213
Anadolu Efes	AEFE	Meşrubat / İçecek	862.949	823.472	0.0160	0.7012	0	0.0214
Ford Otosan	FROT	Otomotiv	843.771	757.249	0.0178	0.6612	20	0.0210
Tofaş Fabrika	TOAS	Otomotiv	873.890	1.055.554	0.0122	0.7879	0	0.0220
Türk Traktör	TTRA	Otomotiv	846.259	787.479	0.0159	0.6593	0	0.0219
Doğuş Otomotiv	DOAS	Otomotiv	827.827	674.665	0.0167	0.6160	0	0.0212
Otokar	OTKA	Otomotiv	831.110	719.639	0.0241	0.6288	0	0.0214
Bim Birleşik Mağazalar A. Ş	BIMA	Perakende- Ticaret	810.312	661.969	0.0215	0.6030	6	0.0206
Migros	MGRO	Perakende- Ticaret	841.457	794.487	0.0230	0.6637	2	0.0215
Şok Marketler	SOKM	Perakende- Ticaret	814.814	702.583	0.0256	0.6049	12	0.0214
Tüpraş	TUPR	Petrol	879.113	1.028.234	0.0239	0.8071	0	0.0212
Petkim	PETK	Petrol	861.925	879.876	0.0206	0.7261	0	0.0212
Eczacıbaşı İlaç	ECIL	Sağlık ve İlaç	805.785	622.893	0.0203	0.5692	0	0.0214
Aselsan	ASEL	Savunma	891.975	1.158.117	0.0137	0.8551	0	0.0218
Hektaş	HEKT	Tarım Kimyasalları	744.036	427.891	0.0310	0.4710	23	0.0197
Gübre Fabrikaları	GUBR	Tarım Kimyasalları	807.171	626.244	0.0173	0.5862	0	0.0208
DO ve CO Aktiengesellschaft	DOCO	Ulaştırma-Lojistik	754.424	376.436	0.0364	0.4811	413	0.0187

SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada 22 alt sektörde faaliyet gösteren ve BIST'te işlem gören 48 hisse senedi getirisi arasındaki ağ yapısı Diebold ve Yılmaz (2014) tarafından önerilen ekonometrik yöntem çerçevesinde analiz edilmiştir. Çalışmada standart VAR modelinden elde edilen varyans ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Analiz dönemi olarak COVID-19 öncesi ve sonrası olarak 2 farklı alt dönem seçilmiştir. Böyle bir alt dönem seçilmesindeki temel amaç, COVID-19'un insanların sadece sosyal ve yaşam biçimlerini değil, finansal piyasalar üzerinde de kalıcı ve büyük etkilerinin olduğu gerçeğidir. COVID-19 salgınının BIST'te yer alan farklı hisse senetleri üzerindeki etkisi Türk ekonomi yazınında birçok çalışma tarafından ortaya konmuştur. Ancak daha önce yapılan hiçbir çalışmada bu çalışma kapsamında takip edilen yöntem ve veri seti kullanılmamıştır. Bu kapsamda, bu çalışmanın Türk ekonomi yazınına ciddi katkı yaptığı söylenebilir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen ampirik bulgular COVID-19 salgınının hisse senedi ağ yapısı üzerinde ciddi etkisinin olduğunu göstermektedir. Salgın öncesi dönem için yapılan analiz 48 hisse senedinin getirilerinin üç alt gruba ayrıldığını ortaya koymuştur. Ancak salgın sonrası dönem ele alınarak yapılan analizde optimal grup sayısı dörde yükselmiştir. Sonuç olarak, her iki dönem için tespit edilen optimal grup sayısı, bu 48 şirketin faaliyet gösterdiği 22 farklı sektörden çok daha azdır. Bu bulgu, hisse senetlerinin, sektörel gerçeklerden ziyade finansal gerçekler doğrultusunda hareket ettiğini göstermektedir. Örneğin, otomotiv sektörüne ait şirketlerin her iki dönemde de farklı gruplar altında yer aldığı görülmektedir. Salgın sonrasında birçok hisse senedinin ait olduğu gruplar değişmiştir. Bu da hisse senetleri arasındaki ilişkilerin statik olmayıp dinamik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu ağ yapısı içinde bankacılık sektörünün merkezi bir rol oynadığı önemli bir bulgudur. Türkiye'deki bankaların, firmaların kısa ve uzun vadeli finansman ihtiyaçlarında kritik bir rol oynaması, bu bulguyu desteklemektedir. Son olarak, COVID-19 salgını sonrasında hisse senetleri arasındaki getiri korelasyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın tüm süreçlerinde, araştırma ve yayın etiğine uyulması hususunda azami derecede özen gösterilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgular farklı ülkeler için yapılan benzer çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Örneğin, bu çalışma kapsamında elde edilen farklı sektörlere ait hisse senetlerinin farklı gruplar altında kümelendiği bulgusu Memon vd. (2019) tarafından elde edilen bulgular ile uyumaktadır. Yine Covid-19'un hisse senetleri arasındaki ağ yapısını etkilediği hususu finansal alanda yapılan benzer çalışma sonuçları ile örtüşmektedir (Esmailpour Moghadam vd., 2019; Memon vd., 2019; Schuenemann vd., 2020). Ayrıca bulgularımız Esmailpour Moghadam vd. (2019)'ın aksine merkezilik rolü oynayan hisse senetlerinin hisse senedi piyasasında daha büyük sermaye yapısına sahip şirketlerden değil, hisse senedi fiyatı ciddi anlamda değişen şirket hisselerinden geldiğini göstermektedir. Son olarak çalışma sonucu elde edilen Covid-19'un finansal piyasalar üzerinde etkili olduğuna ilişkin ampirik sonuçlar bu alanda yapılan birçok çalışma sonucu ile uyumluluk göstermektedir (Baig vd., 2021; Bayraktar, 2020; Şükroğlu, 2022; Zhang vd., 2020).

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar, makalenin tamamına yalnız kendisinin katkı sağladığını beyan eder.

Araştırmacıların Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Abbasian-Naghneh, S., Tehrani, R., & Tamimi, M. (2020). The Network Analysis of Tehran Stock Exchange using Minimum Spanning Tree and Hierarchical Clustering. *Iranian Journal of Finance*, 4(2).

[2] Anscombe, F. J., & Glynn, W. J. (1983). Distribution of the kurtosis statistic b2 for normal samples. *Biometrika*, 70(1). <https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.227>

[3] Ashraf, B. N. (2020). Stock markets' reaction to COVID-19: Cases or fatalities? *Research in International Business and Finance*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101249>

[4] Baig, A. S., Butt, H. A., Haroon, O., & Rizvi, S. A. R. (2021). Deaths, panic, lockdowns and US equity markets: The case of COVID-19 pandemic. *Finance Research Letters*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101701>

[5] Balçılar, M., Ozdemir, H., & Agan, B. (2022). Effects of COVID-19 on cryptocurrency and emerging market connectedness: Empirical evidence from quantile, frequency, and lasso networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 604. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127885>

[6] Bayraktar, A. (2020). COVID 19 Pandemisinin Finansal Etkileri: BİST İmalat Sektörü Uygulaması. *Journal of Turkish Studies, Volume 15 Issue 8* (Volume 15 Issue 8). <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.46807>

[7] Bonanno, G., Caldarelli, G., Lillo, F., & Mantegna, R. N. (2003). Topology of correlation-based minimal spanning trees in real and model markets. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics*, 68(4). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.68.046130>

[8] Bonanno, G., Caldarelli, G., Lillo, F., Micciché, S., Vandewalle, N., & Mantegna, R. N. (2004). Networks of equities in financial markets. *European Physical Journal B*, 38(2). <https://doi.org/10.1140/epjb/e2004-00129-6>

[9] Brandes, U., Dellinger, D., Gaertler, M., Görke, R., Hofer, M., Nikoloski, Z., & Wagner, D. (2008). On modularity clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2). <https://doi.org/10.1109/TKDE.2007.190689>

[10] Chen, L., Han, Q., Qiao, Z., & Stanley, H. E. (2020). Correlation analysis and systemic risk measurement of regional, financial and global stock indices. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 542. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122653>

[11] Chu, A. M. Y., Tiwari, A., & So, M. K. P. (2020). Detecting early signals of COVID-19 global pandemic from network density. In *Journal of Travel Medicine* (Vol. 27, Issue 5). <https://doi.org/10.1093/JTMM/TAAA084>

[12] Chu, A. M. Y., Tsang, J. T. Y., Chan, J. N. L., Tiwari, A., & So, M. K. P. (2021). Analysis of travel restrictions for COVID-19 control in Latin America through network connectedness. In *Journal of Travel Medicine* (Vol. 27, Issue 8). <https://doi.org/10.1093/JTMM/TAAA176>

[13] Cont, R. (2001). Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*, 1(2). <https://doi.org/10.1080/713665670>

[14] D'agostino, R. B. (1970). Transformation to normality of the null distribution of g1. *Biometrika*, 57(3). <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.679>

[15] Diebold, F. X., & Yılmaz, K. (2009). Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets. *Economic Journal*, 119(534), 158–171. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x>

[16] Diebold, F. X., & Yılmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>

[17] Diebold, F. X., & Yılmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182(1). <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2014.04.012>

[18] Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. *Econometrica*, 64(4). <https://doi.org/10.2307/2171846>

[19] Esmailpour Moghadam, H., Mohammadi, T., Feghhi Kashani, M., & Shakeri, A. (2019). Complex networks analysis in Iran stock market: The application of centrality. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 531. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121800>

[20] Fisher, T. J., & Gallagher, C. M. (2012). New weighted portmanteau statistics for time series goodness of fit testing. *Journal of the American Statistical Association*, 107(498). <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.688465>

[21] Freeman, L. C. (1977). A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, 40(1). <https://doi.org/10.2307/3033543>

[22] Gan, S. L., & Djauhari, M. A. (2015). New York Stock exchange performance: Evidence from the forest of multidimensional minimum spanning trees. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2015(12). <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2015/12/P12005>

[23] Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3). [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)

[24] John Wei, K. C., Liu, Y. J., Yang, C. C., & Chaung, G. S. (1995). Volatility and price change spillover effects across the developed and emerging markets. *Pacific-Basin Finance Journal*, 3(1). [https://doi.org/10.1016/0927-538X\(94\)00029-7](https://doi.org/10.1016/0927-538X(94)00029-7)

[25] Keleş, E. (2020). COVID-19 VE BİST-30 ENDEKSİ ÜZERİNE KISA DÖNEMLİ ETKİLERİ. *M U İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 42(1). <https://doi.org/10.14780/muibd.763962>

[26] Khojine, A. S., & Han, D. (2019). Network analysis of the Chinese stock market during the turbulence of 2015–2016 using log-returns, volumes and mutual information. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 523. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.128>

[27] Koop, G., Hashem Pesaran, M., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74(1), 119–147.

[28] Kumar, S., & Deo, N. (2012). Correlation and network analysis of global financial indices. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 86(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.026101>

[29] Lan, W., & Zhao, G. (2010). Stocks network of coal and power sectors in China stock markets. *Communications in Computer and Information Science*, 105 CCIS(PART 1). https://doi.org/10.1007/978-3-642-16336-4_27

- [30] Liu, X. F., & Tse, C. K. (2012). A complex network perspective of world stock markets: Synchronization and volatility. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 22(6). <https://doi.org/10.1142/S0218127412501428>
- [31] Long, W., Guan, L., Shen, J., Song, L., & Cui, L. (2017). A complex network for studying the transmission mechanisms in stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 484. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.043>
- [32] Majapa, M., & Gossel, S. J. (2016). Topology of the South African stock market network across the 2008 financial crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 445. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.10.108>
- [33] Mantegna, R. N. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *European Physical Journal B*, 11(1). <https://doi.org/10.1007/s100510050929>
- [34] Marti, G., Nielsen, F., Bińkowski, M., & Donnat, P. (2021). A review of two decades of correlations, hierarchies, networks and clustering in financial markets. In *Signals and Communication Technology*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65459-7_10
- [35] Memon, B. A., Yao, H., Aslam, F., & Tahir, R. (2019). NETWORK ANALYSIS OF PAKISTAN STOCK MARKET DURING THE TURBULENCE OF ECONOMIC CRISIS. *Business, Management and Education*, 17(2). <https://doi.org/10.3846/bme.2019.11394>
- [36] Onnela, J. P., Chakraborti, A., Kaski, K., Kertész, J., & Kanto, A. (2003). Asset Trees and Asset Graphs in Financial Markets. *Physica Scripta T*, 106. <https://doi.org/10.1238/physica.topical.106a00048>
- [37] Onnela, J. P., Kaski, K., & Kertész, J. (2004). Clustering and information in correlation based financial networks. *European Physical Journal B*, 38(2). <https://doi.org/10.1140/epjb/e2004-00128-7>
- [38] Özdemir, L. (2020). COVID-19 PANDEMİSİNİN BİST SEKTÖR ENDEKSLERİ ÜZERİNE ASİMETRİK ETKİSİ. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3). <https://doi.org/10.29106/fesa.797658>
- [39] Papana, A., Kyrtsov, C., Kugiumtzis, D., & Diks, C. (2017). Financial networks based on Granger causality: A case study. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.046>
- [40] Pesaran, H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00214-0)
- [41] Rakib, M. I., Hossain, M. J., & Nobil, A. (2022). Feature ranking and network analysis of global financial indices. *PLoS ONE*, 17(6 June). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269483>
- [42] Schuenemann, J. H., Ribberink, N., & Katenka, N. (2020). Japanese and Chinese Stock Market Behaviour in Comparison – an analysis of dynamic networks. *Asia Pacific Management Review*, 25(2). <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.10.002>
- [43] Şenol, Z., & Otçeken, G. (2021). COVID-19'UN BİST SEKTÖRLERİNE ETKİSİ. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. <https://doi.org/10.29106/fesa.984219>
- [44] So, M. K. P., Tiwari, A., Chu, A. M. Y., Tsang, J. T. Y., & Chan, J. N. L. (2020). Visualizing COVID-19 pandemic risk through network connectedness. In *International Journal of Infectious Diseases* (Vol. 96). <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.011>
- [45] Şükrüoğlu, D. (2022). Effects of Covid-19 on the BIST 100 network structure. *Applied Economics*, 54(52). <https://doi.org/10.1080/00036846.2022.2108540>
- [46] Sun, X., Wang, J., Yao, Y., Li, J., & Li, J. (2020). Spillovers among sovereign CDS, stock and commodity markets: A correlation network perspective. *International Review of Financial Analysis*, 68, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.10.008>
- [47] Tse, C. K., Liu, J., & Lau, F. C. M. (2010). A network perspective of the stock market. *Journal of Empirical Finance*, 17(4). <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2010.04.008>
- [48] Tumminello, M., Lillo, F., & Mantegna, R. N. (2010). Correlation, hierarchies, and networks in financial markets. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 75(1). <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2010.01.004>
- [49] Zhang, D., Hu, M., & Ji, Q. (2020). Financial markets under the global pandemic of COVID-19. *Finance Research Letters*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101528>
- [50] Zheng, Z., Sakurai, N., Fujiwara, T., Yoshizawa, K., & Yamasaki, K. (2012). Correlation and hierarchies in financial markets. *Artificial Life and Robotics*, 17(1). <https://doi.org/10.1007/s10015-012-0035-3>