

BIST100 Endeksi ve Dolar Kuru Arasındaki İlişkinin Transfer Entropisi ile Analizi

Analysis of the Relationship between BIST100 Index and Dollar Rate with Transfer Entropy

Baki Ünal¹, Yunus Erođlu²

Öz

Farklı alanlardaki zaman serileri arasındaki nedenselliğın ve bilgi akışının analizi literatürde önemli bir araştırma başlığıdır ve farklı nedensellik testleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları Granger, Toda-Yamamoto ve Hatemi-J nedensellik testleridir. Bu testler zaman serileri arasında nedenselliğın olup olmadığını ve bu nedenselliğın yönünü ortaya koymakla birlikte nedenselliğın derecesini ölçmemektedir. Transfer entropisi bilgi teorisi tabanlı yeni bir yöntemdir ve zaman serileri arasındaki nedenselliğın ve bilgi akışının ölçülmesinde kullanılabilen parametrik olmayan bir yöntem olup iki zaman serisi arasındaki asimetric ve doğrusal olmayan bilgi akışını tespit edebilmektedir. Bu çalışmada transfer entropisi kullanılarak BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki nedensellik ve bilgi akışı analiz edilmiş ve bilgi akışının zaman içinde nasıl değıştiiğinin ortaya koyulması için kayan pencere yöntemi kullanılmıştır. Sonuçların sağlamlılığının ortaya koyulması için üç farklı büyüklükte zaman penceresinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Transfer Entropisi, Nedensellik, Bilgi Akışı, Döviz Kuru, Borsa Endeksi

Abstract

Analysis of causality and information flow between time series in different fields is an important research topic in the literature and different causality tests have been proposed. The most widely used of these are the Granger, Toda-Yamamoto, and Hatemi-J causality tests. Although these tests reveal whether there is causality between time series and the direction of this causality, they do not measure the degree of causality. Transfer entropy is a new information theory-based method and a non-parametric method that can be used to measure causality and information flow between time series, and it can detect asymmetric and nonlinear information flow between two time series. In this study, the causality and information flow between the BIST100 index and the exchange rate of dollar were analyzed using transfer entropy, and the sliding window method was used to reveal how the information flow changed over time. In order to demonstrate the robustness of the results, the results obtained from three different sized time windows are presented.

Keywords: Transfer Entropy, Causality, Information Flow, Exchange Rate, Stock Market Index

Araştırma Makalesi [Research Paper]

JEL Codes: G00, G10, G20

Submitted: 29 / 10 / 2021

Accepted: 16 / 06 / 2022

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye, baki.unal@iste.edu.tr, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9154-0931>

² Dr. Öğr. Üyesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye, yunus.eroglu@iste.edu.tr, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8354-6783>

Giriş

Ekonomi ve finansal zaman serileri çeşitli piyasaları yansıtmaktadır. Piyasaları yansıtan bu zaman serileri arasında neden sonuç ilişkilerinin bulunup bulunmadığı, eğer bulunuyorsa bunların ne düzeyde olduğunun bilinmesi hem yatırımcılar hem de politika yapımcılar için yararlıdır. Bu ilişkilerin ortaya koyulmasında literatürde baskın olarak kullanılmış yöntem Granger (1969) tarafından öne sürülen Granger nedenselliğidir (*Granger causality*). Granger nedenselliği, nedenselliğin varlığını ve yönünü ortaya koymasına rağmen nedenselliğin derecesini ölçmemektedir. Literatürde farklı nedensellik testleri de önerilmiştir. Bunlara örnek olarak Toda-Yamamoto (1995) ve Hatemi-J (2012) çalışmaları belirtilebilir. Ancak bütün bu testler doğrusal modelleri temel aldığı için doğrusal olmayan nedensellik ilişkilerini tespit edememektedir. Literatürde zaman serileri arasındaki etkileşimler korelasyon fonksiyonlarıyla (*correlation functions*) da ele alınmıştır. Bununla birlikte söz konusu fonksiyonların iki dezavantajı bulunmaktadır. İlk olarak korelasyon fonksiyonları yalnızca doğrusal ilişkileri ortaya koymaktadır. İkinci olarak da korelasyon fonksiyonları neden ve sonuç ilişkisini göstermemektedir. Schreiber (2000) tarafından yeni bir yöntem olarak önerilen transfer entropisi (*transfer entropy*) iki zaman serisi arasındaki nedenselliğin yönünü gösterebilmekte ve derecesini sayısal olarak ölçebilmektedir. Bu çalışmanın literatür taraması bölümünde transfer entropisi yöntemi kullanan araştırmalara ayrıntılı yer verilmiştir.

Bu çalışmada hisse senedi piyasasını temsil eden BIST100 endeksi ile döviz piyasasını temsil eden dolar kuru arasındaki nedensellik ve bilgi akışı, transfer entropisi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu analizde hem bütün örneklem için bilgi akışını yansıtan transfer entropileri hesaplanmış hem de kayan pencere (*sliding window*) yöntemi kullanılarak bilgi akışının zaman içerisinde nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sonuçların sağlamlığının ortaya koyulabilmesi için farklı kayan pencere büyüklükleri ile analizler yapılmıştır.

Bu çalışma literatüre belirli noktalarda katkıda bulunmaktadır. Literatürde daha önce BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki nedensellik Granger'ın ortaya koyduğu nedensellik testi ile analiz edilmiştir. Ancak bu çalışma nedenselliğin analizinde kullanılan çok daha yeni yöntem olan transfer entropisinin BIST100 endeksi ile dolar kuruna uygulandığı literatürdeki ilk çalışmadır. Ayrıca bu çalışma kayan pencere yöntemini kullanarak BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki nedenselliğin zaman içinde nasıl değiştiğini ortaya koyan literatürdeki ilk çalışmadır. Bunlara ek olarak çalışmada 02.01.2002- 08.09.2021 tarihlerini kapsayan ve literatürdeki önceki çalışmalara göre daha güncel bir veri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular politika yapımcılar, yatırımcılar ve araştırmacılar için yararlı sonuçları içermektedir. Bu hususlara çalışmanın sonuç bölümünde yer verilmiştir.

1. Literatür Taraması

Literatürde Borsa İstanbul endeksi ile döviz kuru arasındaki nedensellik ve ilişki klasik yöntemlerle analiz edilmiştir. Ayvaz (2006) Ocak 1991 ile Aralık 2004 döneminde BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki ilişkiyi Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında iki yönlü bir nedensellik bulmuşlardır. Pekkaya ve Bayramoğlu (2008) 1990 ile 2007 döneminde BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki ilişkiyi Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve BIST100 endeksinden döviz kuruna Granger nedenselliği bulmuşlardır. Şentürk ve Dücan (2014) Ocak 1997 ile Mayıs 2013 döneminde BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki ilişkiyi Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve döviz kurundan borsa getirisine tek yönlü nedensellik ilişkisi bulmuştur. Benli (2015) 3 Ocak 2005 ile 26 Aralık 2013 döneminde BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki kısa dönemli ilişkiyi yine Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve bu iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulmuşlardır. Kendirli ve Çankaya (2016) Ocak 2009 ile Aralık 2014 döneminde BIST30 endeksi ile dolar kuru arasındaki ilişkiyi Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve dolar kurundan BIST30 Endeksine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuştur. Cingöz ve Kendirli (2019) Ocak 2006 ile Haziran 2018 döneminde BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki ilişkiyi Granger nedenselliği ile analiz etmiş ve BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisi bulmuştur.

Literatürde transfer entropisi çok çeşitli zaman serilerine uygulandığı gibi ekonomik ve finansal zaman serilerine de uygulanmıştır. Marschinski ve Kantz (2002) transfer entropisini kullanarak Mayıs 2000 ve Haziran 2001 tarihleri arasında Dow Jones ve DAX hisse senedi endeksleri arasındaki bilgi akışını araştırmışlar ve bu iki endeks arasında belirgin bir bilgi akışı tespit etmişlerdir. Dow Jones endeksinin Alman DAX endeksi üzerinde görece daha büyük etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Dimpfl ve Peter (2013) transfer entropisini kullanarak 1 Ocak 2004 ile 31 Aralık 2011 tarihleri arasında 27 iTraxx şirketi için bono piyasası ile kredi temerrüt takası (*credit default swap, CDS*) piyasası arasındaki bilgi akışını incelemişler ve CDS piyasası ile bono piyasası arasındaki bilgi aktarımının zaman içinde arttığını ve kriz döneminde CDS piyasasının önem kazandığını göstermişlerdir. Jizba vd. (2012) transfer entropisini iki veri kümesine uygulamıştır. İlk veri kümesi 11 borsa endeksinden oluşmakta ve 2 Ocak 1998 ile 31 Aralık 2009 tarihleri arasında günlük verileri içermektedir. İkinci veri kümesi DAX ve S&P 500 endekslerini içermekte ve 2 Nisan 2008 ile 11 Eylül 2009 tarihleri arasındaki bir dakikalık yüksek frekanslı verilerden oluşmaktadır. Yazar Asya-Pasifik bölgesinden Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa ülkelerine doğru bir bilgi akışının bulunduğunu ortaya koymuştur. DAX ve S&P 500 endeksleri arasındaki bilgi akışı

da bu sonucu doğrulamaktadır. Dimpfl ve Peter (2014) transfer entropisini S&P 500, DAX, CAC 40 ve FTSE endekslerine uygulamışlardır. Yazarlar bu bağlamda S&P 500 ve DAX için 1 Temmuz 2003 ile 30 Nisan 2010 tarihleri arasındaki ve CAC 40 ve FTSE için ise 1 Temmuz 2006 ile 30 Nisan 2010 tarihleri arasındaki bir dakikalık verileri ele almışlardır. Yazarlar 2008 finansal krizi zamanında Atlantik'in iki yakası arasındaki bilgi akışının dramatik bir biçimde arttığını bulmuşlardır. Garcia-Medina ve Hernández (2020), 2020 yılında yaşanan finansal türbülansın kripto para piyasasına etkisini transfer entropisi kullanarak incelemiş ve bu türbülans esnasında kripto para piyasasında bilgi akışının arttığını bulmuştur. Osei ve Adam (2020), 2 Ocak 2009 ile 16 Şubat 2018 tarihleri arasında Gana borsa endeksi ile bu endeksin bileşenleri arasındaki bilgi akışını transfer entropisi kullanarak analiz etmiştir. Yao ve Li (2020) transfer entropisini kullanarak ekonomik politika belirsizliği, yatırımcı duyarlılığı (*investor sentiment*) ve borsa arasındaki bilgi akışını analiz etmişlerdir. Yazarlar ekonomik politika belirsizliğinin yatırımcı duyarlılığını etkilediğini ve hisse senedi fiyatlarındaki dalgalanmaların yatırımcı duyarlılığı üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

2. Yöntem

Bir değişkendeki bilgi miktarı Shannon entropisi ile ölçülmektedir (Shannon, 1948). Shannon entropisi şu formülle ifade edilmektedir:

$$H_J = - \sum_j p(j) \cdot \log(p(j)) \quad (1)$$

Yukarıdaki formülde J kesikli bir rassal değişkeni, $p(j)$ bu rassal değişkenin dağılımını, j bu rassal değişkenin olası sonuçlarını ve $\log 2$ tabanındaki logaritmayı ifade etmektedir. Shannon entropisi basitçe bir rassal değişkenin çıktılarını kodlamak için gereken bit sayısını ölçmektedir. İki zaman serisi arasındaki bilgi akışını transfer entropisi ile ölçmek için Shannon entropisi ve Kullback-Leibler uzaklığı kavramları birleştirilmektedir (Kullback ve Leibler, 1951). Ayrıca zaman serilerinin evriminin bir Markov süreci tarafından yönetildiği varsayılmaktadır (Schreiber, 2000).

İki kesikli rassal değişkenin I ve J , bunların marjinal dağılımlarının $p(i)$ ve $p(j)$, bunların ortak dağılımlarının ise $p(i, j)$ şeklinde ifade edildiğini varsayalım. Ayrıca I ve J süreçleri sırasıyla k ve l derecelerine sahip durağan Markov süreçleri olsun. Bu durumda Markov özelliğine göre $t + 1$ zamanında i durumunun gözlenmesi olasılığı daha önceki k gözleme bağlıdır. Bu durum $p(i_{t+1}|i_t, \dots, i_{t-k+1})$ şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda daha önceki k değer verildiğinde $t + 1$ zamanındaki çıktıyı kodlamak için gerekli ortalama bit sayısı şu formülle ifade edilmektedir.

$$h_I(k) = - \sum_i p(i_{t+1}, i_t^{(k)}) \cdot \log(p(i_{t+1}|i_t^{(k)})) \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde $i_t^{(k)} = (i_t, \dots, i_{t-k+1})$ şeklindedir. Dolayısıyla J sürecinden I sürecine bilgi akışı aşağıda ifade edilen Shannon transfer entropisi ile ölçülmektedir:

$$T_{J \rightarrow I}(k, l) = \sum_{i, j} p(i_{t+1}, i_t^{(k)}, j_t^{(l)}) \cdot \log \left(\frac{p(i_{t+1}|i_t^{(k)}, j_t^{(l)})}{p(i_{t+1}|i_t^{(k)})} \right) \quad (3)$$

Küçük örneklemin etkisi sebebiyle yukarıda verilen transfer entropisi tahminleri sapmalıdır. Bu sorunun üstesinden gelenebilmesi için efektif transfer entropisi kavramı önerilmiştir (Marschinski ve Kantz, 2002). Bu yöntemde J zaman serisi karıştırılır (*shuffled*) ve bu karıştırılmış zaman serisinden transfer entropisi hesaplanır. Daha sonra efektif transfer entropisini elde etmek için transfer entropisinin bu karıştırılmış versiyonu normal transfer entropisinden çıkarılır. Bu süreç şu formülle ifade edilebilir:

$$ET_{J \rightarrow I}(k, l) = T_{J \rightarrow I}(k, l) - T_{J_{\text{Karıştırılmış}} \rightarrow I}(k, l) \quad (4)$$

Yukarıdaki formülde $ET_{J \rightarrow I}(k, l)$ efektif transfer entropisini, $T_{J_{\text{Karıştırılmış}} \rightarrow I}(k, l)$ karıştırılmış J 'den elde edilen transfer entropisini göstermektedir. Bu sürecin sonunda J 'nin içindeki ve I ile J arasındaki bağımlılıklar ortadan kalkmaktadır. Örneklem büyüklüğü arttırıldığında $T_{J_{\text{Karıştırılmış}} \rightarrow I}(k, l)$ sifira yakınsamakta dolayısıyla $T_{J_{\text{Karıştırılmış}} \rightarrow I}(k, l)$ küçük örneklemin etkisini yansıtmaktadır.

Transfer entropisinin istatistiksel belirginliğini değerlendirmek için Dimpfl ve Peter (2013) bir Markov blok bootstrap prosedürünü önermiştir. Karıştırılmanın aksine bu prosedür zaman serisindeki bağımlılıkları muhafaza etmektedir. Bilgi akışının olmadığını varsayan sıfır hipotezinin altında bu prosedür transfer entropisinin dağılımını ve ilgili p-değerlerini üretmektedir.

Shannon transfer entropisini hesaplayabilmek için verinin kesikli olması gerekmektedir. Eğer veri kesikli değilse verinin kesikli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kesikli hale getirme sembolik yeniden kodlama adı verilen bir yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde veriler birkaç bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümlere bölümlerin üst ve alt sınırlarını seçerek veya verinin dağılımın yüzdelik dilimlerini (*quantiles*) belirleyerek gerçekleştirilmektedir. Eğer n adet bölüm bulunuyorsa ve bu bölümlerin sınırları q_1, q_2, \dots, q_n ($q_1 < q_2 < \dots < q_n$) şeklinde seçilmişse y_t zaman serisi aşağıdaki gibi bir sembolik yeniden kodlama prosedürü ile kesikli hale getirilebilir:

$$S_t = \begin{cases} 1 & \text{for } y_t \leq q_1 \\ 2 & \text{for } q_1 < y_t \leq q_2 \\ \vdots & \\ n-1 & \text{for } q_{n-1} < y_t \leq q_n \\ n & \text{for } y_t \geq q_n \end{cases} \quad (5)$$

Bu yöntemin sonucunda zaman serisinin her bir değerine 1'den n 'e kadar değerler atanmaktadır.

3. Uygulama

Bu çalışmada BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki bilgi akışı transfer entropi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde 02.01.2002 ile 08.09.2021 tarihleri arasındaki günlük veriler kullanılmıştır. Yöntemde kullanılan sembolik yeniden kodlama prosedüründe zaman serileri üç bölüme ayrılarak kesikli hale getirilmiştir. Bu bölümlenmede sınırlar %5'lik ve %95'lik dilimler (*quantiles*) olarak belirlenmiştir. Değişkenlerin Markov dereceleri ise 1 olarak alınmıştır. Transfer entropi hesaplamalarının belirginlik p-değerlerinin ve yüzdelik dilimlerinin hesaplanmasında kullanılan bootstrap tekrarlaması sayısı 300 olarak seçilmiştir. Efektif transfer entropisinin hesaplanmasında kullanılan yeniden karıştırılma sayısı ise 100 olarak belirlenmiştir.

Transfer entropisinin uygulanabilmesi için zaman serilerinin durağan olması gerekmektedir. BIST100 endeksi ve dolar kuru zaman serilerinin durağan olup olmadığının test edilmesi için bu serilere Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi ve Phillips-Perron (PP) testi uygulanmıştır. Tablo 2 ve Tablo 3'te görüldüğü gibi bu seriler durağan değildir. Serilerin durağan hale getirilmesi için BIST100 endeksi ve dolar kuru zaman serilerinin logaritmalarının birinci farkları alınmıştır. Birinci farkları alınmış serilere ADF testi ve PP testi uygulanarak elde edilen serilerin durağan olduğu gösterilmiştir. Elde edilen ADF testi ve PP testi sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 1: Kullanılan Verilerin Özellikleri

Değişken	Tanım	Veri Kaynağı	Frekans	Dönem
BIST100	Borsa İstanbul BIST100 Endeksi	investing.com	Günlük	02.01.2002- 08.09.2021
USD/TRY	Dolar/TL Döviz Kuru	investing.com	Günlük	02.01.2002- 08.09.2021

Analizin ilk aşamasında 02.01.2002 ile 08.09.2021 arasını kapsayan bütün örneklem için transfer entropileri ve efektif transfer entropileri hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 4'te bu analizin sonuçları sunulmuştur. Tablo 4'ten görüldüğü üzere BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışını gösteren transfer entropisi ve efektif transfer entropisi değerleri sırasıyla 0,0058 ve 0,0038 olarak hesaplanmıştır. Buna dair p-değerinin 0.01'den düşük olması BIST100 endeksinden dolar kuruna istatistiksel olarak belirgin bir bilgi akışının olduğunu göstermektedir. Yine Tablo 4'ten görüldüğü üzere dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışını gösteren transfer entropisi ve efektif transfer entropisi değerleri sırasıyla 0,0061 ve 0,0042 olarak hesaplanmıştır. Bu yöndeki bilgi akışına karşılık gelen p-değeri 0.01'den çok küçük olduğundan hesaplanan transfer entropi değerleri istatistiksel olarak %1'lik anlamlılık düzeyinde belirgindir.

Analizin ikinci aşamasında kayan pencere yöntemi kullanılarak transfer entropisinin zaman içinde nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu bağlamda 1000, 800 ve 600 gün büyüklüklerinde üç farklı pencere uzunluğu ele alınmıştır. Bu pencereler

200 günlük adımlarla kaydırılmaktadır. Ayrıca BIST100 endeksinden dolar kuruna olan transfer entropisinden dolar kurundan BIST100 endeksine olan transfer entropisi çıkartılarak BIST100 endeksinden dolar kuruna olan net transfer entropisinin zaman içinde nasıl değiştiği incelenmiştir.

Tablo 2: Değişkenler İçin Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Test Sonuçları

Değişken		ADF Test İstatistiği		
		Sabit Terimli	Sabitli ve Trendli	Sabitsiz ve Trendsiz
BIST100		-2,0696	-1,584	-1,0306
USD/TRY		1,9726	-0,5258	2,9918
Δ BIST100		-16,5329***	-16,6257***	-16,5291***
Δ USD/TRY		-15,3319***	-15,5321***	-15,1587***
Kritik	1%	-3,43	-3,96	-2,58
Değerler	5%	-2,86	-3,41	-1,95
	10%	-2,57	-3,12	-1,62

Not: ***, ** ve * işaretleri %1, %5 ve %10 düzeylerinde seri birim kök içermektedir şeklinde oluşturulan sıfır hipotezinin reddedildiğini göstermektedir. Fark operatörü (Δ) değişkenin farkını göstermektedir.

Tablo 3: Değişkenler İçin Phillips-Perron (PP) Birim Kök Test Sonuçları

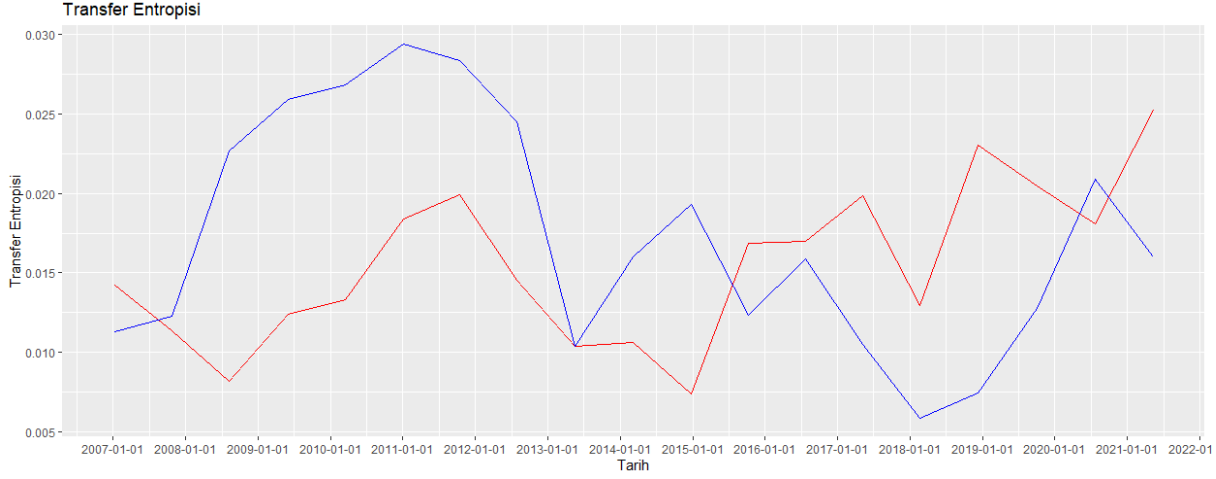
Değişken		Phillips-Perron Test İstatistiği		
		Sabit Terimli	Sabitli ve Trendli	Sabitsiz ve Trendsiz
BIST100		-8,95	-8,5	-2,12
USD/TRY		3,25	-0,466	2,71
Δ BIST100		-4670***	-4661***	-4671***
Δ USD/TRY		-4347***	-4326***	-4365***

Not: ***, ** ve * işaretleri %1, %5 ve %10 düzeylerinde seri birim kök içermektedir şeklinde oluşturulan sıfır hipotezinin reddedildiğini göstermektedir. Fark operatörü (Δ) değişkenin farkını göstermektedir.

Tablo 4: Bütün Örneklem İçin Transfer Entropisi Sonuçları

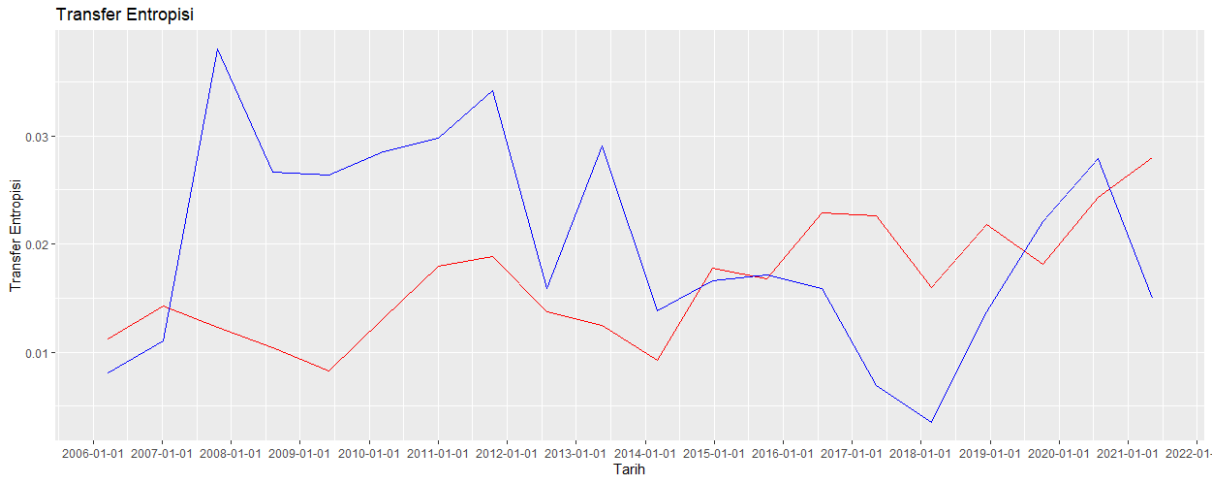
Nedenselliğin Yönü	Transfer Entropisi	Efektif Transfer Entropisi	Standart Hata	P-Değeri
BIST100→USD/TRY	0,0058	0,0038	0,0007	0,0000
USD/TRY→ BIST100	0,0061	0,0042	0,0008	0,0000

Pencere büyüklüklerinin 1000, 800 ve 600 gün olduğu durumda transfer entropilerinin zaman içinde değişimi sırasıyla Grafik 1, Grafik 2 ve Grafik 3'te gösterilmiştir. Bu grafiklerde kırmızı çizgiler BIST100 endeksinden dolar kuruna transfer entropisini yani bilgi akışını, mavi çizgiler ise dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışını göstermektedir. Söz konusu pencere büyüklükleri için net transfer entropilerinin nasıl değiştiği ise Grafik 4, Grafik 5 ve Grafik 6'te gösterilmiştir. Bu grafiklerde pozitif değerler BIST100 endeksinden dolar kuruna net bilgi akışı olduğunu, negatif değerler ise dolar kurundan BIST100 endeksine net bilgi akışı olduğunu göstermektedir.



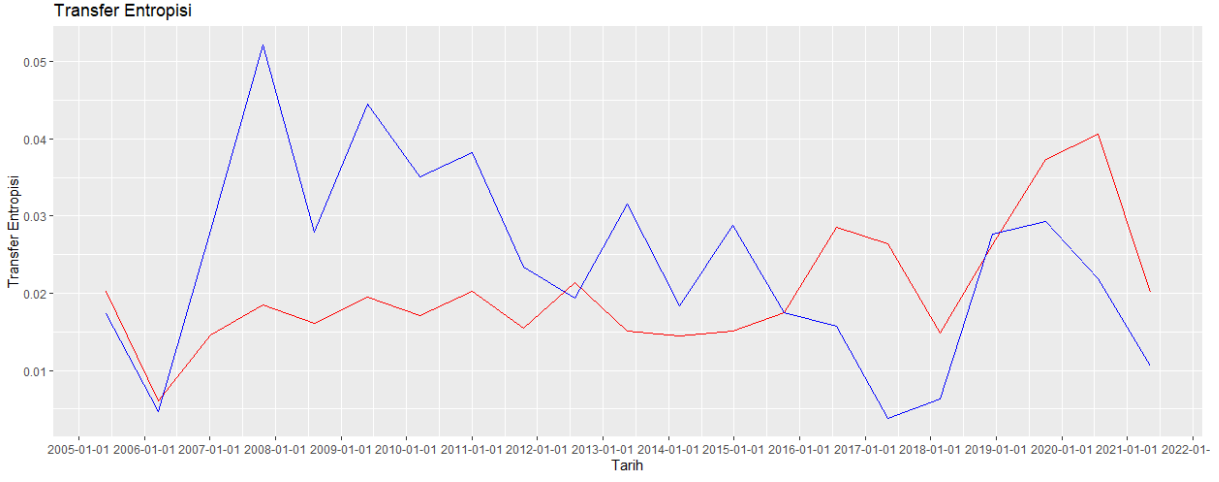
Grafik 1: Pencere Uzunluğu 1000 Olduğunda Transfer Entropisinin (Bilgi Akışının) Zaman İçinde Değişimi

Not: Kırmızı çizgi BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışını, mavi çizgi ise dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışını göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında iki yönlü bir nedensellik bulunmaktadır. Yani hem BIST100 endeksi dolar kurunun geçmiş değerlerinden etkilenmekte hem de dolar kuru BIST100 endeksinin geçmiş değerlerinden etkilenmektedir. Ayrıca ilk dönemlerde güçlü olan dolar kurunun BIST100 endeksine etkisi daha sonra zayıflamaktadır.



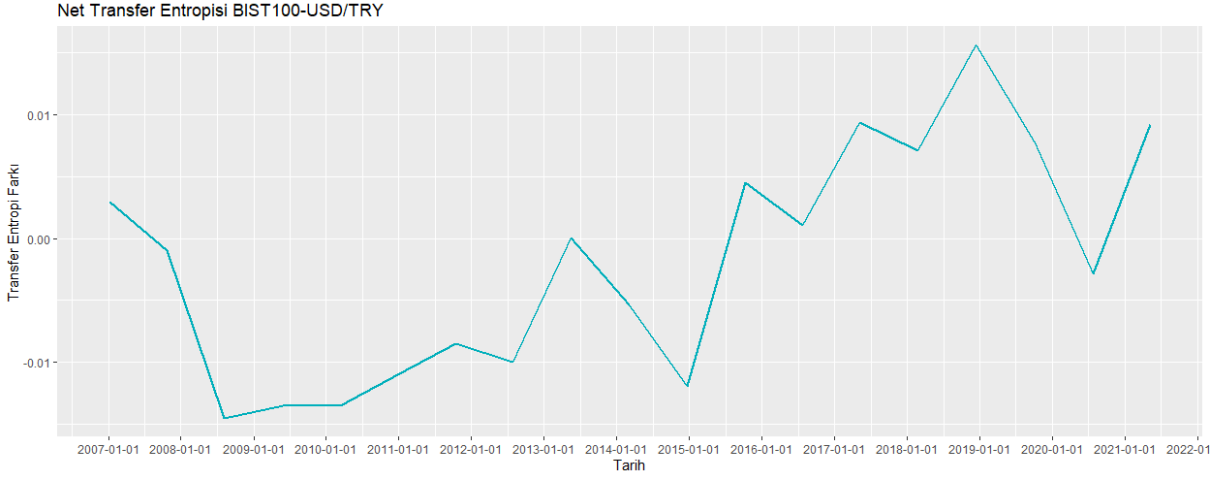
Grafik 2: Pencere Uzunluğu 800 Olduğunda Transfer Entropisinin (Bilgi Akışının) Zaman İçinde Değişimi

Not: Kırmızı çizgi BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışını, mavi çizgi ise dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışını göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında iki yönlü bir nedensellik bulunmaktadır. Yani hem BIST100 endeksi dolar kurunun geçmiş değerlerinden etkilenmekte hem de dolar kuru BIST100 endeksinin geçmiş değerlerinden etkilenmektedir. Ayrıca ilk dönemlerde güçlü olan dolar kurunun BIST100 endeksine etkisi daha sonra zayıflamaktadır.



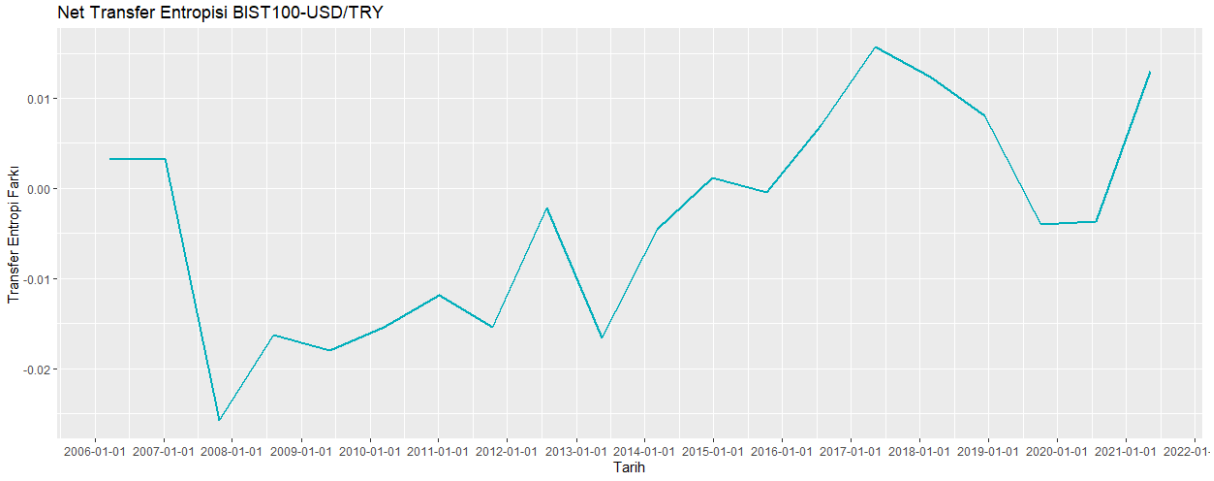
Grafik 3: Pencere Uzunluğu 600 Olduğunda Transfer Entropisinin (Bilgi Akışının) Zaman İçinde Değişimi

Not: Kırmızı çizgi BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışını, mavi çizgi ise dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışını göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında iki yönlü bir nedensellik bulunmaktadır. Yani hem BIST100 endeksi dolar kurunun geçmiş değerlerinden etkilenmekte hem de dolar kuru BIST100 endeksinin geçmiş değerlerinden etkilenmektedir. Ayrıca ilk dönemlerde güçlü olan dolar kurunun BIST100 endeksine etkisi daha sonra zayıflamaktadır.



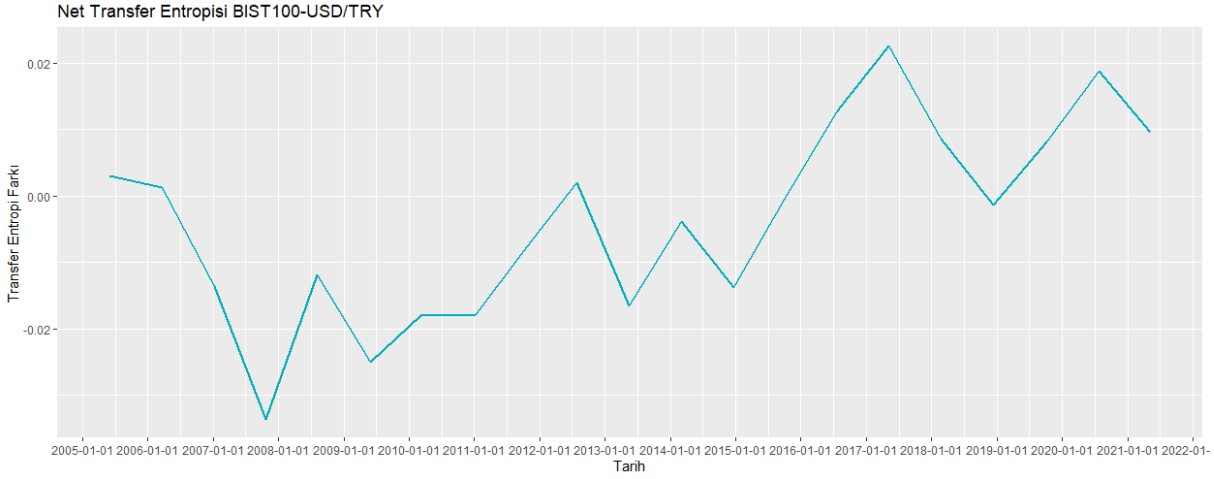
Grafik 4: Pencere Uzunluğu 1000 Olduğunda Net Transfer Entropisinin Zaman İçinde Değişimi

Not: Pozitif değerler BIST100 endeksinden dolar kuruna net bilgi akışı olduğunu, negatif değerler ise dolar kurundan BIST100 endeksine net bilgi akışı olduğunu göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere başlangıç dönemlerinde dolar kuru BIST100 endeksi üzerinde daha belirleyici bir role sahip iken daha sonra BIST100 endeksi dolar kuru üzerinde daha belirleyici bir hale gelmektedir.



Grafik 5: Pencere Uzunluğu 800 Olduğunda Net Transfer Entropisinin Zaman İçinde Değişimi

Not: Pozitif değerler BIST100 endeksinden dolar kuruna net bilgi akışı olduğunu, negatif değerler ise dolar kurundan BIST100 endeksine net bilgi akışı olduğunu göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere başlangıç dönemlerinde dolar kuru BIST100 endeksi üzerinde daha belirleyici bir role sahip iken daha sonra BIST100 endeksi dolar kuru üzerinde daha belirleyici bir hale gelmektedir.



Grafik 6: Pencere Uzunluğu 600 Olduğunda Net Transfer Entropisinin Zaman İçinde Değişimi

Not: Pozitif değerler BIST100 endeksinden dolar kuruna net bilgi akışı olduğunu, negatif değerler ise dolar kurundan BIST100 endeksine net bilgi akışı olduğunu göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere başlangıç dönemlerinde dolar kuru BIST100 endeksi üzerinde daha belirleyici bir role sahip iken daha sonra BIST100 endeksi dolar kuru üzerinde daha belirleyici bir hale gelmektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

Literatürde ekonomik zaman serileri arasındaki nedensellik ilişkileri çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır. Bunlardan transfer entropisi hem nedenselliğin derecesini ölçebilmekte hem de doğrusal olmayan nedensellik ilişkilerini tespit edebilmektedir. Bu çalışmada literatürde ilk defa BIST100 endeksi ile dolar kuru arasındaki nedensellik ve bilgi akışı transfer entropisi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma bu yönüyle literatüre önemli katkıda bulunmaktadır. 02.01.2002 ile 08.09.2021 arasındaki tarihleri kapsayan bütün örneklem için elde ettiğimiz sonuçlar iki yönlü, yani hem BIST100 endeksinden dolar kuruna hem de dolar kurundan BIST100 endeksine belirgin bir bilgi akışının ve nedenselliğin olduğunu göstermektedir. BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışı (*transfer entropisi*) 0,0058, dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışı 0,0061 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışı, BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışından biraz daha yüksektir. Kayan pencere analizlerinin sonucu olarak net transfer entropisinin değişimi 2008 yılından sonra yukarı yönlü bir trendi göstermektedir. Buna göre transfer entropisi başlangıçta negatif değerler alırken daha sonra pozitif değerlere geçmektedir. Dolayısıyla 2008 öncesinde dolar kurundan BIST100 endeksine bilgi akışı baskınken daha sonra BIST100 endeksinden dolar kuruna bilgi akışı baskın hale gelmektedir. Transfer entropisinin kullanımının başlıca avantajı nedenselliğin ve bilgi akışının sayısal olarak ölçülebilir olmasıdır.

BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında gerçekleştirdiğimiz transfer entropisi analizi yalnızca doğrusal ilişkileri değil ayrıca doğrusal olmayan ilişkileri de içermektedir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular politika yapıcılar, yatırımcılar ve araştırmacılar için yararlı sonuçlar sunmaktadır. BIST100 endeksi ve dolar kuru politika yapıcılar için çok önemli iki makroekonomik değişkeni teşkil etmektedir. Bu iki makroekonomik değişken arasındaki ilişkinin ortaya koyulması politika yapıcılar için oldukça yararlıdır. Politika yapıcılar bu iki değişken arasındaki nedensellik ilişkisine dair bilgileri kullanarak daha etkili politikalar uygulayabilirler. Dolayısıyla politika yapıcılar dolar kuruna yaptıkları bir müdahalenin BIST100 endeksine ve dolayısıyla ekonominin genel durumuna ve yatırım düzeyine olan etkisini öngörebilirler. Ayrıca politika yapıcılar BIST100 endeksindeki değişimlere bakarak dolar kurunun gelecekteki değerinin bundan nasıl etkileneceğini de tahmin edebilirler. Bu çalışmanın sonuçları ayrıca yatırımcılar için de yararlıdır. BIST100 endeksi ve dolar yatırımcıların yatırımda bulunabilecekleri başlıca iki enstrümanı teşkil etmektedir. Dolayısıyla yatırımcılar BIST100 endeksi ve dolar kuru arasındaki ilişkiye dair bu çalışmada ortaya koyulan bilgileri kullanarak daha kârlı yatırım stratejileri geliştirebilirler ve daha iyi bir portföy çeşitlendirmesini sağlayabilirler. Çalışmanın sonuçları ayrıca araştırmacılar için de yararlı bilgileri içermektedir. Bu çalışmadan elde edilen BIST100 endeksi ile dolar kuru arasında çift yönlü nedensellik, BIST100 endeksinin gelecek değerlerinin tahmin edilmesinde geçmiş dolar kuru değerlerinin ve dolar kurunun gelecek değerlerinin tahmin edilmesinde geçmiş BIST100 endeksi değerlerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Dolayısıyla BIST100 endeksi ve dolar kuru arasındaki ilişkinin modellenmesinde bir değişkeni diğer değişkenlerin geçmiş değerleriyle açıklayan vektör otoregresyon (*vector autoregression*) modelleri gibi istatistiksel modeller kullanılabilir.

Sonuç olarak transfer entropisi zaman serileri ile ifade edilen ekonomik veya finansal değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin ortaya koyulmasında oldukça yararlı bir yöntemdir. Bu çalışmada BIST100 endeksi ve dolar kuru arasındaki nedensellik ilişkisi transfer entropisi ile analiz edilmiştir. Gelecek çalışmalarda diğer ekonomik değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri transfer entropisi yöntemi kullanılarak analiz edilebilir.

Kaynakça

- Ayvaz, Ö. (2006). Döviz kuru ve hisse senetleri fiyatları arasındaki nedensellik ilişkisi. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 1-14.
- Cingöz, F. ve Kendirli, S. (2019). Altın fiyatları, döviz kuru ve Borsa İstanbul arasındaki ilişki. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(4), 545-554.
- Dimpfl, T. ve Peter, F. J. (2013). Using transfer entropy to measure information flows between financial markets. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 17(1), 85-102.
- Dimpfl, T. ve Peter, F. J. (2014). The impact of the financial crisis on transatlantic information flows: An intraday analysis. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 31, 1-13.
- García-Medina, A. ve Hernández C, J. B. (2020). Network analysis of multivariate transfer entropy of cryptocurrencies in times of turbulence. *Entropy*, 22(7), 760.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 37, 424-438.
- Hatemi-j, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical Economics*, 43(1), 447-456.
- Jizba, P., Kleinert, H., ve Shefaat, M. (2012). Rényi's information transfer between financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(10), 2971-2989.
- Kendirli, S. ve Çankaya, M. (2016). Dolar kuru'nun Borsa İstanbul 30 endeksi üzerindeki etkisi ve aralarındaki nedensellik ilişkisinin incelenmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 307-324.
- Benli, Y. K. (2015) Döviz kuru ile Borsa İstanbul 100 ve sektör endeksleri arasındaki ilişkinin ampirik analizi. *UHBAB Journal*, 4(12), 55-72.
- Kullback, S. ve Leibler, R. A. (1951). On information and sufficiency. *The Annals of Mathematical Statistics*, 22(1), 79-86.
- Marschinski, R. ve Kantz, H. (2002). Analysing the information flow between financial time series. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 30(2), 275-281.
- Osei, P. M. ve Adam, A. M. (2020). Quantifying the Information Flow between Ghana Stock Market Index and Its Constituents Using Transfer Entropy. *Mathematical Problems in Engineering* 2020, 1-10. doi:10.1155/2020/6183421.

- Pekkaya, M. ve Bayramoğlu, M. F. (2008). Hisse senedi fiyatları ve döviz kuru arasındaki nedensellik ilişkisi: YTL/USD, İMKB 100 ve S&P 500 Üzerine Bir Uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (38), 163-176.
- Schreiber, T. (2000). Measuring information transfer. *Physical Review Letters*, 85(2), 461-464.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.
- Şentürk, M. ve Dücan, D. (2014). Türkiye’de Döviz Kuru-Faiz Oranı ve Borsa Getirisi ilişkisi: Ampirik Bir Analiz. *Business and Economics Research Journal*, 5(3), 67-80.
- Toda, H. Y. ve Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Yao, C. Z. ve Li, H. Y. (2020). Effective transfer entropy approach to information flow among EPU, Investor Sentiment and Stock Market. *Frontiers in Physics*, 8, 206.

Extended Abstract

Aim and Scope

This study aims to analyze causality and information flow between BIST100 index and exchange rate of dollar. For this analysis a new information theory-based method, transfer entropy is utilized. In the literature to analyze causality various methods such as Granger, Toda-Yamamoto, and Hatemi-J causality tests are utilized. These classical methods demonstrate whether there is a causality and the direction of causality but could not measure the degree of causality. However, transfer entropy can measure the degree of causality in the form of information flow. Also transfer entropy could detect nonlinear relationships between time series unlike the classical methods. In the literature, interactions between time series are also discussed with correlation functions. However, these functions have two disadvantages. Firstly, correlation functions reveal only linear relationships. Secondly, correlation functions do not show cause and effect relationship.

Methods

In this work to analyze causality and information flow between BIST100 index and exchange rate of dollar we utilized a new method called transfer entropy. This method is based on Shannon entropy. Shannon entropy simply measures the number of bits required to encode the outputs of a random variable. The concepts of Shannon entropy and Kullback-Leibler distance are combined to measure the information flow between two time series with transfer entropy. It is also assumed that the evolution of time series is governed by a Markov process. Transfer entropy measures the information flow between two processes. The transfer entropy estimates are biased due to the effect of the small sample. In order to overcome this problem, the concept of effective transfer entropy has been proposed. In this method, the time series is shuffled and the transfer entropy is calculated from this shuffled time series. This shuffled version of transfer entropy is then subtracted from the normal transfer entropy to obtain the effective transfer entropy. To evaluate the statistical significance of transfer entropy, Dimpfl and Peter (2013) proposed a Markov block bootstrap procedure. Contrary to shuffling, this procedure preserves dependencies in the time series. Under the null hypothesis that there is no information flow, this procedure produces the distribution of the transfer entropy and the corresponding p-values. In order to calculate the Shannon transfer entropy, the data must be discrete. If the data is not discrete, the data must be discretized. This discretization is accomplished by a method called symbolic recoding. In our analysis to demonstrate how transfer entropy and information flow change through time we utilized a sliding window method. To check for robustness of our results we utilized different window lengths.

Findings

Our findings reveal that between the period 02.01.2002 and 08.09.2021 there is a significant information flow between BIST100 index and exchange rate of dollar in both directions. From BIST100 index to exchange rate of dollar calculated transfer entropy is 0.0058 and from exchange rate of dollar to BIST100 index calculated transfer entropy is 0.0061. Therefore, information flow from exchange rate of dollar to BIST100 index is slightly higher than information flow from BIST100 index to exchange rate of dollar. Also, we demonstrate how information flow (transfer entropy) changes through time by using sliding window method. We used three different window size such as 1000, 800 and 600 days. We also investigated how net transfer entropy changes through time. To obtain net information flow we subtracted information flow from exchange rate of dollar to BIST100 index from information flow from BIST100 index to exchange rate of dollar. We show that for all window lengths there is an upward trend in net information flow. Accordingly, the transfer entropy initially takes negative values, then it changes to positive values. Therefore, while the information flow from the dollar rate to the BIST100 index is dominant at the beginning, the information flow from the BIST100 index to the dollar rate becomes dominant at the end.

Conclusion

In this study we analyzed information between BIST100 index and exchange rate of dollar by using transfer entropy. Transfer entropy is a new method based on information theory. Transfer entropy can measure the degree of causality unlike classical methods for causality analysis such as Granger, Toda-Yamamoto, and Hatemi-J causality tests. Another advantage of transfer entropy is that it can detect nonlinear relationships. Therefore, our results include also nonlinear relationships. Since we utilized different window sizes and detect similar patterns in net transfer entropy our results are robust. Findings from this study provide useful results for policy makers, investors and researchers. BIST100 index and dollar rate are two very important macroeconomic variables for policy makers. It is very useful for policy makers to reveal the relationship between these two macroeconomic variables. Policy makers can implement more effective policies by using the information on the causal relationship between these two variables. The results of this study are also useful for investors. The BIST100 index and the dollar are the two main instruments that investors can invest in. Therefore, investors can develop more profitable investment strategies and provide better portfolio diversification by using the information revealed in this study on the relationship between the BIST100 index and the dollar rate. The results of the study also contain useful information for researchers. The bidirectional causality between the BIST100 index and the dollar rate obtained from this study shows that the past dollar exchange rates can be used in estimating the future values of the BIST100 index and the past BIST100 index values can be used in estimating the future values of the dollar rate. Therefore, statistical models such as vector autoregression models that explain a variable with the past values of other variables can be used to model the relationship between the BIST100 index and the dollar rate.