

# YÜKSEK FREKANSLI TÜRK LİRASI GETİRİLERİNDE YAPISAL KIRILMALARIN BELİRLENMESİ

## IDENTIFYING STRUCTURAL BREAKS IN HIGH FREQUENCY TURKISH LIRA RETURNS

Erhan ULUCEVİZ<sup>\*</sup> 

### Öz

Bu çalışmanın temel amacı, Türk lirasının küresel olarak en çok işlem gören üç para birimi (USD, EUR, JPY) ile oluşturduğu döviz çiftlerinin 5 dakikadan 1 güne kadar 8 farklı frekanstaki getiri serilerinde aniden gerçekleşen koşullu olmayan varyans değişimlerinin (yapısal kırılma) belirlenmesidir. Yaklaşık 584 milyon adet milisaniye detayında ölçülmüş 1. düzey emir defteri tik verisinden hareketle; 8 farklı frekansta toplulaştırılmış getiri serilerinde gerçekleşen koşullu olmayan varyans değişimleri Inclan-Tiao, Kappa 1 ( $\kappa_1$ ) ve Kappa 2 ( $\kappa_2$ ) testleri ile belirlenmiştir. Testlerin sonucunda, teoriyle uyumlu olarak getiri serilerinin pozitif fazla basıklık ve koşullu değişen varyans özelliklerini göz önüne alan ( $\kappa_2$ ) testinin daha başarılı olduğu bulunmuştur. Beklentilerle uyumlu olacak şekilde: (i) 2007-2009 Küresel Finans Krizi, (ii) Mayıs 2013 Fed parasal sıkılaştırma planı başlangıcı, (iii) Ağustos 2018 Türk lirasına karşı yapılan kur atağı ve (iv) Aralık 2021 Türk lirası ani kur oynaklığı artışı ve takip eden Rusya-Ukrayna savaşı dönemleri artan yapısal kırılma sayılarıyla eş zamanlıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Döviz piyasaları, yapısal kırılma testleri, koşullu olmayan varyans, Türk lirası.

**JEL Sınıflandırılması:** C22, C55, G15

### Abstract

The main aim of this study is to detect abrupt unconditional variance changes (structural breaks) in the return series of the Turkish lira concerning its currency pairs with the three most heavily traded currencies worldwide (USD, EUR, JPY) across eight distinct frequencies ranging from 5 minutes to 1 day. Leveraging approximately 584 million milliseconds of level-1 order book tick data, the analysis identifies unconditional variance shifts in the return series using the Inclan-Tiao, Kappa 1, and Kappa 2 tests. Consistent with the theory; the  $\kappa_2$  test, which takes into account the leptokurtosis and conditional heteroscedasticity of the return series, is found to be more successful. In line with expectations, (i) the Global Financial Crisis of 2007-2009, (ii) the start of the Fed's monetary tightening plan in May 2013, (iii) the exchange rate attack against the Turkish lira in August 2018, and (iv) the sudden increase in exchange rate volatility in the Turkish lira in December 2021 and the subsequent Russia-Ukraine war periods are coincident with increasing number of structural breaks.

**Keywords:** Foreign exchange markets, structural break tests, unconditional variance, Turkish lira.

**JEL Classification:** C22, C55, G15

\* Dr. Öğr. Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İktisat Bölümü, erhan@uluceviz.com. ORCID: 0000-0002-4496-8756.

**To cite this article:** Uluceviz, E. (2024). Yüksek frekanslı Türk Lirası getirilerinde yapısal kırılmaların belirlenmesi. *Journal of Research in Business*, 9(1), 149-168. DOI: 10.54452/jrb.1458441

**Ethics Committee:** "Bu çalışma etik kurul raporu gerektirmemektedir."

**Submitted:** 25.03.2024

**Revised:** 29.04.2024

149

**Accepted:** 07.05.2024

**Published Online:** 27.06.2024

## Extended Summary

The present study endeavors to investigate the impact of domestic and global shocks on Turkish lira returns over a 16-year period, while also assessing the efficacy of three distinct but related tests for identifying structural breaks in unconditional variances. Specifically, the Inclan-Tiao test as per Inclan and Tiao (1994), as well as the Kappa 1 and Kappa 2 tests following the approach of Sanso et al. (2004), are evaluated within the context of high-frequency data setting. Departing from a dataset based on millisecond-resolution level-1 order book price data pertaining to the USD/TRY, EUR/TRY, and TRY/JPY currency pairs; a total of approximately 584 million tick data points spanning from March 2007 to June 2023 (with the inclusion of TRY/JPY data from May 2010 onwards) are aggregated across various time intervals ranging from 5 minutes to 1 day, thereby resulting in eight distinct price series. Utilizing these aggregated price series, the study undertakes to discern changes in unconditional variance within the returns of the above currency pairs.

Recognition of unconditional variance changes has significant implications in statistical and financial econometric modeling, as they contribute vital insights crucial for detecting regime shifts. Neglecting to account for such changes may lead to erroneous estimations, potentially resulting in misaligned portfolio component weights and heightened risk exposure within managed portfolios. The findings of this study align consistently with both theoretical expectations and prior empirical observations. In particular, the Inclan-Tiao test, while disregarding the positive excess kurtosis and conditional heteroscedasticity inherent in financial return series, exhibits a propensity to detect a larger number of unconditional variance changes scattered over the time period analyzed compared to the Kappa 1 test, which solely addresses positive excess kurtosis. Conversely, the Kappa 2 test, which incorporates considerations of both of the aforementioned properties inherent in return series, identifies fewer variance changes, with a notable concentration during periods characterized by significant shocks.

Structural breaks are notably concentrated in four distinct periods: (i) the Global Financial Crisis spanning from 2007 to 2009, (ii) the period of monetary tightening and the associated increase in international asset price volatility recognized as the Taper Tantrum occurring between 2013 and 2014, (iii) the currency attack targeting the Turkish Lira in August 2018, and (iv) the sudden increase in Turkish Lira volatility towards the conclusion of 2021, alongside the escalating tensions and ensuing conflict between Russia and Ukraine at the outset of 2022. The observable impact of these shocks on Turkish lira returns is plainly evident within the tests', especially the Kappa 2 test, results.

Consequently, the analyses suggest that the Kappa 2 test emerges as the more suitable method for identifying unconditional variance changes in financial return series, even when utilizing high-frequency (5-minute) data, demonstrating relatively high precision.

To the best of our knowledge, this study is the first attempt that conducts structural break identification using high-frequency data resorting to such a rich dataset focused on the Turkish lira.

## 1. Giriş

Küresel döviz piyasası, Nisan 2022 (Nisan 2019) itibarıyla günlük ortalama işlem hacmi yaklaşık 7.5 (6.6) trilyon ABD doları ile dünyanın en büyük finansal piyasasıdır. Türk lirası (TRY) ise son dönemde düşen işlem hacmine rağmen tarihsel olarak yaklaşık %1'lik işlem hacmi oranı ile önemli gelişen ülke para birimlerindedir ve aynı dönemde günlük ortalama işlem hacmi yaklaşık 27.3 (71.2) milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir, bkz. Bank for International Settlements (2022).<sup>1</sup>

Bu çalışmada, Türk lirasının küresel olarak en yüksek işlem hacmine sahip üç para birimi (ABD doları – USD, Avro – EUR ve Japon yeni – JPY) ile karşılıklı oluşturduğu döviz çiftleri (USD/TRY, EUR/TRY ve TRY/JPY) incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, bu üç döviz çiftinin 5 dakikadan 1 güne kadar 8 farklı frekanstaki getiri serilerinde aniden gerçekleşen koşullu olmayan varyans değişimlerinin<sup>2</sup> (yapısal kırılma) belirlenmesidir. Yapısal kırılmaları belirlemede üç farklı test kullanılmıştır: (i) Inclan & Tiao (1994) tarafından geliştirilen Inclan-Tiao (IT) yapısal kırılma testi ve Sanso vd (2004) tarafından geliştirilen ve IT testinin finansal zaman serisi uygulamaları için sahip olduğu eksikliklerin giderildiği (ii) Kappa 1 ( $\kappa_1$ ) ve (iii) Kappa 2 ( $\kappa_2$ ) testleri. Bu testlerin finansal uygulamaları genelde günlük frekanstaki verilerle yapılmıştır. Her üç testin uygulaması için örneğin, bkz. Uluceviz (2015) ve sadece ( $\kappa_2$ ) testinin uygulaması için bkz. Güloğlu vd. (2016). Her ne kadar IT testinin normal dağılım ve sabit varyans varsayımları sebebiyle finansal seriler için uygun olmadığı bkz. Sanso v.d. (2004) tarafından gösterilmişse de; mevcut çalışmada IT testi de dahil olmak üzere her üç testin yüksek frekanslı finansal verilerdeki performansı incelenmektedir.

Finansal zaman serilerindeki yapısal kırılmaları ihmal etmenin çeşitli istatistiki ve finansal sonuçları olacaktır. İhmal edilen yapısal kırılmalar, kullanılan ekonometrik modellerin temel varsayımlarının ihlal edilmesine yol açabilir. Bunun sonucunda; modeller, analistin beklediği işlevleri göremeyebilir veya varılan yargılar yanlış olabilir. Uygulama alanına bağlı olarak, bu durum yanlış hesaplanmış portföy bileşen ağırlıklarına veya yönetilen portföylerde hedeflenenenden fazla risk alınmasına da sebep olabileceği gibi yanlış politika önerileri verilmesine de yol açabilir.

Yapısal kırılmaların belirlenmesi ile ilgili çalışmaların literatürdeki ilk örnekleri 1950'li yıllarda; kalite kontrol uygulamaları, bkz. Page (1954, 1955) veya nehir taşkınlarının öngörülmesinde, bkz. Granger (2001) görülebilir. Literatürde incelenen ilk problemler birbirinden bağımsız gözlemler içerdiğinden ortalama ve varyanslardaki yapısal kırılmaları tespit önem kazanmıştır. Sonraları bunların yanında kovaryanslardaki kırılmaları ve modelin genel kararlılığını belirlemek için de yöntemler geliştirilmiştir. Seri korelasyon içeren serilerdeki kırılmaların tespiti de önemli bir araştırma alanıdır.

1 Döviz işlemleri genellikle tezgah üstü (OTC) işlemler olduğundan ortalama işlem hacimleri; 1986 yılından beri her üç yılda bir Bank for International Settlements (BIS) tarafından üye merkez bankalarına Nisan ayı için yapılan anketlerle hesaplanır. Bu sebeple, raporlanan veriler gösterge niteliğindedir. Verilerin detayına erişmek için, bkz. <https://data.bis.org/topics/DER/data>, erişim tarihi: 2024-03-18.

2 Yapısal kırılma/değişim (en. structural break/change) terimleri ekonometri literatüründe yaygın olarak kullanılırken istatistik literatüründe genellikle kırılma/değişim noktası (en. breakpoint/change point) terimleri kullanılır, Andreau ve Ghysels (2006).

Verilerdeki yapısal kırılmaların çeşitli bağlamlardaki uygulamaları literatürde geniş bir yer tutar, bunlara örnek olarak: iktisatta Perron (2006), finansta Andreou ve Ghysels (2009), klimatolojide Reeves v.d. (2007) ve istatistiki üretim kontrolünde Stoumbos v.d. (2000) verilebilir. Bu ve benzeri çalışmaların geniş derlemeleri için örneğin bkz. Aue ve Horvath (2013). Mevcut çalışmanın odak noktası; varyanstaki yapısal kırılmaları belirlemek olduğundan literatür incelemesinde varyans kırılmaları ve bunların kararlılığını inceleyen çalışmalara özellikle ağırlık verilmiştir. Varyanstaki yapısal kırılmalar ve varyansın kararlılığı özellikle iktisat ve finansta kritik bir konudur. Bununla ilgili örneğin bkz. Lamoureux ve Lastrapes (1990), Inclan ve Tiao (1994), Chen ve Gupta (1997), Sanso vd. (2003) ve Smith (2008). Pitarakis (2004) ve Jin vd. (2018), ortalama ve varyanstaki kırılmaları aynı anda inceleyen çalışmalardandır. Büyük boyutlu kovaryans matrislerindeki kırılmaları tespit etmeye çalışan bir çalışma örneği için bkz. Li vd. (2023). Aue v.d. (2009) kovaryanstaki yapısal kırılmaları inceler. Hong vd. (2024) ise tek ve çok değişkenli serilerde seri otokorelasyon, koşullu varyans, uç değer varlığı gibi durumlarda yapısal kırılmaları belirleyen bir test geliştirmişlerdir.

Mevcut çalışmada kullanılan yapısal kırılma testlerini ve yaklaşımı Türkiye piyasalarındaki yapısal kırılmaları belirlemede kullanan bir literatür de vardır. Bunlarda kullanılan verilerin frekansı genellikle günlük veya daha düşüktür (aylık). Bu çalışmaların bir bölümü Borsa İstanbul (BİST) endeksleri veya şirketlerini incelerken, bir diğer bölümü de döviz kuru veya gösterge faiz gibi değişkenleri araştırma konusu yapmıştır. Kullanılan kırılma testleri ise büyük bir oranda IT veya Kappa 2 testidir. Bunları örneklemek gerekirse; döviz kurundaki kırılmaları inceleyen çalışmalar için örneğin bkz. Gürsakal (2015), Özdemir (2018), Akardeniz ve Engin (2019) ve Büberkökü (2021). Bu çalışmalar, kurlardaki kırılma tarihlerini belirleyerek o tarihlerde piyasalarda gerçekleşen rejim değişikliklerini modellerine genellikle kukla değişken aracılığıyla yansıtılmışlardır. Öte yandan; Gürsakal (2011), Demireli (2010) ve Çınar ve Hepkorucu (2018) gibi çalışmalar BİST-100, diğer alt endeksleri veya BİST'te işlem gören bazı hisseleri inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Büberkökü (2021) ve Kartal (2022) gösterge faizdeki kırılmaların etkilerini modellerinde incelemişlerdir. Bahsedilen çalışmalar genellikle birkaç bin veya daha az sayıda gözlem içerir. Bu da belirlenen kırılma sayılarının görece az olmasına yol açmıştır. Belirlenen kırılma tarihleri, genellikle GARCH modeli veya çeşitli varyantlarında girdi olarak kullanılır. Mevcut çalışmanın bu uygulamalardan temel farkı; çalışmanın odağına, en düşüğü günlük frekansta olacak şekilde, yüksek frekanslı döviz getirilerini alıp serilerin dinamiklerini anlama yönünde bir çaba göstermesidir. Bu haliyle de, literatüre orijinal bir katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada milisaniye hassasiyetinde ölçülmüş toplamda yaklaşık 584 milyon adet 1. düzey emir defteri tik verisi kullanılarak USD/TRY, EUR/TRY ve TRY/JPY döviz çiftlerinin her biri için 5 dakikadan 1 güne kadar olan frekanslarda 8 farklı getiri serisi hazırlanmıştır. En yüksek frekansın 5 dakika seçilmesinin istatistiki ve pratik sebepleri vardır. İstatistiki olarak: döviz piyasalarında 5 dakikalık frekansta örneklem kullanılması genel bir konsensustur, teorik detaylar için bkz. Hansen ve Lunde (2006). Ayrıca yüksek frekans ekonometrisinde, oynaklık literatüründe 5 dakikadan 15 dakikaya kadarlık frekansta örneklem kullanmak yaygın uygulamadır, bkz. Ait-Sahalia & Jacod (2014). Bu yaklaşımın temel sebebi 5 dakikalık frekansta piyasa mikro yapısı etkilerinin azalmasıdır. Pratik olarak ise: milyon mertebesinde gözlem olan verileri yinelemeli özelliğe sahip mevcut testlerde

girdi olarak kullanmanın sonucunda hesaplama sayısı gözlem sayısı ile üstel olarak artacağından; ev tipi bilgisayarların işlem kapasiteleri aşılabilmektedir. Bu sebeplerle, sahip olunan ham veriler milisaniye hassasiyetinde tik veri olmasına rağmen çalışmada seçilen örneklem en yüksek 5 dakikalık frekansa, en düşük olarak ise 1 günlük frekansa sahiptir.

Çalışmada, belirlenen yapısal kırılmaların olası sebepleri araştırılmamakla birlikte gözlemlenen kırılma örüntülerinin hangi finansal gelişme sebebiyle oluşabileceği incelenmektedir. Bu bağlamda çalışma, şokun sebebine karşı çekimseldir. Fakat bulgular, kırılma örüntülerinin analiz dönemindeki yerel ve küresel finansal olaylar ile yakından ilişkili olduğunu gösterir. 2007-2009 Küresel Finans Krizi, 2013'te Amerikan Merkez Bankası Fed'in parasal sıkılaştırma politikasının başlangıcı, Ağustos 2018'de Türk lirasına karşı yapılan kur atağı ve 2021 yılı sonundaki Türk lirasındaki ani kur oynaklığı artışı gibi dönemlerin etkileri bulgularda açıkça gözlemlenebilmektedir.

Bu çalışmada; veri indirme, hazırlama işlemleri Python, analizler ise R bkz. R Core Team (2023) ortamında gerçekleştirilmiştir. Veri işlemede ve diğer zaman serisi uygulamaları için "tseries", bkz. Trapletti ve Hornik (2023) ve "xts" paketlerinden yararlanılmıştır, bkz. Ryan ve Ulrich (2023).

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölüm, çalışmada kullanılan verilerin kaynaklarını ve ham verilerin hazırlanışını açıklar. 3. bölüm, analiz yöntemini ve ilgili istatistiki testleri özetlerken 4. bölüm ampirik sonuçları sunmaktadır. 5. bölüm, çalışmanın özetini ve sonuçlarını sunar.

## 2. Veriler

Bu çalışmada kullanılan verilerin temelini USD/TRY (ABD doları/Türk lirası), EUR/TRY (Avro/Türk lirası) ve TRY/JPY (Türk lirası/Japon yeni) döviz çiftleri için elde edilen emir defteri tik verileri (1. düzey verileri) oluşturmaktadır. Her üç döviz çifti için toplamda yaklaşık 584 milyon adet tik veri kullanılmıştır.

Analizde kullanılan veriler hazırlanırken; ilk adımda, Dukascopy<sup>3</sup> veritabanında erişime açık, en yüksek frekanslı (verilerin toplandığı an itibarıyla, milisaniye) tik veriler ham halde indirilmiştir. Veriler; günler ve günlerin veri içeren her saati için saat başından geçen milisaniye cinsinden sağlanmıştır. Elde edilen ham veriler *yıl-ay-gün saat:dakika:saniye.milisaniye* zaman damgasına sahip olacak yeniden düzenlenmiştir. Çalışmada kullanılan ve raporlanan tüm veriler UTC<sup>4</sup> zaman damgasına sahiptir. Bir sonraki adımda verilerdeki alış ve satış fiyat tekliflerinin ortalaması hesaplanmıştır. Milisaniye düzeyinde hesaplanan bu seriler belirtilen dakikalardaki sekiz farklı aralıkta toplulaştırılmıştır: 5, 10, 15, 30, 60 (1 saat), 360 (6 saat), 720 (12 saat), 1440 (1 gün). Toplulaştırma sonucunda her bir zaman aralığı için o aralıkta gerçekleşen açılış, kapanış, en yüksek ve en düşük değerlere ulaşılır. Bu zaman aralıklarında gerçekleşen kapanış değerlerinden hesaplanan

3 Dukascopy.com. Dukascopy Bank SA, Cenevre/İsviçre merkezli bankacılık lisansına sahip, daha çok bireysel müşterilere mobil işlem, bankacılık ve finansal hizmetler sunan bir çevrim içi finans kuruluşudur.

4 Eşgüdümlü Evrensel Zaman (fr. Temps Universel Coordonné ve en. Coordinated Universal Time). UTC, atomik zamana göre hesaplanan bir zaman standardıdır. Türkiye, UTC+3 zaman dilimini kullanmaktadır.

logaritmik getiri serileri, her birinin ortalaması sıfır olacak şekilde düzeltilmiştir. Elde edilen seriler, yöntem bölümünde anlatılan ve koşullu olmayan varyans değişimlerini tespit için kullanılan testlere girdi olarak kullanılır. Tüm veri indirme, hazırlama ve düzenleme işlemlerinde Python; verilerin analizinde ve ilgili grafiklerin hazırlanmasında ise R dilinde yazılan kodlar kullanılmıştır.

Tablo 1, ham ve toplulaştırılmış veriler ile ilgili genel bilgiler içermektedir. Toplulaştırılmış veriler için verilen zaman damgaları ilgili aralığın başlangıcını göstermektedir. Örneğin USD/TRY için 5 dakikalık toplulaştırılmış verilerin ilk zaman damgası 2007-03-13 07:00:00 olarak verilmiştir. Bu zaman damgasına denk gelen zaman serisi; verilen başlangıç zamanından sonraki ilk 5 dakika için (2007-03-13 07:00:00 – 2007-03-13 07:04:59 aralığı) toplulaştırılmış ve orta noktası hesaplanan tüm tik verilerin açılış, kapanış, en yüksek ve en düşük değerleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Burada ham verilerle ilgili not edilmesi gereken veri sağlayıcı kaynaklı iki husus vardır: (i) EUR/TRY ve USD/TRY çiftleri için verilerin başlangıç ve bitiş günleri aynı takvim günlerine denk gelse de örneğin günlük toplulaştırılmış veriler farklı sayıda veri içermektedir. Bunun sebeplerinden biri toplulaştırma işleminin tik verilerden yapılması ve her iki çift için bire bir aynı zaman damgalarına sahip tik veriye sahip olunmamasıdır. Bunun büyük ölçüde piyasa koşullarından ve Dukascopy fiyatlandırma stratejilerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bir diğer sebep ise toplulaştırma aralıklarına denk gelen tik verideki gözlem sayılarının ve son gözlem zaman damgasının toplulaştırılmış gözlem sayılarında farklılığa yol açmış olması ihtimalidir. (ii) TRY/JPY çifti için milisaniye çözünürlükteki ilk zaman damgası gözlemi UTC 2016-03-10 11:02:21.119 itibarıyla gerçekleşmiştir. Ondan önceki gözlemler saniye frekansında sağlanmıştır. Çalışmada en yüksek frekans aralığı 5 dakikalık olduğundan bu durum veri hazırlama ve analiz süreçlerinde herhangi bir soruna yol açmamaktadır.

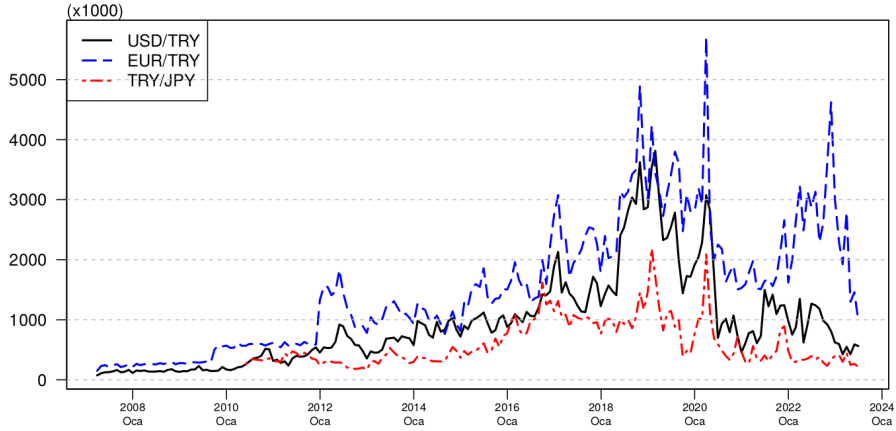
Şekil 1 ise her bir döviz çifti için tik verilerin aylık toplam sayısını göstermektedir. Veri olan 195 aydan sadece 4'ünde (2014 Ağustos ve Eylül, 2019 Şubat ve 2020 Nisan) USD/TRY tik sayısı EUR/TRY sayısını geçmiştir. Grafığe göre; özellikle COVID-19 pandemisi döneminde EUR/TRY tik sayısında büyük miktarda artışlar gözlemlenmiştir. Benzer durum 2023 yılının başlarında da gözlemlenmiştir.

Tablo 2 yapısal kırılma testlerine girdi olarak kullanılan logaritmik getiri serilerinin betimleyici istatistiklerini sunar. Her bir döviz çifti ve toplulaştırma aralığı için ortalama değerler sıfırdır. Bunun sebebi testlere girdi olan getiri serilerinin ortalaması sıfır olacak şekilde düzeltilmiş olması gereğidir. Bu düzeltme sonrası dağılımın ortalamasının sabit bir miktar kaymış olması diğer istatistikleri etkilemeyecektir. Bu bilgiler ışığında; çarpıklık değerleri, USD/TRY ve EUR/TRY için 5 dakikalıktan 1 saatlik frekanstaki veriler dahil tüm veriler için pozitifdir. Daha düşük frekanslarda ise bu değerler negatiftir. TRY/JPY için ise tersi bir durum gözlemlenir. Şöyle ki; 5 dakikalıktan 30 dakikalığa kadar olan frekanslarda negatif çarpıklık değerleri, daha düşük frekanslarda pozitif olur. Basıklık değerleri ise tüm seriler için çok büyük değerler olarak verilerdeki kalın kuyruk (pozitif fazla basıklık) özelliğine işaret eder. Her bir para birimi ve toplulaştırma aralığı için Jarque-Bera istatistiğinin en düşük değeri yaklaşık 225,000 olarak hesaplanmıştır ve tüm değerler %1 seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Tüm bu bilgiler ışığında; getiri serilerinin beklenildiği gibi normal dağılıma sahip olmadığı tespiti yapılabilir.

Verilerle ilgili not edilmesi gereken önemli bir diğer husus, bu verilerin İsviçre’de yerleşik bir aracı kuruma ait emir defteri verilerinin olduğunun not edilmesidir. Bunun anlamı ilgili kurumun müşterilerinin bu fiyatlardan işlem yapabileceğidir. Gerçekleşmiş işlem fiyatları ise müşterilerin özellikleri, işlem limitleri, tabi oldukları işlem ücretleri veya sahip oldukları teknolojik imkanları gibi çeşitli faktörler sebebiyle bu anlık fiyatlardan farklılık gösterebilir. Kullanılan verilerin sağlayıcısı birçok emrin girildiği veya toplandığı bir işlem platformu (örneğin CME Group bünyesinde yer alan toptan döviz işlemi platformu Electronic Broking Services–EBS– gibi) olmaması sebebiyle piyasada gerçekleşen yüksek hacimli işlemlerin fiyatlarından farklılık gösterebilir. Fakat yüksek hacimli döviz ticaret platformlarının gerçekleşmiş fiyat verilerine bu detayda ücretsiz olarak ulaşmak mümkün olmadığından ara bir çözüm olarak mevcut veri kaynağı tercih edilmiştir. Kullanılan fiyatların yüksek tutarlı işlemlerin gerçekleştiği fiyatlardan büyük farklılıklar göstermesi arbitraj fırsatı yaratacağından, bu fiyat farkları kısa bir süre sonra kapanacaktır.

Çalışmaya milisaniye mertebesinde zaman damgasına sahip ham veri ile başlamanın en önemli avantajı şöyle açıklanabilir: Küresel döviz piyasası, yapısı gereği tüm alım satım işlemlerinin ve bu işlemlerin takasının yapıldığı merkezi bir kuruma çoğunlukla sahip değildir. Farklı frekanslardaki veriler, farklı veri sağlayıcılarından sağlanıyorsa (örneğin 5 dakikalık verinin A, 1 günlük verinin B kaynağından temin edilmesi gibi) bu veriler farklı piyasalardan geliyor olabilir. Bu durumun farklı frekanstaki veriler arasında bir tutarsızlığa yol açması kaçınılmazdır. Böyle bir durumda verilerin yanlışlığından ziyade tutarsızlığı önemlidir, zira her iki veri kaynağı da aynı anda doğru olabilir. Fakat kullanılan veriler ilgili çalışmanın perspektifinden bakıldığında tutarsız olabilir. A kaynağına ait 5 dakikalık veriden toplulaştırılan 1 günlük verinin B kaynağından alınan veri ile aynı olmaması gibi. Bu sorunun önüne geçmenin en kesin yolu, verileri ortak bir ham veri kaynağından üretmektir. Bu çalışmada yapılan da budur. Milisaniye mertebesindeki ham verilerden hazırlanan toplulaştırılmış serilerin farklı frekanslardaki iç tutarlılığı garanti edilmiştir.

Bu noktada, çalışmada kullanılan veriler ile bunları kullanırken analize dayanak teşkil eden konuları/ varsayımları özetlemek yerinde olacaktır. Zira kullanılan veriler, Dukascopy isimli daha çok bireysel müşterilere hizmet sunan görece düşük tutarlı işlemlerin yapıldığı bir kurumun sağladığı 1. düzey emir defteri tik verileridir. Bu sebeple fiyat verilerinin uluslararası piyasalardaki işlem fiyatlarını bire bir yansıtmadığı söylenebilir. Bu haklı bakış açısı dikkate alınmış ve çalışma bazı varsayımlara dayanarak tamamlanmıştır. Bu varsayımlar şöyle özetlenebilir: (i) emir defteri verileri ile gerçekleşen işlemlerin fiyat dinamikleri önemli ölçüde örtüşür, (ii) düşük hacimli işlemler için sağlanan fiyatlar uluslararası piyasalarda gerçekleşen yüksek hacimli işlemler sonucunda oluşan fiyatlara yakındır, (iii) bu çalışmada kullanıldığı haliyle alış ve satış fiyatlarının orta noktası uluslararası fiyatlara olabildiğince yakındır.



Şekil 1: Aylık tik sayısı (2007 Mart / 2023 Haziran)

Tablo 1: Ham ve Topluştırılmış Veri Zaman Damgaları ve Gözlem Sayıları Özet Tablosu

UTC	USD/TRY	EUR/TRY	TRY/JPY
<b>Tik veri</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:01:00.664	2007-03-13 04:54:03.245	2010-05-10 00:47:03
Son gözlem	2023-06-30 18:59:43.439	2023-06-30 17:59:58.615	2023-06-30 20:59:50.388
Gözlem adedi	185,071,697	302,517,011	96,348,750
<b>5 dk</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:00:00	2007-03-13 04:50:00	2010-05-10 00:45:00
Son gözlem	2023-06-30 18:55:00	2023-06-30 17:55:00	2023-06-30 20:55:00
Gözlem adedi	1,133,381	1,149,936	973,907
<b>10 dk</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:00:00	2007-03-13 04:50:00	2010-05-10 00:40:00
Son gözlem	2023-06-30 18:50:00	2023-06-30 17:50:00	2023-06-30 20:50:00
Gözlem adedi	587,003	578,547	488,588
<b>15 dk</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:00:00	2007-03-13 04:45:00	2010-05-10 00:45:00
Son gözlem	2023-06-30 18:45:00	2023-06-30 17:45:00	2023-06-30 20:45:00
Gözlem adedi	393,213	387,480	326,084
<b>30 dk</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:00:00	2007-03-13 04:30:00	2010-05-10 00:30:00
Son gözlem	2023-06-30 18:30:00	2023-06-30 17:30:00	2023-06-30 20:30:00
Gözlem adedi	198,068	195,078	163,236
<b>1 sa</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 07:00:00	2007-03-13 04:00:00	2010-05-10 00:00:00
Son gözlem	2023-06-30 18:00:00	2023-06-30 17:00:00	2023-06-30 20:00:00
Gözlem adedi	99,751	98,313	81,706
<b>6 sa</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 06:00:00	2007-03-13 00:00:00	2010-05-10 00:00:00
Son gözlem	2023-06-30 18:00:00	2023-06-30 12:00:00	2023-06-30 18:00:00
Gözlem adedi	17,746	17,620	14,329



<b>12 sa</b>			
İlk gözlem	2007-03-13 00:00:00	2007-03-13 00:00:00	2010-05-10 00:00:00
Son gözlem	2023-06-30 12:00:00	2023-06-30 12:00:00	2023-06-30 12:00:00
Gözlem adedi	9,293	9,257	7,508
<b>1 gün</b>			
İlk gözlem	2007-03-13	2007-03-13	2010-05-10
Son gözlem	2023-06-30	2023-06-30	2023-06-30
Gözlem adedi	5,050	5,017	4,094

**Tablo 2:** Girdi Getiri Serileri Betimleyici İstatistikleri

<b>USD/TRY</b>									
	Ortalama	Minimum	Medyan	Maksimum	Std sapma	Çarpıklık	Basıklık	Gözlem adedi	Jarque-Bera
5 dk	0.0000	-0.1000	0.0000	0.1960	0.0008	14.1000	5,516	1,133,380	1,436,968,498,281*
10 dk	0.0000	-0.1100	0.0000	0.2060	0.0011	12.6200	3,687	587,002	332,453,328,579*
15 dk	0.0000	-0.1000	0.0000	0.2120	0.0013	11.4400	2,825	393,212	130,794,766,430*
30 dk	0.0000	-0.1700	0.0000	0.2200	0.0018	2.9000	2,325	198,067	44,596,263,076*
1 sa	0.0000	-0.1700	0.0000	0.2120	0.0024	1.4300	1,269	99,750	6,695,821,833*
6 sa	0.0000	-0.1800	-0.0001	0.1160	0.0051	-2.3700	150	17,745	16,562,935*
12 sa	0.0000	-0.1700	-0.0002	0.1160	0.0071	-1.4200	77	9,292	2,270,652*
1 gün	0.0000	-0.2000	-0.0003	0.1440	0.0098	-0.1900	55	5,049	646,294*
<b>EUR/TRY</b>									
	Ortalama	Minimum	Medyan	Maksimum	Std sapma	Çarpıklık	Basıklık	Gözlem adedi	Jarque-Bera
5 dk	0.0000	-0.1100	0.0000	0.1980	0.0009	10.6400	3,468	1,149,935	576,285,778,044*
10 dk	0.0000	-0.1100	0.0000	0.2190	0.0012	13.0400	3,269	578,546	257,634,341,580*
15 dk	0.0000	-0.1100	0.0000	0.2180	0.0014	11.0200	2,371	387,479	90,754,252,847*
30 dk	0.0000	-0.1800	0.0000	0.2160	0.0019	2.2800	1,902	195,077	29,418,281,898*
1 sa	0.0000	-0.1800	0.0000	0.2150	0.0025	1.1500	1,171	98,312	5,618,429,482*
6 sa	0.0000	-0.1400	-0.0001	0.1170	0.0051	-0.1700	86	17,619	5,400,223*
12 sa	0.0000	-0.1700	-0.0001	0.1170	0.0071	-1.1400	73	9,256	2,075,959*
1 gün	0.0000	-0.1400	-0.0004	0.1320	0.0095	0.6200	33	5,016	224,895*
<b>TRY/JPY</b>									
	Ortalama	Minimum	Medyan	Maksimum	Std sapma	Çarpıklık	Basıklık	Gözlem adedi	Jarque-Bera
5 dk	0.0000	-0.1500	0.0000	0.0780	0.0009	-5.5700	1,803	973,906	131,944,694,555*
10 dk	0.0000	-0.1500	0.0000	0.0810	0.0012	-5.7200	1,225	488,587	30,529,975,374*
15 dk	0.0000	-0.1500	0.0000	0.1000	0.0014	-3.7600	851	326,083	9,848,139,106*
30 dk	0.0000	-0.1400	0.0000	0.1430	0.0020	-1.1600	727	163,235	3,592,922,131*
1 sa	0.0000	-0.1400	0.0000	0.1470	0.0025	1.4900	392	81,705	522,411,190*
6 sa	0.0000	-0.1200	0.0001	0.2400	0.0058	4.3900	244	14,328	35,531,991*
12 sa	0.0000	-0.1200	0.0002	0.2690	0.0081	4.2600	185	7,507	10,764,975*
1 gün	0.0000	-0.1500	0.0004	0.2130	0.0109	0.5900	56	4,093	543,020*

**Not:** (i) \* işareti, %1 düzeyinde istatistiki anlamlılığı ifade eder. (ii) Seriler, ortalamaları sıfır olacak şekilde düzeltilmiştir.

### 3. Yöntem: Inclan-Tiao (IT), Kappa 1 ( $\kappa_1$ ) ve Kappa 2 ( $\kappa_2$ ) Testleri

Bu bölümde, veri setlerindeki koşullu olmayan varyans değişimlerini <sup>5</sup> belirlemekte kullanılan (i) Inclan-Tiao – IT, (ii) Kappa 1 –  $\kappa_1$  ve (iii) Kappa 2 –  $\kappa_2$  istatistiki testleri açıklanmaktadır. Veriler bölümünde hazırlanışı açıklanan veriler bu bölümde bahsedilen üç farklı testten geçirilip elde edilen varyans değişimi sayıları ve tarihleri analiz edilmiştir.

Bu testlerde kullanılan algoritmalar yinelemeli özelliğe sahip olduğundan mevcut büyüklükteki serilerde (kimi zaman milyon mertebesindeki gözlem sayılarında) işlemlerin oldukça yavaş gerçekleşmesi veya ev tipi masaüstü bilgisayarların kapasitesini aşabilmesi sebebiyle hiç gerçekleşmemesi olasıdır. Bu sebeple, gözlemler parçalara ayrılmak zorunda kalmıştır. Denenen çeşitli değerlerden sonra her bir iterasyon için gözlem sayısının  $\min\{\text{kalan toplam gözlem sayısı}, 30,000\}$  olarak belirlenmesine karar verilmiş ve her bir test için istatistiki anlamlılık düzeyi %5 olarak seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan her üç testin genel açıklamaları aşağıda verilmiştir. Detaylı teknik detaylar için bkz. Inclan ve Tiao (1994) ve Sanso vd. (2004).

#### 3.1. Inclan-Tiao (IT) Testi

IT testi, bkz. Inclan ve Tiao (1994), sabit bir varyansa sahip olduğu varsayılan  $y_t$  serisindeki; varsa, (koşullu olmayan) varyans değişimlerini belirlemekte kullanılır. Bunun için:  $c_0 = 0$  ve  $c_k = \sum_{t=1}^k y_t^2, k = 1, \dots, T$  birbiriyle ilişkisiz  $y_t \sim (0, \sigma^2), t = 1, \dots, T$  değişkenlerinin karelerinin ilk gözlemden  $k$ . gözlem dahil birikimli toplamı olsun. Bu durumda;  $D_k$  test istatistiği aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$D_k = \frac{c_k}{c_T} - \frac{k}{T}, k = 1, \dots, T \quad (1)$$

Örnekleme dönemi süresince varyansın sabit olduğu varsayımı altında  $D_k$  istatistiği 0 etrafında dalgalanır ( $k - D_k$  düzleminde). Ani bir varyans değişimi durumunda  $k - D_k$  grafiğinde varyansın değişimi yönünde bir sapma gerçekleşmesi olasıdır. Normal dağılıma sahip  $y_t$  için

$$IT = \max_k \sqrt{T/2} |D_k| \quad (2)$$

istatistiği asimptotik olarak Brown köprüsü olarak dağılır, bkz. Inclan ve Tiao (1994). Hipotez testleri için gereken kritik değerler simülasyonlar aracılığı ile hesaplanabilir.

$k^*$ ,  $\max_k |D_k|$  çözümünü sağlayan değer olsun. Eğer  $D_k$  ilgili kritik değeri aşıyorsa  $k^*$  konumunda varyans değişimi olduğu sonucuna varılır. Eğer tüm seride yalnızca bir adet yapısal varyans değişimi varsa sorun çözülmüştür. Fakat Inclan ve Tiao (1994), simülasyon çalışmalarında çoklu değişim

<sup>5</sup> Çalışma boyunca (koşullu olmayan) varyans değişimleri ifadesi ile kastedilen; süreçlerdeki koşullu olmayan (en. unconditional) varyans değişimleridir ve yapısal kırılmalar ile eşanlı olarak kullanılmıştır.

durumlarında tek bir varyans değişiminin diğer değişimleri maskeleyebileceğini göstermişlerdir (maskeleyme etkisi). Bunun önüne geçmek için yukarıdaki yaklaşımın tekrar tekrar uygulanmasına imkan veren Yinelenen Birikimli Karelerin Toplamı (Iterated Cumulative Sums of Squares – ICSS) algoritmasını geliştirmişlerdir. Böylece seride var olan birden fazla varyans değişiminin belirlenebilmesi mümkün olmuştur.

Bu yöntemin temel varsayımı,  $Y_t$  serisinin bağımsız ve özdeş normal dağılıma sahip olduğudur. Diğer özelliklerinin yanında finansal getiri serileri; genellikle normal dağılımdan uzak özelliklere (örneğin (i) pozitif basıklık fazlalığı –lepto-basık (leptokurtosis)– ve (ii) koşullu varyans –heteroscedasticity– gibi) sahiptir, bkz. Cont (2001).

Bu bilgiden yola çıkan Sanso vd (2004), simülasyon çalışmalarında IT yönteminin finansal getiri serilerinde serilerde gerçekte var olmayan değişim noktalarını varmış gibi belirlediğini göstermişlerdir.

Sanso vd (2004), bu iki temel sorunun çözümü için: öncelikle yalnızca pozitif fazla basıklık durumunu göz önüne alan Kappa 1 –  $\kappa_1$  testi ve ardından pozitif fazla basıklık ve koşullu (değişen) varyans durumlarını aynı anda çözmek için ise Kappa 2 –  $\kappa_2$  testi geliştirilmişlerdir. Bu testler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

### 3.2. Kappa 1 ( $\kappa_1$ ) Testi

Kappa 1 ( $\kappa_1$ ) testi ile Inclan-Tiao testinin temel varsayımlarından biri ( $Y_t$  serisi normal dağılıma sahiptir) esnetilmiştir. Fakat  $y_t \sim iid(0, \sigma^2)$  varsayımı hala geçerlidir. Bu durumda ( $\kappa_1$ ) istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\kappa_1 = \sup_k |T^{-\frac{1}{2}} B_k| \quad (3)$$

öyle ki:

$$B_k = \frac{C_k - \frac{k}{T} C_T}{\sqrt{\widehat{\eta}_4 - \widehat{\sigma}^4}} \quad (4)$$

$\widehat{\eta}_4 = T^{-1} \sum_{t=1}^T y_t^4$  ve  $\widehat{\sigma}^2 = T^{-1} C_T$ . Seride koşullu olmayan varyans değişimi olmadığına dair sıfır hipotezini test etmek için gereken kritik değerler Sanso vd. (2004) tarafından oluşturulan tepki yüzeylerinden hesaplanabilir.

### 3.3. Kappa 2 ( $\kappa_2$ ) Testi

Kappa 2 –  $\kappa_2$  testi, test edilen serinin normal dağılıma sahip olmadığı fakat koşullu varyansa sahip olduğu durumları göz önüne alır. Bu haliyle, IT ve Kappa 1  $\kappa_1$  testlerinden daha genel özelliklere sahiptir ve finansal getiri serilerini incelemek için daha uygundur. Bu durumda Kappa 2  $\kappa_2$  istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\kappa_2 = \sup_k |T^{-\frac{1}{2}} G_k| \quad (5)$$

öyle ki:

$$G_k = \widehat{\omega}_4^{-1/2} \left( C_k - \frac{k}{T} C_T \right) \quad (6)$$

$\widehat{\omega}_4$  ise aşağıdaki kadar tutarlı tahminicisidir:

$$\omega_4 = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left( T^{-1} \left( \sum_{t=1}^{\infty} (y_t^2 - \sigma^2) \right)^2 \right) \quad (7)$$

$\omega_4$ ,  $\mathcal{Y}_t$  değişkeninin uzun dönemli dördüncü momenti olarak da yorumlanabilir, bkz. Sanso vd. (2004).

Bu üç testin özellikleri göz önüne alındığında; IT testi varsayımlarının getiri serilerinin temel özellikleri ile uyumsuz olması, getiri serilerinin IT varsayımlarını daha sık ihlal etmesine ve IT testinin daha çok sayıda varyans değişimi noktası işaret etmesine yol açabilir. Getiri serilerinin özellikleri ile daha uyumlu varsayımlar altında geliştirilen  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testlerinin ise sırasıyla daha az sayıda koşullu olmayan varyans değişimi tespit etmesi beklenebilir. Bu bakış açısı altında bir sonraki bölümde bulgular tartışılmaktadır.

#### 4. Bulgular

USD/TRY, EUR/TRY ve TRY/JPY döviz çiftlerinin getirileri, yukarıda bahsedilen üç farklı koşullu olmayan varyans değişimi testi aracılığı ile 8 farklı toplulaştırma aralığında toplamda 72 (= 3 · 3 · 8) farklı durumda incelenmiştir. Tablo 3, her bir durum için özet sonuçları gösterir.

Beklentilerle uyumlu olarak her bir döviz çifti ve toplulaştırma aralığı için IT testinin bulunduğu koşullu olmayan varyans değişimi sayısı,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testinin bulunduğu koşullu olmayan varyans değişimi sayısından yüksektir, bkz. Tablo 3.  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testi sonuçlarında ise  $\kappa_1$  testinin bulunduğu varyans değişimi sayıları bir durum haricinde  $\kappa_2$  testi sonuçlarından fazladır (TRY/JPY çifti için 1 günlük toplulaştırma aralığında varyans değişimleri ikisinde de aynı sayıdadır). Tüm bu gözlemler ve yöntem bölümünün son paragrafında açıklanan sebepler ışığında; IT testinin,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testlerine kıyasla, getiri serileri için uygun olmadığı sonucuna varılabilir. IT testi, bu testin temel varsayımlarını sağlayan seriler için daha uygun olacaktır. Tespit edilen koşullu olmayan varyans değişimi sayılarının oranlarına bakıldığında ise IT testi, ( $\kappa_1$ ) testinin kabaca 10 katı kadar varyans değişimi bulmaktadır.  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testleri kıyaslandığında ise  $\kappa_1$  testi  $\kappa_2$  testinin yaklaşık 2-3 katı oranında varyans değişimi bulmaktadır. Ortalama günlük koşullu olmayan varyans değişimi sayıları ise aynı testler ve farklı döviz çiftleri için benzer sonuçlar gösterir.

Tablo 3'te verilerde dikkat çeken bir diğer husus; 5 dakikalık frekansta gözlemlenen kırılma oranlarının düşen frekansla birlikte genelde azalması ve 6 saatlik frekans itibarıyla tekrar yükselişe geçmesidir. 5 dakikalık frekanstaki görece yüksek kırılma oranları; piyasa mikro yapısı etkilerinin kısmen de

olsa etkin olması ile ilişkilendirilebilir. Bu noktada, kullanılan testlerin hangi frekanstaki veride daha başarılı olduğu yönünde bir yorum yapmak mevcut verilerle pek mümkün değildir. Bu tarz bir yorum yapabilmek için simülasyon çalışması yapmak gereklidir. Ancak bu, mevcut çalışmanın kapsamı dışındadır. Buna rağmen; 6 saatlik frekanstaki kırılma oranlarındaki artışı, küresel olarak 3 işlem seansına bölünmüş piyasalarda yaklaşık 8 saat süren işlem seansları arasındaki geçişler ile ilişkilendirmek mümkün olabilir.

Tespit edilen varyans değişimi tarihleri ise aşağıdaki şekillerde (Şekil 2 – Şekil 4) gösterilmiştir. Çalışmada sayfa sayısından tasarruf etmek için analizi yapılan toplam 8 toplulaştırma aralığından sadece üçünün sonuçları şekillerle raporlanmaktadır. Bu 3 şekil, kullanılan tüm döviz çiftlerini, tüm testleri ve bunun yanı sıra 1 günlük, 1 saatlik ve 5 dakikalık toplulaştırma aralığı sonuçlarını içermektedir (toplam  $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$  sonuç). Şekillerde mavi ile çizilen zaman serileri getirileri gösterirken düşey çizilmiş koyu renkli çizgiler ilgili testin belirlediği koşullu olmayan varyans değişimi zaman damgalarını gösterir. Verilen şekillerde test sonuçları yukarıdan aşağıya doğru IT,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  olarak sıralanmıştır. Diğer toplulaştırılma aralıklarıyla ilgili sonuçlar, yazardan talep edilmesi durumunda sağlanacaktır.

Her üç şekilde de varyans değişimlerinin yoğunlaştığı belli zaman dilimleri göze çarpar. Bunlara; (i) 2007-2009 küresel finans krizi (TRY/JPY hariç), (ii) 2013 Mayıs ayı ile 2014 yılının sonlarına kadarki döneme denk gelen ve ABD'de parasal sıkılaştırmanın başlayacağı ilk sinyalinin verildiği, uygulamasına başlandığı ve ardından ara verildiği dönem,<sup>6</sup> (iii) 2018 yılı Ağustos ayında Türk lirasına yapılan atak ile başlayan dönem ve (iv) 2021 Aralık ayındaki TRY kur oynaklığı artışı ve ardından gelen Rusya-Ukrayna savaşı dönemleri örnek verilebilir. Raporlanan her üç şekil de benzer örüntü sergilediğinden (TRY/JPY verisinin Mayıs 2010 itibarıyla başladığı not edilmelidir) her birinde gözlemlenen benzer dinamikleri tekrarlamak yerine en yüksek frekanslı toplulaştırma aralığını içeren Şekil 4'e yoğunlaşmayı tercih ettik.

Şekil 4, 5 dakikalık toplulaştırma aralığına denk gelen sonuçları içerir. Buna göre, her üç döviz çifti için de IT testi sonuçları (ilk sıradaki şekiller) diğerlerine kıyasla çok daha fazla sayıda koşullu olmayan varyans değişimine işaret etmektedir ve bunlar genellikle yukarıda (i) ve (ii) ile gösterilen 2007-2009 Küresel Finans Krizi ve 2013 Mayıs ayı ile başlayan ABD'nin parasal sıkılaştırma politikalarının başlangıcına ve bunları takip eden dönemlere denk gelir.  $\kappa_1$  testinin belirlediği değişim sayısının, IT testi sonuçlarına göre kayda değer ölçüde düşük olduğu gözlemlenebilmektedir, bkz. Şekil 4 orta sıradaki şekiller. Bu bulgu, Sanso vd. (2004) bulguları ile de örtüşmektedir.

$\kappa_2$  testi sonuçları,  $\kappa_1$  testi sonuçları ile genel olarak benzerdir, bkz. Şekil 4 orta ve en alt sıralarda yer alan şekiller. Fakat sonuçların hassasiyeti göz önüne alındığında  $\kappa_2$  testi sonuçları, IT ve  $\kappa_1$  testlerinin eksiklerini tamamlar, bkz. Sanso vd. (2004). Kısacası, yatırım veya risk yönetimi kararlarının alındığı

<sup>6</sup> Fed Başkanı Bernanke, 2013 Mayıs ayında Kongre'ye verdiği ifadede olumlu gelen ekonomik veriler ışığında yılın ilerleyen dönemlerinde aylık tahvil satın alım miktarının düşürülebileceğinin ilk sinyalini vererek ABD tahvil faizlerinde ani bir yükselişe ve küresel finans piyasalarında oynaklığa sebep olmuştur (Taper Tantrum olarak bilinen durum), bkz. Neely (2014).

hesaplamalar için, gerekiyorsa, serilerdeki rejim değişikliklerinin  $\kappa_2$  testi ile belirlenmesi teorik ve ampirik olarak daha doğru sonuçlar verecektir.

Toplam USD/TRY döviz çifti tik sayısı, EUR/TRY çiftine göre çoğunlukla daha düşük olsa da, bkz. Şekil 1, her üç testin de bulunduğu en yüksek koşullu olmayan varyans değişimi sayıları USD/TRY çiftindedir. Bu, USD'nin dünyada rezerv para olmasının yanında en çok işlem gören para birimi olmasından da kaynaklanıyor olabilir, bkz. BIS (2022).

Şekil 4'te koşullu olmayan varyans değişimlerinin yoğunlaştığı ilk dönem 2007-2009 küresel finans krizi dönemine denk gelmektedir (USD/TRY ve EUR/TRY). 2013 Taper Tantrum ve Ağustos 2018'de Türk lirasına karşı gerçekleştirilen kur atağının etkileri sonuçlarda açıkça gözlemlenebilmektedir. 2021 Aralık ani kur oynaklığı artışı etkilerini hafifletmek için döviz kuru stabilizasyon aracı olarak geliştirilen Kur Korumalı Mevduat<sup>7</sup> (KKM) ürününün sonuçları da bu şekillerde gözlemlenebilir. Bu ürünün duyurulmasını takiben USD/TRY döviz kurunda ve kurun oynaklığında ani ve hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu ani ve hızlı değişimler de koşullu olmayan varyans değişimlerine de sebep olmuştur. Keza Şubat 2022'de Rusya'nın Ukrayna'yı işgali ile başlayan süreç, her üç döviz çiftinde de koşullu olmayan varyans değişimlerinin bu dönemlerde yoğunlaşmasına yol açmıştır.

Sonuç olarak; mevcut çalışma, incelediği frekans (5 dakikadan 1 güne 8 farklı frekans) ve kur (USD/TRY, EUR/TRY, TRY/JPY) çeşitliliği ile literatürde daha önce incelenmeyen genişlikte bir spektrumda analiz yapmaktadır. Her ne kadar literatürdeki çalışmaların verileri mevcut çalışmanınkiler ile bire bir uyumlu olmasa da 1 günlük frekanstaki bulgular genellikle literatürdeki çalışmaların bulunduğu kırılma sayıları ile uyumludur, bkz. Gürsakal (2015), Özdemir v.d. (2018), Akardeniz ve Engin (2019), Büberkökü (2021).

**Tablo 3:** Koşullu Olmayan Varyans Değişimi Sayıları ve Oranları

	USD/TRY			EUR/TRY			TRY/JPY		
	IT	$\kappa_1$	$\kappa_2$	IT	$\kappa_1$	$\kappa_2$	IT	$\kappa_1$	$\kappa_2$
<b>5 dk</b> (gözlem - #)	1,133,380	1,133,380	1,133,380	1,149,935	1,149,935	1,149,935	973,906	973,906	973,906
değişim sayısı	22,084	913	245	13,897	1,149	198	13,126	624	168
değişim oranı (%)	1.95	0.08	0.02	1.21	0.10	0.02	1.35	0.06	0.02
ort. günlük değişim	4.37	0.18	0.05	2.77	0.23	0.04	3.21	0.15	0.04
<b>10 dk</b> (gözlem - #)	587,002	587,002	587,002	578,546	578,546	578,546	488,587	488,587	488,587
değişim sayısı	10,398	454	172	6,509	378	105	6,203	243	89
değişim oranı (%)	1.77	0.08	0.03	1.13	0.07	0.02	1.27	0.05	0.02
ort. günlük değişim	2.06	0.09	0.03	1.30	0.08	0.02	1.52	0.06	0.02
<b>15 dk</b> (gözlem - #)	393,212	393,212	393,212	387,479	387,479	387,479	326,083	326,083	326,083
değişim sayısı	6,312	238	125	3,598	290	67	3,936	149	69
değişim oranı (%)	1.61	0.06	0.03	0.93	0.07	0.02	1.21	0.05	0.02
ort. günlük değişim	1.25	0.05	0.02	0.72	0.06	0.01	0.96	0.04	0.02

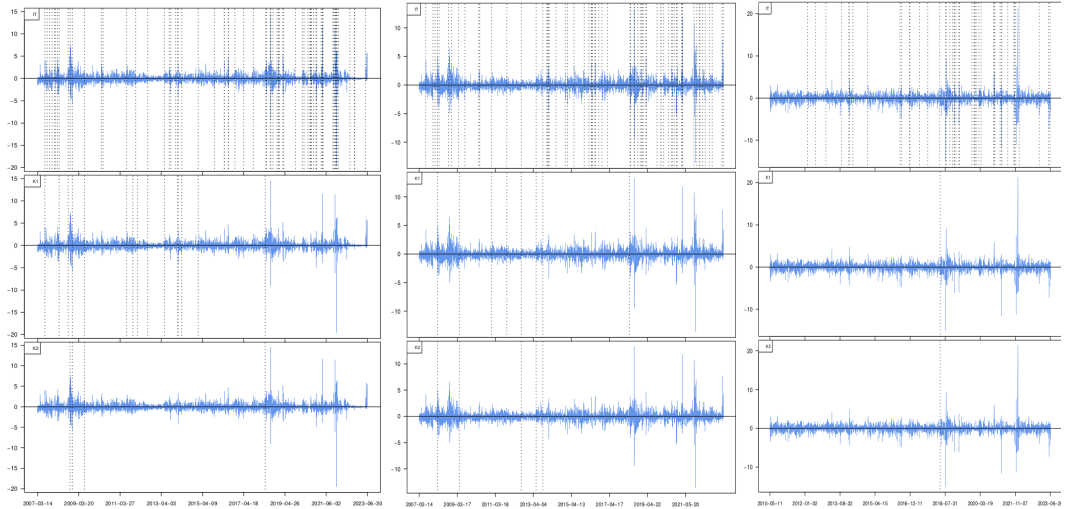
7 Hazine ve Maliye Bakanlığı, "Kur Korumalı TL Vadeli Mevduatlara ve Katılma Hesaplarına İlişkin Uygulama Esasları Hakkında Basın Açıklaması": <https://www.hmb.gov.tr/haberler/kur-korumali-tl-vadeli-mevduatlara-ve-katilma-hesaplarina-iliskin-uygulama-esaslari-hakkinda-basin-aciklamasi-i-24-12-2021>, erişim tarihi: 2024-04-21.

<b>30 dk</b> (gözlem - #)	198,067	198,067	198,067	195,077	195,077	195,077	163,235	163,235	163,235
değişim sayısı	2,364	114	64	1,577	129	51	1,531	108	32
değişim oranı (%)	1.19	0.06	0.03	0.81	0.07	0.03	0.94	0.07	0.02
ort. günlük değişim	0.47	0.02	0.01	0.31	0.03	0.01	0.37	0.03	0.01
<b>1 sa</b> (gözlem - #)	99,750	99,750	99,750	98,312	98,312	98,312	81,705	81,705	81,705
değişim sayısı	1,014	49	32	715	73	31	750	63	29
değişim oranı (%)	1.02	0.05	0.03	0.73	0.07	0.03	0.92	0.08	0.04
ort. günlük değişim	0.20	0.01	0.01	0.14	0.01	0.01	0.18	0.02	0.01
<b>6 sa</b> (gözlem - #)	17,745	17,745	17,745	17,619	17,619	17,619	14,328	14,328	14,328
değişim sayısı	180	18	10	167	27	14	142	1	1
değişim oranı (%)	1.01	0.10	0.06	0.95	0.15	0.08	0.99	0.01	0.01
ort. günlük değişim	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
<b>12 sa</b> (gözlem - #)	9,292	9,292	9,292	9,256	9,256	9,256	7,507	7,507	7,507
değişim sayısı	119	14	0	100	19	8	87	1	0
değişim oranı (%)	1.28	0.15	0.00	1.08	0.21	0.09	1.16	0.01	0.00
ort. günlük değişim	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
<b>1 gün</b> (gözlem - #)	5,049	5,049	5,049	5,016	5,016	5,016	4,093	4,093	4,093
değişim sayısı	71	15	4	69	8	5	45	1	1
değişim oranı (%)	1.41	0.30	0.08	1.38	0.16	0.10	1.10	0.02	0.02
ort. günlük değişim	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

USD/TRY

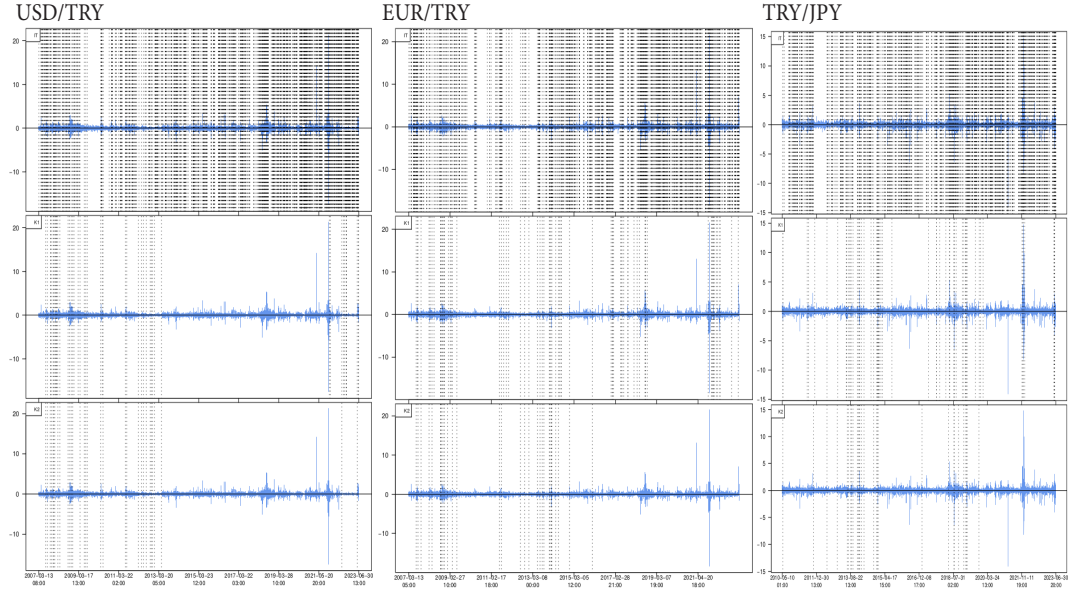
EUR/TRY

TRY/JPY



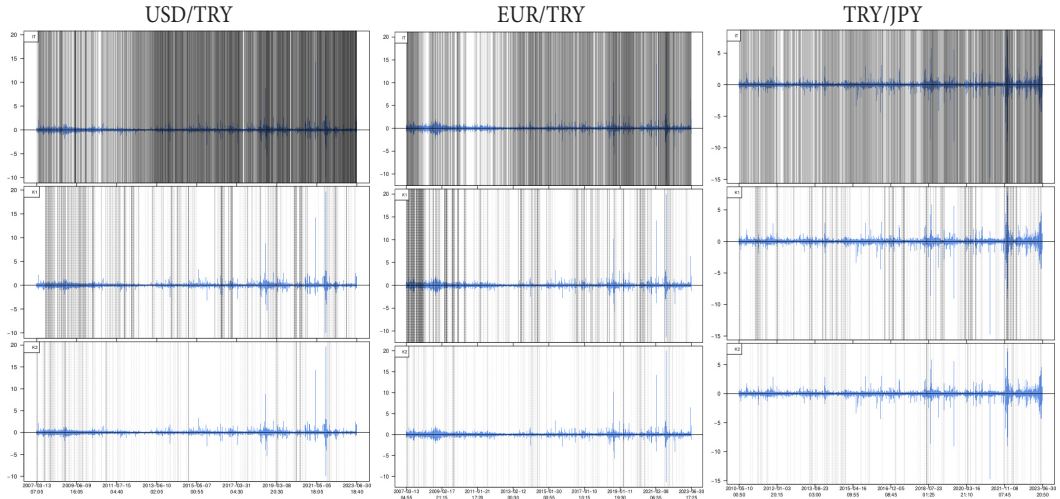
**Şekil 2:** Toplulaştırılmış Sonuçlar – Getiriler ve Koşullu Olmayan Varyans Değişimleri (1 günlük)

*Not: 1 günlük frekandaki veriler, genelde benzer bir örüntü izler. TRY/JPY çifti verilerine Mayıs 2010 itibarıyla sahip olduğu düşünülünce Mayıs 2010 sonrası için her üç döviz çiftinin de maruz kaldığı şoklar, benzer kırılmalara yol açmıştır. Bu da altta yatan şokların TRY ya da uluslararası piyasalar kaynaklı olmasında bağımsız olarak her üç döviz çiftinin de benzer şekilde etkilendiği şeklinde yorumlanabilir.*



**Şekil 3:** Toplulaştırılmış Sonuçlar – Getiriler ve Koşullu Olmayan Varyans Değişimleri (1 saatlik)

*Not:  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testleri, 1 saatlik frekanstaki USD/TRY çifti verilerinde 2014 başı ve 2021 sonu arasında uzunca bir dönem yapısal kırılma tespit edememiştir. Benzer bir sakin dönem 2015 sonrası ve 2018 yaz dönemi hariç EUR/TRY ve TRY/JPY çiftleri için de gözlemlenir. 2018 yazında TRY'ye karşı yapılan kur atağı TRY/JPY çiftinde her üç testte de göze görünür olmuştur.*



**Şekil 4:** Toplulaştırılmış Sonuçlar – Getiriler ve Koşullu Olmayan Varyans Değişimleri (5 dakikalık)

*Not: 5 dakikalık frekanstaki verilerde her üç döviz çifti ve test için de zamana yayılmış çok sayıda kırılma gözlemlenir. Bunun, piyasa mikro yapısal etkilerin hala etkin olmasından kaynaklanabileceği düşünülebilir. Eğer yüksek frekanstaki verilerle (örneğin 5 dakikalık) bir model incelenecekse rejim değişikliklerinin etkilerine özellikle dikkat etmek yerinde olacaktır. Aksi durum yanlış yargılara varılmasına yol açabilir.*



## 5. Özet ve Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı, Türk lirası getirilerinin yaklaşık 16 yıl boyunca maruz kaldığı şoklardan nasıl etkilendiğinin bulunmasının yanı sıra koşullu olmayan varyans değişiklikleri belirleme yöntemi olan üç testin (Inclan-Tiao,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$ ) yüksek frekanslı veri ortamında nasıl performans gösterdiğini incelemektir. Çalışmada, Türk lirasının küresel olarak en yüksek işlem hacmine sahip üç para birimi ile oluşturduğu döviz çiftlerinin (USD/TRY, EUR/TRY ve TRY/JPY) milisaniye çözünürlükteki 1. düzey emir defteri verileri kullanılmıştır. Mart 2007'den Haziran 2023'e kadar üç döviz çifti için (TRY/JPY için Mayıs 2010'dan itibaren) toplamda yaklaşık 584 milyon adet tik veri 5 dakikadan 1 güne kadar çeşitli zaman aralıklarında toplulaştırılarak her bir döviz çifti için 8 farklı getiri serisi hesaplanmıştır. Ardından, bu serilerdeki koşullu olmayan varyans değişimlerinin gerçekleşme zamanları, Inclan-Tiao,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  testleri aracılığı ile belirlenmiştir.

Koşullu olmayan varyans değişimleri finansal ekonometrik modellemede göz önüne alınması gereken önemli bir girdidir. Aksi takdirde kullanılan modeller rejim değişimlerini tespit edemeyebileceğinden örneğin yanlış belirlenmiş portföy bileşen ağırlıklarının hesaplanmasına veya yönetilen portföyler ile hedeflenenenden daha fazla risk alınmasına yol açabilir.

Sonuçların teorik bilgiler ve geçmiş ampirik gözlemlerle uyumlu olduğu bulunmuştur. Buna göre; finansal getiri serilerinin pozitif fazla basıklık ve koşullu varyans değişimi davranışlarını ihmal eden Inclan-Tiao testi, sadece pozitif fazla basıklık durumunu kontrol eden  $\kappa_1$  testine göre çok daha fazla sayıda koşullu olmayan varyans değişimi tespit eder. Getiri serilerinin her iki özelliğini (pozitif fazla basıklık ve koşullu varyans değişimi) de göz önüne alan  $\kappa_2$  testi ise; bu iki teste kıyasla çok daha az sayıda fakat önemli şok dönemlerinde yoğunlaşmış sonuçlar tespit etmiştir. Şu dönemlerdeki şoklar özellikle göze çarpar: (i) 2007-2009 Küresel Finans Krizi, (ii) 2013-2014 yıllarındaki Taper Tantrum olarak da bilinen parasal sıkılaştırma dönemi, (iii) 2018 yılının Ağustos ayındaki Türk Lirasına karşı kur atağı dönemi ve (iv) 2021 sonu TRY kur oynaklığı artışı ve 2022 yılının başlamasıyla Rusya-Ukrayna arasında yükselen gerginlikler ve ardından başlayan savaş dönemleri. Bu dönemlerdeki şokların Türk lirası getirileri üzerine etkileri sonuçlarda açıkça görülebilmektedir.

Tüm bu analizler sonucunda; finansal getiri serilerindeki koşullu olmayan varyans değişimlerini yüksek frekanslı (5 dakikalık) verilerde görece hassas olarak belirleyebilmek için  $\kappa_2$  testinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilinebildiği kadarıyla; Türk lirasını merkezine alan ve yüksek frekanslı veri ile benzer bir analiz yapan bir çalışma daha önce yapılmamıştır.

Çalışma ile ilgili not edilmesi gereken önemli bir nokta da şudur: kullanılan 1. düzey emir defteri verileri gerçekleşen işlem fiyatlarını bire bir yansıtmamaktadır. Ancak gerçekleşen işlemlerin büyük ölçüde 1. düzey emir defteri verisi kaynaklı olması sebebiyle fiyat dinamiklerini doğru yansıttığını varsaymak yanlış olmayacaktır. Zira, 1. düzey emir defteri verilerinin uluslararası piyasa verilerinden uzaklaşmış olması arbitraj fırsatı oluşturacaktır. Bu fırsatın piyasa katılımcıları tarafından farkedilip fiyatların birbirlerine tekrar yakınsamasına yol açacak yönde işlem yapmaları beklenebilir.

Çalışmanın gerçekleşen işlem verileri ile tekrarlanması, emir defteri verileri ile gerçekleşen işlem fiyatları arasındaki dinamikler hakkında bilgi sağlarken mevcut çalışmanın sonuçlarını doğrulama imkanı da sunacaktır.

### Finansal Destek

Bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

### Kaynakça

- Ait-Sahalia, Y., & Jacod, J. (2014). High-frequency financial econometrics. Princeton University Press.
- Akardeniz, E. & Engin, C. (2019). TCMB faiz kararlarının döviz kuru volatilitesine etkisi. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11(20), 1-27.
- Andreou, E., & Ghysels, E. (2009). Structural Breaks in Financial Time Series. In Mikosch, T., Kreiß, J. P., Davis, R., Andersen, T. (eds), Handbook of Financial Time Series. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Aue, A., Hormann, S., Horvath, L., & Reimherr, M. (2009). Break detection in the covariance structure of multivariate time series models. *Annals of Statistics*, 37 (6B), 4046–4087.
- Aue, A., & Horvath, L. (2013). Structural breaks in time series. *Journal of Time Series Analysis*, 34(1), 1–16.
- Bank for International Settlements (2022). Triennial Central Bank Survey of Foreign Exchange and Over-the-counter (OTC) Derivatives Markets in 2022, October.
- Büberkökü, Ö. (2021). Stokastik faiz oranı modelleri (CIR / Vasicek) ile faiz oranlarının modellenmesi ve getiri eğrisi tahmini. *İzmir İktisat Dergisi*. 36(4). 893-911.
- Büberkökü, Ö. (2021). Volatilitedeki çoklu yapısal kırılmaların finansal risk yönetimi açısından öneminin incelenmesi. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 13(24), 86-110.
- Chen, J., & Gupta, A. K., (1997). Testing and locating variance change points with application to stock prices. *Journal of American Statistical Association*, 92(438), 739–747.
- Çınar, M., & Hepkorucu, A. (2018). Düşük frekansta incelenen finansal varlıkların oynaklık kırılmalarının değerlendirilmesi: Bist-100 endeksi üzerine bir uygulama. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 10(18), 1-11.
- Demireli, E. (2010). Finansal kırılmalıklar Türk bankacılık sektörü üzerine bir uygulama. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(33), 122-140.
- Granger, C. W. J. (2001). Estimating the Probability of Flooding on a Tidal River. In: Ghysels E, Swanson NR, Watson MW, eds. Essays in Econometrics: Collected Papers of Clive W. J. Granger. Econometric Society Monographs. Cambridge University Press; 2001: 355-365.
- Güloğlu, B., Kaya, P. & Aydemir, R. (2016). Volatility transmission among latin american stock markets under structural breaks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 462, 330–340.
- Gürsakal, D. S. (2011). GARCH modelleri ve varyans kırılması: İMKB örneği. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 161-178.
- Gürsakal, S. (2015). Varyans kırılması gözlemlenen serilerde GARCH modelleri: Döviz kuru oynaklığı örneği. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32, 319-337.
- Hansen, P. R., & Lunde, A. (2006). Realized variance and market microstructure noise. *Journal of Business and Economic Statistics*, 24(2), 127–161.
- Hong, Y., Linton, O., McCabe, B., Sun, J., & Wang, S. (2024). Kolmogorov–Smirnov type testing for structural breaks: A new adjusted-range based self-normalization approach, *Journal of Econometrics*, 238(2).

- Neely, C. J. (2014). Lessons from the Taper Tantrum. *Federal Reserve Bank of St Louis Economic Synopses*. No. 2, 2014. URL <https://doi.org/10.20955/es.2014.2>. Erişim tarihi: 2024-03-14.
- Inclan, C., & Tiao, G. C. (1994). Use of cumulative sums of squares for retrospective detection of changes of variance. *Journal of the American Statistical Association*, 89(427), 913–923.
- Jin, H., Zhang, S., Zhang, J., & Hao, H., (2018). Modified tests for change points in variance in the possible presence of mean breaks. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 88(14), 2651–2667.
- Kartal, G. (2022). Koronavirüs (Sars-Cov-2) Salgınının borsa istanbul endeksleri üzerindeki etkisi: çoklu yapısal kırılmalı ampirik analizlerden kanıtlar. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40(1), 87-120.
- Lamoureux, C. G., & Lastrapes, W. D., (1990). Persistence in variance, structural change, and the GARCH model. *Journal of Business & Economic Statistics*, 8(2), 225-234.
- Li, Y.-N., Li, D., & Fryzlewicz, P., (2023). Detection of multiple structural breaks in large covariance matrices. *Journal of Business and Economic Statistics*, 41, 846–861.
- Özdemir, A., Vergili, G., & Çelik, İ. (2018). Döviz piyasalarının etkinliği üzerinde uzun hafızanın rolü: Türk döviz piyasasında ampirik bir araştırma. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, 12(1), 87-107.
- Page, E. S. (1954). Continuous inspection schemes. *Biometrika*, 41, 100–5.
- Page, E. S. (1955). A test for a change in a parameter occurring at an unknown point. *Biometrika*, 42, 523–27.
- Perron, P. (2006). Dealing with structural breaks. In *Palgrave Handbook of Econometrics*, Vol. 1, (eds Patterson, K., & Mills, T. C.), Palgrave Macmillan, pp. 278–352.
- Pitarakis, J.-Y. (2004). Least squares estimation and tests of breaks in mean and variance under misspecification, *The Econometrics Journal*, 7(1), 32–54.
- Reeves, J., Chen, J., Wang, X. L., Lund, R. B., & Lu, Q. (2007). A review and comparison of changepoint detection techniques for climate data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 900–15.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ryan, J. A., & Ulrich, J. M. (2023). Xts: Extensible Time Series, R package version 0.13.1. URL <https://CRAN.R-project.org/package=xts>.
- Sanso, A., Arago, V., & Carron-i-Silvestre, J. L. (2004). Testing for changes in the unconditional variance of financial time series. *Revista de Economia Financiera*. 4, 32–53.
- Smith, D.R., (2008). Testing for structural breaks in GARCH models. *Applied Financial Economics*, 18 (10), 845–862.
- Stoumbos, Z. G., Reynolds Jr. M. R., Ryan, T. T. P., & Woodall, W. H. (2000). The state of statistical process control as we proceed into the 21st century. *Journal of the American Statistical Association* 95, 992–8.
- Trapletti, A., & Hornik, K. (2023). Tseries: Time Series Analysis and Computational Finance, R package version 0.10-54. URL <https://CRAN.R-project.org/package=tseries>.
- Uluceviz, E. (2015). Identification through heteroscedasticity within the network connectedness framework: the 'systemic five' stock markets. Istanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yayınlanmamış doktora tezi.

## Özgeçmiş

**Erhan ULUCEVİZ (Dr. Öğr. Üyesi)**, Gebze Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi İktisat Bölümü öğretim üyesidir. Mevcut ilgi alanları uygulamalı zaman serisi ekonometrisi, finansal ekonometri, yüksek frekanslı veri ekonometrisi, dalgacık dönüşümleri, döviz piyasaları, elektrik piyasaları, kripto varlıklar gibi konuları içerir. Reel ve finans sektörlerinin ağ bağlanmışlığı, Türkiye elektrik piyasası döngüsellığı konularındaki çalışmalarından bazıları *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *Swiss Journal of Economics and Statistics*, *Boğaziçi Journal* gibi dergilerde yayımlanmıştır.