



BULLETIN OF ECONOMIC THEORY AND ANALYSIS

Journal homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/beta>

Türkiye ve Avrupa Hisse Senedi Piyasaları Arasında Dinamik Bağımlılık: Dalgacık Uyum Analizi

Hasan TÜRE  <https://orcid.org/0000-0002-1975-9063>

To cite this article: Türe, H. (2026). Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasında dinamik bağımlılık: dalgacık uyum analizi. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 11(3), 1467-1493.

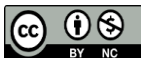
Received: 23 Mar 2026

Accepted: 02 Jul 2026

Published online: 16 Jul 2026



©All right reserved



This manuscript is licensed under Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).



Bulletin of Economic Theory and Analysis

Volume 11, Issue 3, pp. 1467-1493, 2026

<https://dergipark.org.tr/pub/beta>

Original Article / Araştırma Makalesi

Received / Alınma: 23.03.2026 Accepted / Kabul: 02.07.2026

Doi: <https://doi.org/10.25229/beta.1914227>

Türkiye ve Avrupa Hisse Senedi Piyasaları Arasında Dinamik Bağımlılık: Dalgacık Uyum Analizi

Hasan TÜRE^a

^a Doç. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

<https://orcid.org/0000-0002-1975-9063>

Öz

Finansal entegrasyon ve artan küresel sermaye hareketliliği, ulusal hisse senedi piyasaları arasındaki karşılıklı bağımlılığı giderek artırmaktadır. Bu bağlamda çalışmada Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik etkileşim dalgacık uyum analizi çerçevesinde incelenmiştir. Analizde, 2011–2025 dönemine ilişkin günlük BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50 endekslerinin kapanış fiyatlarından hesaplanan logaritmik getiri serileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dalgacık uyum analizi ile piyasalar arasındaki etkileşim zaman ve frekans boyutlarında eş zamanlı olarak değerlendirilmiş ve geleneksel zaman serisi analizlerinin ölçek duyarlılığına ilişkin sahip olduğu sınırlılıklar aşılmıştır. Bu kapsamda, piyasalar arasındaki kısa, orta ve uzun vadeli birlikte hareketler dalgacık güç spektrumu ve dalgacık uyum ölçütleri aracılığıyla belirlenmiştir. Bulgular, özellikle küresel finansal belirsizliklerin arttığı dönemlerde piyasalar arasındaki entegrasyonun belirgin biçimde güçlendiğini, normal dönemlerde ise ilişkinin zaman ve frekans ölçeklerine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Sonuçlar, BİST 100 ile Avrupa hisse senedi piyasaları arasında özellikle orta vadeli frekans bantlarında güçlü eş hareketlerin ortaya çıktığına işaret etmektedir. Ayrıca Türkiye hisse senedi piyasasının Avrupa piyasalarıyla olan ilişkisinin zamana ve frekansa duyarlı bir yapı sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların portföy çeşitlendirme stratejileri ve finansal istikrar politikaları açısından önemli çıkarımlar sağladığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler
Hisse Senedi Piyasaları
Arası Bağımlılık,
Dalgacık Uyum,
Sürekli Dalgacık
Dönüşümü

JEL Kodu
G15, C58, C32

İletişim Hasan TÜRE ✉ hasan.ture@hbv.edu.tr ✉ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü, Ankara, Türkiye.

Atıf Türe, H. (2026). Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasında dinamik bağımlılık: dalgacık uyum analizi. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 11(3), 1467-1493.



This manuscript is licensed under Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Dynamic Dependence Between Turkish and European Stock Markets: A Wavelet Coherence Analysis

Abstract

Financial integration and increasing global capital mobility have progressively intensified the interdependence among national stock markets. In this context, this study examines the dynamic interactions between Turkish and European stock markets within the framework of wavelet coherence analysis. The analysis employs daily logarithmic return series calculated from the closing prices of the BIST 100, DAX, and Euro Stoxx 50 indices for the period 2011–2025. By applying wavelet coherence analysis, the interactions among the markets are simultaneously evaluated in both time and frequency domains, thereby overcoming the scale-related limitations inherent in traditional time series approaches. Within this framework, short, medium, and long-term co-movements among the markets are identified using the wavelet power spectrum and wavelet coherence measures. The findings indicate that market integration strengthens significantly during periods of heightened global financial uncertainty, while the nature of the relationship varies across different time and frequency scales during relatively stable periods. The results further reveal strong co-movements between BIST 100 and European stock markets, particularly within medium-term frequency bands. In addition, the relationship between the Turkish stock market and European markets exhibits a structure that is sensitive to both time and frequency. These findings provide important implications for portfolio diversification strategies and financial stability policies.

Keywords

Stock Market
Interdependence,
Wavelet Coherence,
Continuous Wavelet
Transform

JEL Classification

G15, C58, C32

1. Giriş

Küreselleşme ve sermaye hareketlerindeki artışlar hisse senedi piyasalarındaki dinamik karşılıklı bağımlılığı giderek daha da güçlendirmektedir. Bununla birlikte teknolojik gelişmeler ve finansal serbestleşme ulusal piyasaların uluslararası piyasalara olan duyarlılığını artırmaktadır. Bu durum, yüksek derecede etkileşim içerisinde olan piyasalarda yatırım stratejilerinin belirlenmesini ve varlık tahsis kararlarının alınmasını oldukça güçleştirmektedir. Markowitz (1952)'nin önerdiği portföy çeşitlendirme stratejisi bu riskleri azaltmaya yönelik temel bir araç olarak uzun yıllardır yatırımcılar tarafından kullanılmaktadır. Ancak çeşitlendirmeden elde edilecek fayda piyasalar arasındaki birlikte hareketin derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle bu ilişkinin derecesinin belirlenmesi yatırımcılar açısından kritik bir öneme sahiptir.

Hisse senedi piyasalarının yüksek düzeyde birlikte hareket etmesi çeşitlendirmeden elde edilecek faydanın düşük olmasına neden olurken birbirinden bağımsız hareket eden piyasaların belirlenmesi portföy çeşitlendirmesine pozitif anlamda katkı sağlamaktadır (Tiwari vd., 2013). Farklı hisse senedi piyasaları arasındaki birlikte hareket, Pretorius (2002)'de ifade edildiği gibi genel olarak üç farklı yaklaşımla açıklanmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki bulaşma etkisi iken ikinci

yaklaşım ise ekonomik entegrasyondur. Üçüncü yaklaşım ise sektör yapısındaki benzerlik, oynaklık ve piyasa büyüklüğü şeklinde sıralanan piyasa özelliklerine dayanmaktadır.

Türkiye hisse senedi piyasasının, coğrafi konumu ve yoğun ekonomik ilişkileri nedeniyle Avrupa finansal piyasalarıyla süregelen güçlü ilişkileri bulunmaktadır. Bu ilişkinin özellikle de Avrupa piyasasının en büyük ekonomilerinden olan Almanya ile daha yoğun bir şekilde sürdürüldüğü bilinmektedir. Bu bağlamda Almanya hisse senedi piyasasını temsil eden DAX endeksi ile Avrupa ekonomisinin genelini yansıtan Euro Stoxx 50 endeksi, Türkiye piyasasının dışsal şoklara verdiği tepkilerin analizinde kullanılan önemli referans noktalarının başında gelmektedir. Literatürde uzun yıllardır geleneksel zaman serisi yöntemleriyle piyasalar arasındaki bu ilişkiler araştırılmıştır. Ancak piyasalar arasındaki bu ilişkinin yalnızca tek bir zaman diliminde veya tek bir frekans düzeyine indirgenmesi, etkileşimin karmaşık, dinamik ve çok boyutlu yapısının yansıtılmasını engellemektedir.

Dalgacık analizi araçları sözü edilen dinamik ve çok boyutlu yapının ele alınmasına ve piyasalar arasındaki etkileşimin zaman-frekans boyutlarında eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bilindiği gibi geleneksel zaman serisi analizleri bazı sınırlılıklara sahiptir. Bu sınırlılıkların başında zaman serilerinin durağanlık varsayımı gelmekte ve kurulan modellerdeki ilişkiler sabit parametreler üzerinden değerlendirmektedir. Ancak finansal zaman serileri çoğu zaman durağan olmayan ve çok ölçekli bir yapı sergilemektedir. Ayrıca ekonomik ve finansal olgular farklı zaman ölçeklerinde farklı özellikler sergilemekte ve kapsamlı bir analiz için bu özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, piyasalar arasındaki kısa, orta ve uzun vadeli birlikte hareketler zaman ve frekans boyutlarında eş zamanlı olarak değerlendirilmesinde dalgacık analiz araçları kullanılmaktadır.

Literatür incelendiğinde hisse senedi piyasaları arasındaki ilişkilerin birçok çalışmada (Lin vd., 1994, Brooks & Del Negro, 2004, Yang vd., 2006) incelendiği ve çoğunlukla geleneksel zaman serisi yöntemlerinin (Liu vd., 1998; Tsouma, 2007; Belke & Beckmann, 2015; Dajčman & Festić, 2015) tercih edildiği görülmektedir. Bunula birlikte literatürde, zaman ve frekans boyutunu birlikte ele alan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Ayrıca Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasalarının birlikte hareketinin incelendiği çalışmalar da oldukça sınırlı olup bu çalışmalardan Boztosun & Çelik (2011)'de bu ilişki eşbütünleşme analizi ile araştırılmıştır.

Bu çalışma, söz konusu ilişkiyi dalgacık analizi yardımıyla ele alarak literatürdeki bu metodolojik boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve mevcut çalışmalardan iki temel yönüyle ayrılmaktadır. Bu bağlamda çalışmada ilk olarak, Türkiye hisse senedi piyasası ile Avrupa'nın önde gelen piyasaları arasındaki etkileşim geleneksel zaman serisi yöntemlerinin ötesine geçilerek çok ölçekli olarak incelenmektedir. İkinci olarak çalışmada, 2011–2025 dönemine ilişkin günlük BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50 endekslerinin kapanış fiyatlarından hesaplanan logaritmik getiri serilerinin kullanılması küresel finansal kriz sonrası süreç, Avrupa borç krizi, COVID-19 pandemisi ve jeopolitik riskler gibi önemli şokları kapsayan geniş bir zaman aralığında dinamik etkileşimin incelenmesine olanak sağlanmıştır. Bu kapsamda, piyasalar arasındaki kısa, orta ve uzun vadeli birlikte hareketler dalgacık güç spektrumu ve dalgacık uyum ölçütleri aracılığıyla belirlenmiştir. Türkiye hisse senedi piyasası ile Avrupa'nın önde gelen piyasaları arasındaki karşılıklı bağımlılığın, farklı zaman ölçeklerinde nasıl bir dinamik yapı sergilediği araştırılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konuya ilişkin literatür ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Üçüncü bölümde sürekli dalgacık dönüşümü, dalgacık güç spektrumu, dalgacık uyumu ve faz farkı kavramları teorik çerçevede sunulmuştur. Dördüncü bölümde veri seti tanıtılarak ampirik bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve politika önerileri sunulmuştur.

2. Literatür

Uluslararası finansal entegrasyonun artması, sermaye hareketlerinin serbestleşmesi ve teknolojik gelişmeler hisse senedi piyasaları arasındaki karşılıklı bağımlılık ve birlikte hareket mekanizmalarını güçlendirmiştir. Bu doğrultuda literatürde olası bu karşılıklı ilişkilerin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmaların önemli bir kısmında geleneksel zaman serisi yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak eşbütünleşme ve hata düzeltme modellerine dayanan yaklaşımların genellikle iki zaman dilimi veya frekansla çalışacak şekilde tasarlanmaları portföy modellerinin heterojen bir yapıda ve farklı frekanslara sahip olmaları açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır (Tiwari vd., 2013). Geleneksel zaman serisi yöntemlerinin kullanıldığı uluslararası çalışmalardan bazıları; Vektör Otoregresyon (VAR) modeli (Liu vd., 1998; Neaime, 2006; Yüzbaşıoğlu, 2025), Johansen eşbütünleşme yöntemi (Boztosun & Çelik, 2011; Çelik vd., 2013), Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) (Yüzbaşıoğlu, 2025), Eşbütünleşik Vektör Otoregresyon (CVAR) modeli (Belke

& Beckmann, 2015), Granger nedensellik (Smith vd.,1993) ve Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH) modeli (Theodossiou vd., 1997; Isakov & Pérignon, 1999; Tsouma, 2007; Daiçman & Festić, 2015) şeklinde sıralanmaktadır. Genel olarak bu çalışmalarda, hisse senedi piyasaları arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkilerin ortaya konması amaçlamıştır.

Smith vd. (1993)'de ABD, Birleşik Krallık, Batı Almanya ve Japonya borsaları arasındaki ilişki hareketli Granger (1969) nedensellik testi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada kriz döneminde nedensel ilişkinin varlığı reddedilememiştir. Bu doğrultuda krizin piyasalar arasındaki ilişkileri değiştirdiği sonucuna varılmıştır. Liu vd. (1998)'de ise, Tayland, Tayvan, Japonya, Singapur, Hong Kong gibi Asya hisse senedi piyasaları ile ABD hisse senedi piyasaları arasındaki karşılıklı bağımlılık günlük getiriler üzerinden VAR analizi kullanarak incelenmiştir. Çalışmanın örnekleme iki ayrı alt döneme ayrılarak dönemler arası farklılıklar gözlenmiş ve 1987 krizi sonrası piyasalar arası karşılıklı bağımlılığın arttığı bulgusu elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca Asya-Pasifik bölgesel piyasaları içindeki bağımlılık yapısının güçlendiğine dair bulgular sunulmuş ve ABD hisse senedi piyasasının, Pasifik piyasaları üzerinde etkili ve yönlendirici olduğu ileri sürülmüştür.

Uluslararası literatürün yanı sıra, Türkiye'de de hisse senedi piyasaları arasındaki etkileşimi inceleyen birçok ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Yüzbaşıoğlu (2025)'de 2003-2023 dönemi için Türkiye, Rusya, Çin ve Hindistan'ın hisse senedi endeksleri arasındaki ilişkiler VAR modeli ve Johansen eşbütünleşme analizi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın bulguları dört ülkenin hisse senedi piyasaları arasında kısa vadeli anlamlı bir ilişki bulunmadığını ancak uzun dönemde birbirlerini etkilediğine işaret etmektedir.

Polat & Kılıç (2022)'de, 2004-2009 dönemine ilişkin BRICS ve MIST ülkelerine ait borsalar arasındaki getiri ve oynaklık etkileşimi çok değişkenli EGARCH ve VAR-EGARCH modelleri ile araştırılmıştır. Bulgular BRICS ve MIST ülkelerinin borsaları arasında getiri ve oynaklık etkileşimi olduğuna işaret etmektedir. Çelik vd. (2013)'de, 2010-2012 dönemine ilişkin İMKB 30 endeksi ile İspanya (IBEX35), Portekiz (PSI20) ve İtalya (FTSE MIB) arasındaki kısa ve uzun dönemli dinamik ilişkiler incelenmiştir. Johansen-Juselius eşbütünleşme analizi sonucunda uzun dönemde ilgili piyasalar arasında bir ilişki bulunamamış olup yapılan Granger nedensellik testi ve iki değişkenli VAR modeli sonuçlarına göre kısa dönemde İMKB 30'dan IBEX35 ve PSI20'ye doğru bir nedenselliğin varlığı ortaya konulmuştur. İmre (2021)'de 2015-2021 dönemine ilişkin Türkiye Borsası ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin borsaları

arasındaki oynaklık yayılımı Dinamik Koşullu Korelasyon GARCH (DCC-GARCH) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada BİST 100 ile IDX ve MOEX volatiliteleri arasında karşılıklı etkileşimi bulunamazken NSE30, CAC40, DAX arasında tek yönlü volatilitite etkileşimi bulunmuştur. BİST 100 ile DJIA ve NIFTY50 borsaları arasında ise çift yönlü volatilitite etkileşimi bulunmuştur.

Ayan & Değirmenci (2021)'de ABD (NYSE, DJ ve S&P500), Avusturya, Almanya, Belçika, Fransa, Euronext100, Avustralya, Brezilya, Rusya, Arjantin, Hindistan, Endonezya, Türkiye, Bulgaristan, Hollanda, Belçika, Birleşik Krallık (FTSE100 ve FTSE250), Kanada, Japonya ve Finlandiya hisse senedi piyasaları aralarındaki ilişkiler sosyal ağ analizi ile incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, incelenen hisse senedi piyasalarının çoğunun aynı yönde hareket ettiğine işaret etmiştir. Ayan & Değirmenci (2021), bu durumun portföy oluşturma seçeneklerini sınırlandırdığına dikkat çekilmektedir.

Dalgacık analizi, piyasalar arasındaki ilişkilerin zaman ve frekans boyutunu eş zamanlı incelenmesine imkân tanınması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Dalgacık temelli yöntemlerin geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha ayrıntılı sonuçlar sunması son yıllarda bu yönetime olan ilgiyi artırmıştır. Türkiye literatüründe hisse senedi piyasaları arasındaki etkileşim farklı yöntemlerle incelenmiş olmakla birlikte, bu yöntemlerin zaman ve frekans boyutunu eş zamanlı ele alma konusundaki sınırlılıkları, piyasalar arası ilişkilerin çok ölçekli yapısını ortaya koymada yetersiz kalmıştır. Literatür incelendiğinde zaman ve frekans boyutunda dinamik yapısını ele alan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmekle birlikte son yıllarda dalgacık temelli yaklaşımlar (Abar, 2020; Dajcman, 2013; Fernandez, 2005; Jiang vd., 2017; Raghavan vd., 2010; Sharkasi vd., 2006; Şerbetçi, 2025; Tiwari vd., 2013) literatürde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmaktadır.

Dajcman (2013)'de Almanya, Avusturya, Fransa ve Birleşik Krallık borsaları arasındaki çok ölçekli karşılıklı bağımlılığı incelemiştir. Çalışmanın bulgular, özellikle 2007–2008 küresel finansal krizinin piyasa volatilitesi üzerinde belirgin ve kalıcı etkiler yarattığına işaret etmektedir. Ayrıca çalışmada birlikte hareketin ölçeğe bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kısa vadeli frekans bantlarında volatilitenin büyük bölümünün yoğunlaştığını vurgulayan bu çalışma Almanya, Fransa ve Birleşik Krallık piyasaları arasında güçlü bir eş hareket bulunduğunu ileri sürmektedir.

Çalışmada ayrıca Avusturya piyasasının görece daha zayıf bir ilişki sergilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Jiang vd. (2017)'de ise ASEAN ülkeleri arasındaki hisse senedi piyasalarının birlikte hareketini incelenmiştir. Bu çalışmada, üç boyutlu Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) kullanılarak ölçeğe bağlı karşılıklı bağımlılık incelenmiştir. Çalışmada piyasalar arası bağımlılığın özellikle kısa vadede ve dışsal şoklar sonrasında güçlendiği işaret edilmektedir. Bulgular ayrıca ekonomik şokların borsaların birlikte hareketi üzerindeki etkisinin geçici olduğu ve zamanla zayıfladığını ortaya koymaktadır.

Abar (2020) Türkiye ile G20 ülkeleri arasındaki birlikte hareketi dalgacık uyum analizi ile incelemiş ve kısa vadede düzensiz, uzun vadede daha istikrarlı ilişkiler tespit etmiştir. Benzer şekilde Şerbetçi (2025), Türkiye ile CIVETS ülkeleri arasındaki etkileşimi dalgacık yaklaşımı ile analiz etmiş ve kısa vadede ayrışan, uzun vadede ise daha uyumlu bir yapı olduğunu ileri sürmüştür.

Bu çalışma, Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik karşılıklı bağımlılığı, dalgacık uyum analizi çerçevesinde çok ölçekli olarak ele alan sınırlı sayıdaki çalışmalardan biridir. Literatüründe dalgacık temelli yaklaşımların kullanıldığı çalışmaların sayısında artış gözlenmekle birlikte, Türkiye ile Avrupa'nın önde gelen hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik karşılıklı bağımlılığı inceleyen çalışmalar sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışma Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik karşılıklı bağımlılığı dalgacık uyum analizi çerçevesinde ele alarak zaman ve frekans boyutunda etkileşimi analiz ederek söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

3. Yöntem

3.1. Sürekli Dalgacık Yaklaşımı, Dalgacık Güç Spektrumu, Dalgacık Tutarlılığı ve Faz Farkı

Dalgacık, sonlu uzaysal ve zamansal alanlarda meydana gelen çok ölçekli bir fonksiyondur. Durağan ve durağan olmayan süreçlerin incelenmesinde kullanılan bu fonksiyon sonsuz olarak uzanan Fourier serilerinin aksine, sonlu ve küçük bir dalga biçimini temsil etmektedir (Biswas & Si, 2011; Bosch vd., 2004; Graps, 1995; Lau & Weng, 1995).

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) için yaygın olarak üç farklı dalgacık fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu dalgacıklardan Haar serideki ani değişimleri test ederken, Mexican Hat ile

Morlet tepe ve çukurları tespit etmektedir. Haar dalgacığı basit ve asimetrik bir yapıya sahip bir fonksiyonken, Mexican Hat ve Morlet simetrik bir fonksiyondur (Biswas & Si, 2011).

CWT, bazı özellikleri sağlayan ve φ ana dalgacık olarak adlandırılan bir fonksiyona göre tanımlanmaktadır (Sadowsky, 1996). Eşitlik 1’de verilen CWT dönüşümünde φ^* ile dalgacık fonksiyonunun karmaşık eşleniği temsil edilmektedir (Ko & Lee, 2015). Zaman konumunu ve dalgacığın ölçeğini temsil eden iki parametreye sahip integral dalgacık dönüşümü

$$W_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi^* \left(\frac{t - \tau}{a} \right) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_{a, \tau}^*(t) dt \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade, zaman serisinin farklı zaman ve ölçeklerindeki değişimini ortaya koyarak, serinin hem kısa hem de uzun dönemli bileşenlerinin birlikte analiz edilebilmesini sağlamaktadır. Eşitlik 1’de a ölçek (genişleme-daraltma) parametresini temsil ederken, τ ise zamansal veya uzaysal ötelenmeyi ifade etmektedir (Biswas & Si, 2011; Kumar & Foufoula-Georgiou, 1993; Si, 2008). Dalgacığın genişliği frekansla ters orantılı hareket etmektedir (Ko & Lee, 2015). $a > 1$ olması durumunda (dalgacığın genişlemesi) düşük frekanslı (uzun dönem) bileşenler analiz edilirken, $a < 1$ durumunda ise (dalgacığın daralması) yüksek frekanslı (kısa dönem) bileşenler analiz edilmektedir.

Bu dönüşüm zaman ve ölçek ikilisi için enterpolasyon yaparak sürekli ölçekler ve katsayı üretir. Böylece sinyalin zaman-frekans yapısını temsil eden iki boyutlu bir matris oluşturulur. Kısaca dalgacık dönüşümü ile tek boyutlu bir veri seti iki boyutlu bir matrise dönüştürülmektedir (Biswas & Si, 2011). Elde edilen bu matris ile bir yüzey oluşturulmakta ve veriye ilişkin daha kapsamlı bilgiler elde edilmektedir (Shu vd., 2008; Tiwari vd., 2015).

Morlet dalgacığı, Gauss fonksiyonu ile zayıflatılmış bir sinüs dalgası olarak tanımlanmaktadır (Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). Faz etkileşimlerinin nicel değerlendirilmesi, sürekli ve karmaşık dalgacık temelli yaklaşımlar sayesinde mümkün olmakta olup, Morlet dalgacığı (MW) bu alanda literatürde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yüksek frekans çözünürlüğü sağlayan MW,

$$\varphi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \exp(-i2\pi f_0 t) \exp(-t^2/2) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Büssow, 2007). Bu ifade finansal zaman serilerindeki geçici dalgalanmaların daha hassas biçimde tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Dalgacık fonksiyonu

genel olarak karmaşık (kompleks) olduğundan, dalgacık dönüşümü de karmaşıktır. Hem durağan hem de geçici sinyallerin analizine imkân tanıyan Sürekli Morlet dalgacık dönüşümü, dalgacık güç spektrumu temelli bir değerlendirme sunmaktadır. (Shyu & Sun, 2002).

Bir dalgalanmanın zaman serisi içinde hangi frekansta gerçekleştiğine dair bilgi Dalgacık Güç Spektrumu (WPS) ile sağlamaktadır (Falayi vd., 2020). WPS, ölçek ve zamana bağlı olarak tanımlanmaktadır. Dalgacık dönüşümü Fourier dönüşümünün bir genellemesi olarak görülmekte ve spektral yaklaşımlara benzer şekilde hesaplanmaktadır (Cazelles vd., 2008). Sinyal enerjisinin büyüklüğünü gösteren ve her bir zaman-ölçek bileşeninin zaman serisinin varyansına olan katkısını nicel olarak ölçen WPS,

$$WPS_x(a, \tau) = |W_x(a, \tau)|^2 \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade, zaman serisinin belirli bir zaman ve frekans düzeyindeki enerji yoğunluğunun ölçülebilmesini sağlamaktadır. Morlet Dalgacığı gerçek ve sanal parçalarına ayrılabilir. Bu durum sinyalin fazının izlenmesine olanak tanımaktadır (Cherbuliez & Jacquot, 2001). Bunun yanı sıra ele alınan sinyalin faz ve genliğini de birbirinden ayırabilmektedir (Tiwari vd., 2015).

$$W_x^n(a, t) = \frac{\delta t}{\sqrt{a}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot \varphi^* \left((m-n) \frac{\delta t}{a} \right), m = 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

Eşitlik 4’de verilen ifade Fourier dönüşümü yardımıyla ile,

$$W_x^n(a, t) = \frac{\delta t}{\sqrt{a}} \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}_n \cdot \varphi^*(a\omega_m) e^{i\omega_k n \delta t}, m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Dalgacık dönüşümünde kullanılacak ölçekler kümesi ise eşitlik (6) verilen formül yardımı ile elde edilmektedir.

$$a_j = a_0 2^{j\delta t}, j = 0, 1, \dots, J \quad (6)$$

Durağan olmayan iki zaman serisi arasındaki ilişkiler zamana ve ölçeğe bağımlı olarak dalgacık çapraz spektrumu ve dalgacık tutarlılığının hesaplanması ile incelenebilmektedir (Tiwari vd., 2015). Çapraz dalgacık gücü iki zaman serisinin aynı zaman-ölçek düzeylerinde yüksek ortak güce sahip bölgeleri ortaya koyarak seriler arasındaki ortak salınımların belirlenmesini sağlamaktadır (Banerjee & Mitra, 2013; Grinsted vd., 2004; Veleda vd., 2012). Bu bağlamda

dalgacık çapraz spektrumu iki zaman serisi arasındaki ortak güç dağılımını tanımlamakta olup eşitlik (7)'de sunulmaktadır. Bu eşitlik, iki zaman serisinin aynı zaman ve frekans düzeylerinde birlikte güçlü hareket ettiği bölgeleri belirlemeye imkân sağlamaktadır.

Buna karşılık eşitlik (8)'de tanımlanan, iki zaman serisi için dalgacık tutarlılığı ise çapraz dalgacık gücünün tekil dalgacık güçlerine normalize edilmesiyle elde edilmekte ve iki zaman serisi arasındaki korelasyon yapısını zaman–ölçek uzayında ölçmektedir (Avdaković vd., 2013; Tiwari vd., 2015).

$$W_{x,y}(f, \tau) = W_x(f, \tau)W_y^*(f, \tau) \quad (7)$$

$$R_{x,y}(f, \tau) = \frac{\|\langle W_{x,y}(f, \tau) \rangle\|}{\|\langle W_{x,x}(f, \tau) \rangle\|^{\frac{1}{2}} \|\langle W_{y,y}(f, \tau) \rangle\|^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

Bu çerçevede dalgacık tutarlılığı $R_{x,y}(f, \tau)$ 0-1 arası değerler almaktadır. Bu değer iki zaman serisi arasındaki ilişkinin gücünü temsil etmektedir. $R_{x,y}(f, \tau)$ 'nin 1'e yaklaşması, ilgili frekans ve zaman noktasında seriler arasında güçlü bir birlikte hareketin bulunduğunu vurgularken 0'a yaklaşması ise zayıf ya da anlamsız bir ilişkiye işaret etmektedir. İki zaman serisi arasındaki periyodik bileşenlerin, belirli bir ölçek düzeyinde zaman eksenini boyunca birbirlerine göre olan göreceli kaymaları (öncülük–gecikme ilişkileri), anlık ya da yerel dalgacık fazı aracılığıyla belirlenmektedir (Wan vd., 2024).

Bu bağlamda faz farkı (Phase Difference) ise;

$$\phi_{x,y}(f, \tau) = \tan^{-1} \frac{\Im(\langle W_{x,y}(f, \tau) \rangle)}{\Re(\langle W_{x,y}(f, \tau) \rangle)} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Avdaković vd., 2013; Tiwari vd., 2015; Wan vd., 2024).

4. Uygulama

İki zaman serisi arasındaki bağlantıları test etmek için literatürde çapraz dalgacık analizi ve dalgacık tutarlılığı yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik etkileşim kısa, orta ve uzun dönemde incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, dalgacık eşgüdümü metodolojisi kullanılarak Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasalarının uluslararası düzeyde zaman-frekans boyutlarında birlikte hareketi incelenmiştir.

4.1. Veri

Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa hisse senedi piyasaları arasındaki dinamik karşılıklı bağımlılık incelenmesi amacıyla Borsa İstanbul'da işlem gören en büyük ve likiditesi en yüksek 100 şirketin performanslarını incelemeye olanak tanıyan piyasa değerine göre ağırlıklandırılmış hisse senedi endeksi olan BİST 100, benzer şekilde Alman hisse senedi piyasasını temsil eden DAX ve Avrupa genelini temsil eden Euro Stoxx 50 endekslerine ait veriler kullanılmıştır.

15.08.2011–12.12.2025 dönemini kapsayan veriler investing.com veri tabanından temin edilmiştir. Investing.com veri tabanı, geniş veri kapsamı, yüksek frekanslı verilere erişim imkânı ve literatürde yaygın olarak kullanılması nedeniyle tercih edilmiştir. İlgili dönemin, Avrupa borç krizi sonrası süreci, 2018 Türkiye finansal dalgalanmasını, COVID-19 pandemisini ve Rusya-Ukrayna savaşı gibi küresel ve bölgesel şokları içermesi bakımından önem taşımaktadır. Böylece, piyasalar arasındaki karşılıklı bağımlılığın normal ve kriz dönemlerinde nasıl bir seyir izlediği değerlendirilebilmektedir. Getiriler, kapanış fiyatlarının doğal logaritmik farkları alınarak ve yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Analizde, üç piyasanın ortak işlem günleri dikkate alınmış ve eksik gözlemler veri setinden çıkarılmıştır.

Tablo 1'de BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50 endekslerine ait logaritmik getiri serilerine ilişkin betimleyici istatistikler sunulmuştur.

Tablo 1

Betimleyici İstatistikler

	BİST 100	DAX	STOXX 50
Gözlem sayısı	3515	3515	3515
Ortalama	0.0868	0.0396	0.0256
Standart sapma	1.5823	1.2417	1.2501
Medyan	0.1236	0.0827	0.0575
Min	-11.0633	-13.0549	-13.2405
Maks	9.4219	10.4143	8.8343
Aralık	20.4853	23.4691	22.0748
Çarpıklık	-0.6196	-0.4471	-0.5673
Basıklık	4.8244	7.9733	8.0664

Getiri serilerinin negatif çarpıklık ve yüksek basıklık değerleri, dağılımın normalden saparak kalın kuyruk özelliği taşıdığını göstermektedir. Bu durum finansal zaman serilerinin tipik bir özelliği olup, aşırı değerlerin ve şokların varlığına işaret etmektedir.

4.2. Bulgular

Bu bölümde öncelikli olarak her bir hisse senedi piyasasına ilişkin dalgacık güç spektrumlarına yer verilmiştir. Getirilerin farklı zaman ölçeklerinde sergilediği oynaklık yapısını göstermek için kullanılan güç spektrumlarında, renk yoğunlukları güç seviyelerini temsil etmektedir. Bu grafiklerde zaman yatay ekseninde yer alırken, frekans (periyot) dikey ekseninde yer almaktadır. Kırmızı ve turuncu tonlar yüksek güce (yüksek oynaklık) işaret ederken, mavi ve yeşil tonlar ise düşük güç seviyelerine işaret etmektedir. Grafiklerde yer alan siyah kontur çizgileri (sınır çizgileri) ise istatistiksel olarak anlamlı (%5 anlamlılık düzeyinde) bölgeleri göstermektedir. Grafikte yer alan koni biçimli beyaz eğri ise etki konisinin (COI) sınırını ifade etmekte olup bu eğrinin dışındaki bölgelerde spektral bilginin doğruluğu istatistiksel olarak yeterli düzeyde olmamaktadır (Tiwari vd., 2015). Grafiklerde yer alan faz okları ise iki piyasa arasındaki yön ilişkisini göstermektedir. Okların büyük ölçüde sağa yönelmesi, iki piyasa arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunduğunu ve getirilerin çoğunlukla aynı yönde hareket ettiğini göstermektedir. Zaman-frekans ayrıştırması, farklı yatırım ufuklarının yorumlanmasına olanak tanımaktadır. İlgili dalgacık ölçekleri ve bunların yaklaşık zaman ufukları Tablo 2’te sunulmuştur.

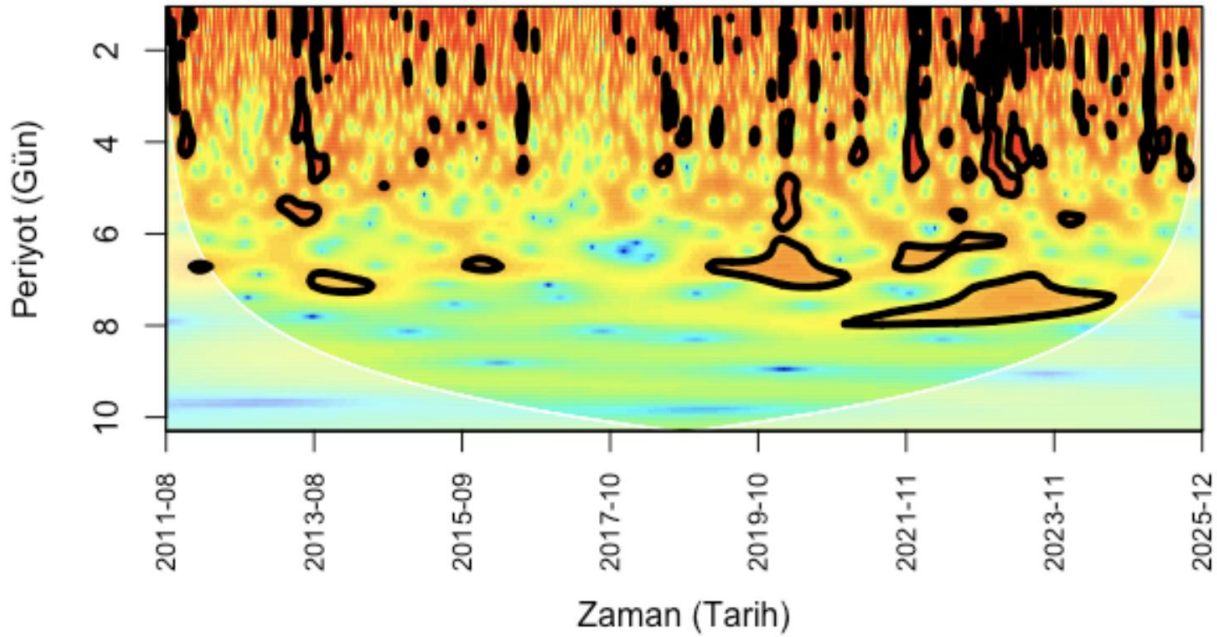
Tablo 2

Dalgacık Ölçekleri ve Karşılık Gelen Zaman Ufukları

Dalgacık ölçütü	Aralık	Ekonomik yorum
w_1	2–4 gün	çok kısa dönem
w_2	4–8 gün	haftalık yatırım
w_3	8–16 gün	kısa vadeli piyasa hareketi
w_4	16–32 gün	aylık yatırım
w_5	32–64 gün	orta vadeli hareket
w_6	64–128 gün	uzun vadeli etkileşim

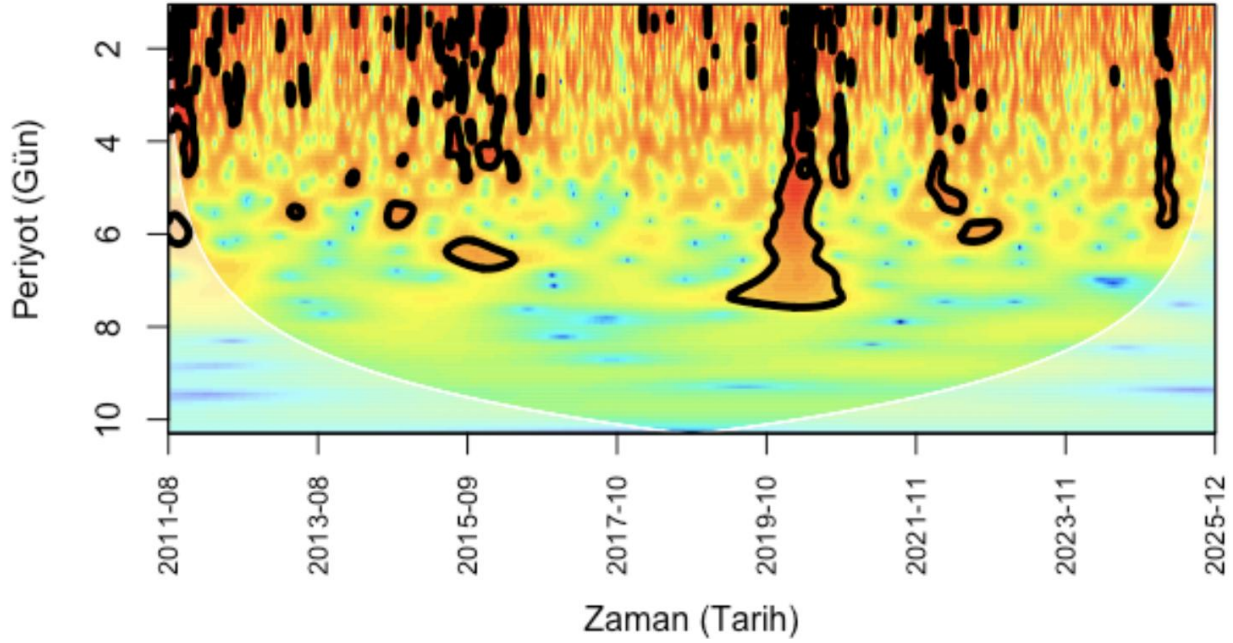
Kaynak. Tiwari vd., 2013.

BİST 100 serisinden elde edilen logaritmik getirilere ait dalgacık güç spektrumu Şekil 1’de verilmiştir. Bulgular, BİST 100 getirilerinde oynaklığın özellikle kısa dönemli frekanslarda (2–4 gün) yoğunlaştığını ve bazı dönemlerde orta vadeli bantlarda (6–8 gün) güç artışları gözlemlendiğini göstermektedir. Bu durum BİST 100’de piyasasında volatilitenin büyük ölçüde kısa vadeli bilgi akışları tarafından şekillendiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. BİST 100 Logaritmik Getirisinin Dalgacık Güç Spektrumu

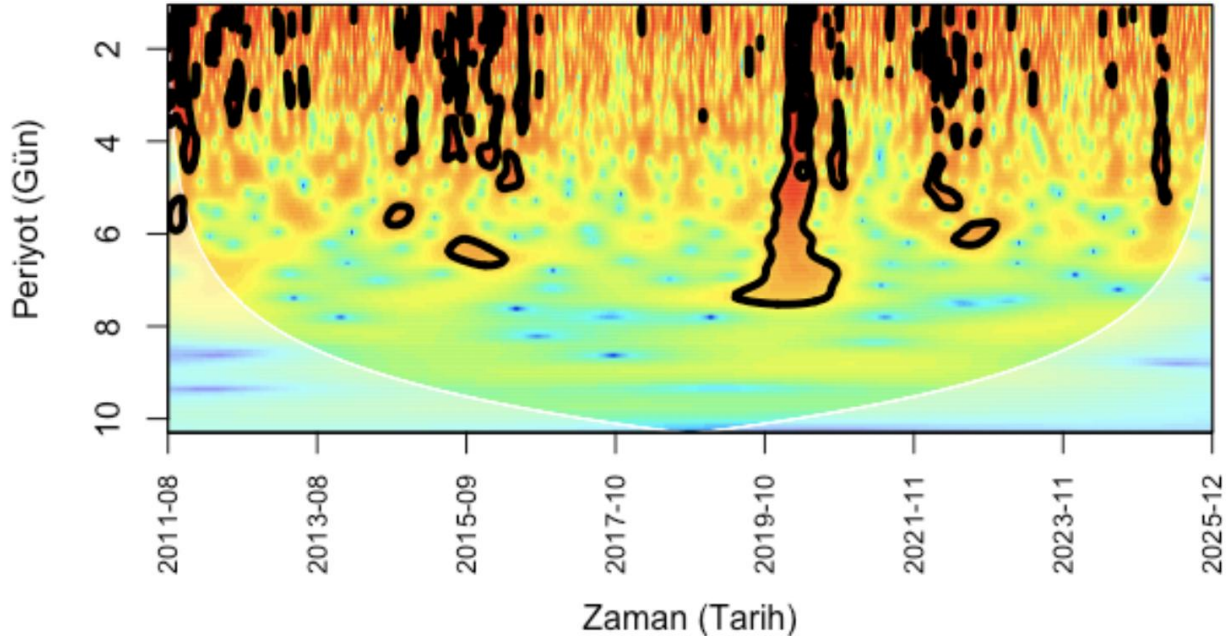
Şekil 2 incelendiğinde BİST 100 sonuçlarıyla benzer şekilde DAX endeksinde de volatilitenin büyük ölçüde kısa dönemli (2–4 gün) frekanslarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum piyasanın kısa vadeli bilgi akışlarına ve finansal şoklara duyarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte DAX spektrumunda orta frekans bantlarında (6–8 gün) gözlenen güç yoğunlaşmaları (koyu renkler), küresel piyasalardaki makroekonomik gelişmelerin Avrupa hisse senedi piyasasını daha belirgin bir şekilde etkilediğini ortaya koymaktadır. Şekil 2’de özellikle 2019–2021 döneminde orta frekans bantlarında (yaklaşık 6–8 günlük periyotlarda) belirgin güç yoğunlaşmaları gözlenmektedir. Bu dönem küresel ölçekte finansal belirsizliklerin arttığı ve COVID-19 süreçleriyle örtüşmektedir (Desalegn vd., 2022). Bu durum piyasa oynaklığının daha uzun zaman ölçeklerine yayıldığına bir göstergesi olarak kabul edilebilir.



Şekil 2. DAX Logaritmik Getirisinin Dalgacık Güç Spektrumu

Şekil 3'te Euro Stoxx 50 endeksinin logaritmik getirilerine ait dalgacık güç spektrumu verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde DAX ve Euro Stoxx 50 endekslerine ilişkin güç spektrumlarının birbirlerine oldukça benzedikleri görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde Euro Stoxx 50 endeksindeki oynaklıkta 2-4 günlük periyotlarda (kısa dönem frekans bantları) yoğunlaşma görülmektedir. Bu durum kısa vadeli bilgi akışlarının ve finansal şokların piyasadaki oynaklığı tetiklediğine işaret etmektedir.

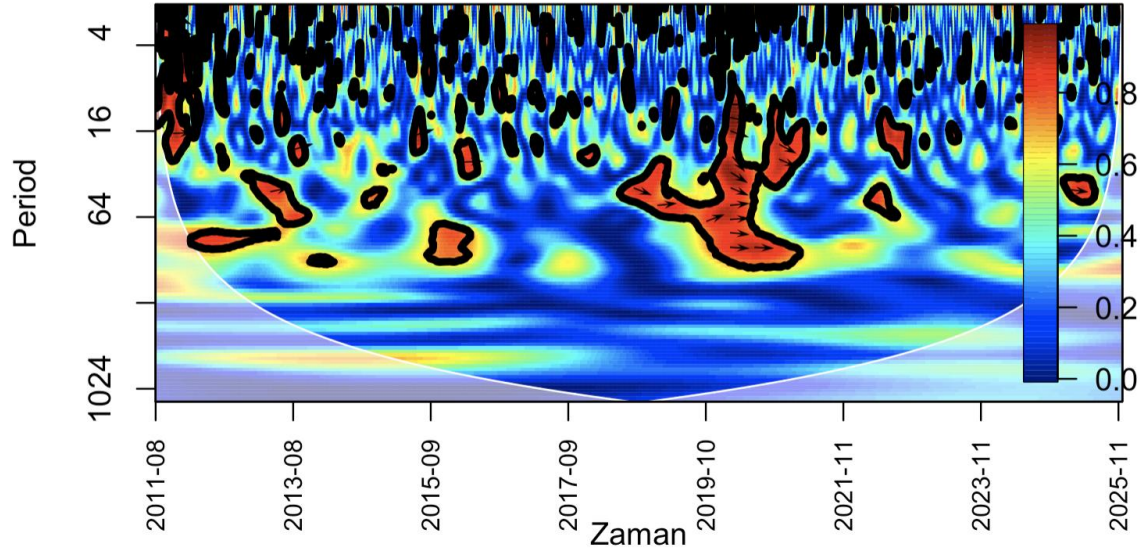
Grafikte özellikle de 2019–2021 döneminde 6–8 günlük periyotlarda yer alan orta frekans bantlarında güç yoğunlaşmalarının belirginleştiği görülmektedir. Küresel finansal belirsizliklerin ve COVID-19 sürecinin etkilerini içeren bu dönem Avrupa hisse senedi piyasalarında da oynaklığın arttığı dönemle çakışmaktadır. Elde edilen bulgular Euro Stoxx 50 getirilerine ilişkin oynaklık yapısının büyük ölçüde kısa vadeli frekanslarda yoğunlaştığını göstermekle birlikte bazı dönemlerde orta frekans bantlarında da oynaklığın anlamlı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. Euro Stoxx 50 Logaritmik Getirisinin Dalgacık Güç Spektrumu

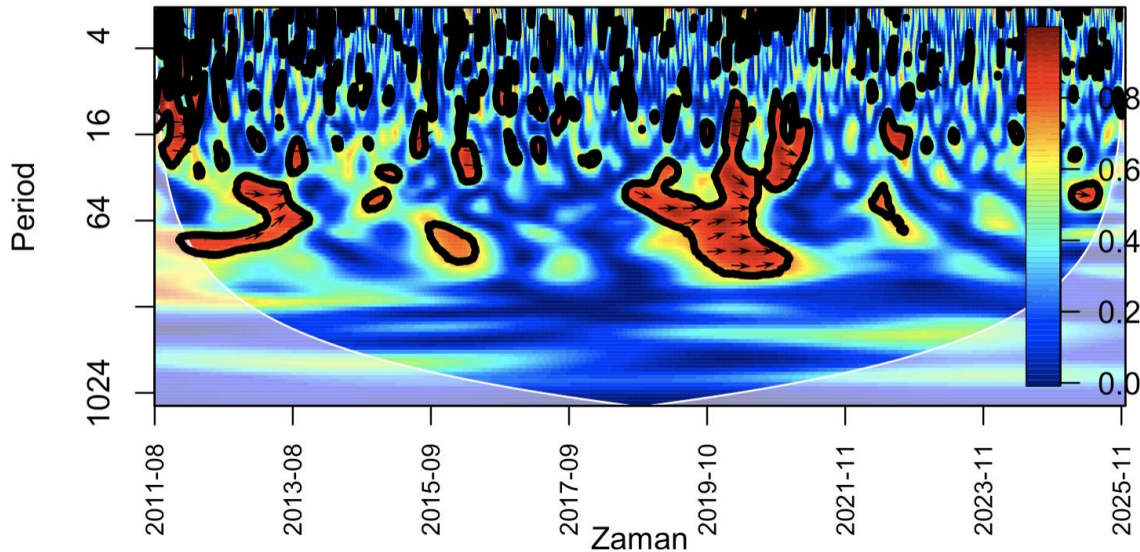
Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte değerlendirildiğinde BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50 endekslerindeki oynaklığın büyük ölçüde yüksek frekanslı (kısa vadeli) bantlarda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sonuç, piyasaların büyük ölçüde kısa vadeli bilgi akışlarına duyarlı olduğuna işaret etmektedir. Bunun yanı sıra özellikle 2019 sonrası dönemde finansal belirsizliklerin ve pandeminin etkisiyle orta frekans bantlarında da güç yoğunlaşmalarının olduğu gözlenmektedir. Ayrıca ilgili dönemde tüm piyasalarda yaşanan eş zamanlı güç artışları küresel şokların piyasa oynaklıkları üzerindeki ortak etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Şekil 4'te ise BİST 100 ve DAX endekslerinin log getirileri arasındaki dalgacık uyumu verilmiştir. Bu grafikte, iki piyasa arasındaki ilişki zaman ve frekans boyutunda gösterilmektedir. Bulgular incelendiğinde özellikle 2019–2021 döneminde orta frekans bantlarında anlamlı uyum bölgelerinin ortaya çıktığını görülmektedir. Bu durum söz konusu dönemde iki piyasa arasındaki entegrasyonun arttığına ve küresel finansal gelişmelerin her iki piyasayı da benzer şekilde etkilediğine işaret etmektedir. Grafikte yer alan okların yönleri ise iki piyasa arasında çoğu zaman pozitif yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Dalgacık Uyumı: BİST 100 – DAX (Log Getiriler)

Şekil 5 incelendiğinde BİST 100 ve Euro Stoxx 50 endeksleri arasında belirli dönemlerde anlamlı ve güçlü eş hareketler olduğu görülmektedir. Özellikle 2018–2021 döneminde orta frekans bantlarında (yaklaşık 32–128 günlük periyotlarda) belirgin uyum kümeleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum söz konusu dönemde iki piyasa arasındaki entegrasyonun arttığını ve küresel finansal gelişmelerin her iki piyasayı da benzer şekilde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 5. Dalgacık Uyumı: BİST 100 – Euro 50 STOXX (Log Getiriler)

Bazı bölgelerde gözlenen sağ-yukarı yönlü oklar, Euro Stoxx 50 endeksinin belirli dönemlerde BİST 100 üzerinde öncü bir rol oynayabileceğine işaret etmektedir. Genel olarak bulgular BİST 100 ve Euro Stoxx 50 piyasaları arasında özellikle orta vadeli frekans bantlarında güçlü bir eş hareket bulunduğunu ve küresel finansal şokların iki piyasayı benzer şekilde etkileyebildiğini göstermektedir.

BİST 100–DAX ve BİST 100–Euro Stoxx 50 uyum grafikleri birlikte değerlendirildiğinde, özellikle 2018 sonrası dönemde Avrupa hisse senedi piyasaları ile BİST 100 arasında orta frekans bantlarında belirgin bir eş hareket yaşandığını göstermektedir. Bu durum küresel finansal gelişmelerin ve bölgesel ekonomik şokların Avrupa ve Türkiye hisse senedi piyasaları arasındaki entegrasyonu artırdığına işaret etmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50 endeksleri arasındaki dinamik ilişki dalgacık analizi kullanılarak incelenmiştir. Analizde öncelikle her bir endeksin logaritmik getirilerine ait dalgacık güç spektrumları değerlendirilmiş, ardından piyasalar arasındaki eş hareket dalgacık uyum yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu yaklaşım finansal piyasalar arasındaki ilişkilerin hem zaman hem de frekans boyutunda incelenbilmesine olanak sağlamaktadır.

Dalgacık güç spektrumlarına ilişkin bulgular, üç endekste de (BİST 100, DAX ve Euro Stoxx 50) oynaklığın büyük ölçüde kısa dönemli frekans bantlarında yoğunlaştığına işaret etmektedir. Özellikle 2–4 günlük periyotlarda belirgin güç yoğunlaşmaları gözlenmiş ve bu durum hisse senedi piyasalarında volatilitenin büyük ölçüde kısa vadeli bilgi akışları ve piyasa şokları tarafından şekillendiğini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra bazı dönemlerde orta frekans bantlarında da güç yoğunlaşmaları da görülmüştür. Bu durum ise oynaklığın bazı zamanlarda daha uzun zaman ölçeklerine yayılabileceğine dair bir işarettir. Grafikler incelendiğinde özellikle 2019 sonrası dönemde bu durumun daha da belirgin hale geldiği görülmektedir.

Piyasalar arası ilişkinin ortaya konduğu dalgacık uyum analizlerinde ise BİST 100 ile Avrupa hisse senedi piyasaları arasında zaman içinde değişen bir entegrasyon yapısı bulunduğunu gözlenmektedir. BİST 100–DAX ve BİST 100–Euro Stoxx 50 uyum grafikleri incelendiğinde özellikle 2018 sonrası dönemde orta frekans bantlarında belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı eş hareketlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu bulgu, söz konusu dönemde küresel finansal

belirsizliklerin ve makroekonomik gelişmelerin farklı piyasalarda benzer etkiler yarattığını ve piyasa entegrasyonunun arttığına işaret etmektedir.

Uyum grafiklerinde yer alan faz okları incelendiğinde iki piyasa arasındaki ilişkinin büyük ölçüde pozitif yönlü olduğu görülmektedir. Bu durum BİST 100 ile Avrupa hisse senedi piyasalarının çoğunlukla aynı yönde hareket ettiğine dair bir kanıt olarak düşünülebilir. Bunun yanı sıra bazı dönemlerde Avrupa piyasalarının BİST 100 üzerinde öncü bir rol oynayabildiğine dair kanıtlar da bulunmuştur. Bu sonuç özellikle gelişmiş piyasaların bilgi üretiminde daha etkin olması ve küresel finansal gelişmelerin öncelikle bu piyasalarda fiyatlanması ile açıklanabilir.

Genel olarak elde edilen bulgular BİST 100 ile Avrupa hisse senedi piyasaları arasında özellikle orta vadeli frekans bantlarında anlamlı bir eş hareket bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum Türkiye hisse senedi piyasasının küresel finansal sistemle önemli ölçüde entegre olduğunu ortaya koymaktadır. Piyasalar arasındaki bu entegrasyon uluslararası yatırımcılar açısından portföy çeşitlendirmesi olanaklarını etkileyebileceği gibi finansal şokların yayılma mekanizmasını da güçlendirebilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları yatırımcılar ve politika yapıcılar açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır. Özellikle küresel finansal gelişmelerin Türkiye hisse senedi piyasası üzerindeki etkisi dikkate alındığında, uluslararası piyasalardaki oynaklık ve belirsizliklerin BİST 100 üzerinde önemli yansımaları olabileceği anlaşılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda Türkiye ile farklı ülke piyasalarının analize dahil edilmesi karar vericilere anlamlı bilgiler sağlayabilmektedir. Ayrıca çalışmalarda farklı frekans bantlarında piyasa entegrasyonunun incelenmesi ve finansal kriz dönemlerinin daha ayrıntılı analiz edilmesine olanak sağlayacaktır. Bunun yanı sıra döviz, emtia ve kripto varlıklar gibi farklı finansal varlıkların dalgacık analizi ile incelenmesi finansal piyasalar arasındaki ilişkilerin daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesine olanak sağlayacaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Etik komite onayı ve/veya yasal/özel izin gerektirmeyen bu çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyanı

Yazar makalenin tek yazarı olduğu için katkı oranı %100'dür.

Araştırmacının Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması yoktur.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı

Bu çalışmanın genişletilmiş özetinin hazırlanması sürecinde ChatGPT'den yalnızca dil bilgisi, yazım, imla ve gramer kontrolü amacıyla yararlanılmıştır. Çalışmanın bilimsel içeriği, yöntemi, analizleri, bulguları, yorumları ve sonuçları tamamen yazarlar tarafından oluşturulmuş olup, yapay zekâ herhangi bir bilimsel içerik üretimi veya karar verme sürecinde kullanılmamıştır.

Kaynakça

- Abar, H. (2020). Türkiye ve diğer G-20 ülkeleri hisse senetlerinin birlikte hareketi: Dalgacık analizi ile bir uygulama. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(59), 519–533.
- Avdaković, S., Bećirović, E., Nuhanović, A., & Kušljugić, M. (2013). Generator coherency using the wavelet phase difference approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(1), 271–278. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2279881>
- Ayan, T. Y., & Değirmenci, N. (2021). Dünya borsaları arası etkileşimin sosyal ağ analizi ile incelenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 569–577.
- Banerjee, S., & Mitra, M. (2013). Application of cross wavelet transform for ECG pattern analysis and classification. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(2), 326–333. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2279001>
- Belke, A., & Beckmann, J. (2015). Monetary policy and stock prices: Cross-country evidence from cointegrated VAR models. *Journal of Banking & Finance*, 54, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2014.12.004>
- Biswas, A., & Si, B. C. (2011). Application of continuous wavelet transform in examining soil spatial variation: A review. *Mathematical Geosciences*, 43(3), 379–396. <https://doi.org/10.1007/s11004-011-9318-9>
- Bosch, E. H., Oliver, M. A., & Webster, R. (2004). Wavelets and the generalization of the variogram. *Mathematical Geology*, 36, 147–186. <https://doi.org/10.1023/B:MATG.0000020469.51320.5d>
- Boztosun, Y., & Çelik, D. (2011). Türkiye borsasının Avrupa borsaları ile eşbütünleşme analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 147–162.
- Brooks, R., & Del Negro, M. (2004). The rise in comovement across national stock markets: Market integration or IT bubble? *Journal of Empirical Finance*, 11, 659–680. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2003.08.001>
- Büssow, R. (2007). An algorithm for the continuous Morlet wavelet transform. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(8), 2970–2979. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2007.06.001>
- Cazelles, B., Chavez, M., Berteaux, D., Ménard, F., Vik, J. O., Jenouvrier, S., & Stenseth, N. C. (2008). Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, 156, 287–304. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-0993-2>
- Cherbuliez, M., & Jacquot, P. (2001). Phase computation through wavelet analysis: Yesterday and nowadays. In *Fringe 2001: Proceedings of the 4th International Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns* (pp. 154–162). Elsevier.

- Çelik, İ., Gençtürk, M., & Binici, F. Ö. (2013). İMKB 30 endeksi ile Avrupa Birliği üyesi ülke borsaları arasındaki dinamik ilişkilerin vektör otoregresif model bağlamında belirlenmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 60, 73–86.
- Dajčman, S., & Festić, M. (2015). Interdependence between the Slovenian and European stock markets: A DCC-GARCH analysis. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 25(2), 379–395. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2012.11517513>
- Dajčman, S. (2013). Interdependence between some major European stock markets: A wavelet lead/lag analysis. *Prague Economic Papers*, 22(1), 28–49. <https://doi.org/10.18267/j.pep.439>
- Desalegn, G., Tangl, A., & Fekete-Farkas, M. (2022). From short-term risk to long-term strategic challenges: Reviewing the consequences of geopolitics and COVID-19 on economic performance. *Sustainability*, 14(21), 14455. <https://doi.org/10.3390/su142114455>
- Falayi, E. O., Adewole, A. T., Adelaja, A. D., Ogundile, O. O., & Roy-Layinde, T. O. (2020). Study of nonlinear time series and wavelet power spectrum analysis using solar wind parameters and geomagnetic indices. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9(1), 226–237. <https://doi.org/10.1080/20909977.2020.1728866>
- Fernandez, V. (2005). *Decomposition of stock returns spillovers and detection of breakpoints in volatility* (Working paper). Centre for Applied Economics, Department of Industrial Engineering, University of Chile.
- Graps, A. (1995). An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering*, 2(2), 50–61. <https://doi.org/10.1109/99.388960>
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(5–6), 561–566. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>
- Isakov, D., & Pérignon, C. (1999). *On the dynamic interdependence of international stock markets: A Swiss perspective*. Université de Genève, Faculté des sciences économiques et sociales.
- İmre, S. (2021). Türkiye borsası ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülke borsaları arasındaki volatilité yayılımının analizi. *Eurasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics Journal*, 52–66.
- Jiang, Y., Nie, H., & Monginsidi, J. Y. (2017). Co-movement of ASEAN stock markets: New evidence from wavelet and VMD-based copula tests. *Economic Modelling*, 64, 384–398. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.04.012>

- Ko, J. H., & Lee, C. M. (2015). International economic policy uncertainty and stock prices: Wavelet approach. *Economics Letters*, 134, 118–122. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.07.012>
- Lau, K. M., & Weng, H. (1995). Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(12), 2391–2402. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<2391:CSDUWT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<2391:CSDUWT>2.0.CO;2)
- Lin, W. L., Engle, R., & Ito, T. (1994). Do bulls and bears move across borders? International transmission of stock returns and volatility. *Review of Financial Studies*, 7(3), 507–538. <https://doi.org/10.1093/rfs/7.3.507>
- Liu, Y. A., Pan, M. S., & Shieh, J. C. P. (1998). International transmission of stock price movements: Evidence from the US and five Asia-Pacific markets. *Journal of Economics and Finance*, 22, 59–69. <https://doi.org/10.1007/BF02823233>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77–91.
- Neaime, S. (2006). Volatilities in emerging MENA stock markets. *Thunderbird International Business Review*, 48(4), 455–484. <https://doi.org/10.1002/tie.20105>
- Polat, M., & Kılıç, E. (2022). BRICS ve MIST ülkelerinin borsalar arası getiri ve volatilité etkileşimi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 29(4), 723–739. <https://doi.org/10.18657/yonveek.1020756>
- Pretorius, E. (2002). Economic determinants of emerging stock market interdependence. *Emerging Markets Review*, 3(1), 84–105. [https://doi.org/10.1016/S1566-0141\(01\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S1566-0141(01)00032-2)
- Raghavan, M., Dark, J., & Maharaj, E. A. (2010). Impact of capital control measures on the Malaysian stock market: A multiresolution analysis. *International Journal of Managerial Finance*, 6(2), 116–127. <https://doi.org/10.1108/17439131011032040>
- Sadowsky, J. (1996). Investigation of signal characteristics using the continuous wavelet transform. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 17(3), 258–269.
- Sharkasi, A., Ruskin, H. J., & Crane, M. (2006). Interdependence between emerging and major markets. In *COMPSTAT 2004: Proceedings of the 16th Symposium of the International Association for Statistical Computing* (pp. 1–8). Physica-Verlag.
- Shu, Q., Liu, Z., & Si, B. C. (2008). Characterizing scale- and location-dependent correlation of water retention parameters with soil physical properties using wavelet techniques. *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2284–2292. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0179>
- Shyu, H. C., & Sun, Y. S. (2002). Construction of a Morlet wavelet power spectrum. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 13, 101–111. <https://doi.org/10.1023/A:1013847512432>

- Smith, K. L., Brocato, J., & Rogers, J. E. (1993). Regularities in the data between major equity markets: Evidence from Granger causality tests. *Applied Financial Economics*, 3, 55–60. <https://doi.org/10.1080/758527817>
- Şerbetçi, A. (2025). Türkiye ve diğer CIVETS ülkeleri borsalarının etkileşimi: Dalgacık uyum analizi yaklaşımı. *Business & Management Studies: An International Journal*, 13(1), 15–31. <https://doi.org/10.15295/bmij.v13i1.2470>
- Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(4), 151–162. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01299-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01299-1)
- Theodossiou, P., Kahya, E., Koutmos, G., & Christofi, A. (1997). Volatility reversion and correlation structure of returns in major international stock markets. *The Financial Review*, 32, 205–224. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6288.1997.tb00422.x>
- Tiwari, A. K., Dar, A. B., Bhanja, N., & Shah, A. (2013). Stock market integration in Asian countries: Evidence from wavelet multiple correlations. *Journal of Economic Integration*, 28(3), 441–456.
- Tiwari, A. K., Bhanja, N., Dar, A. B., & Olayeni, O. R. (2015). Analyzing time–frequency-based co-movement in inflation: Evidence from G-7 countries. *Computational Economics*, 45(1), 91–109. <https://doi.org/10.1007/s10614-013-9408-5>
- Tsouma, E. (2007). Stock return dynamics and stock market interdependencies. *Applied Financial Economics*, 17(10), 805–825. <https://doi.org/10.1080/09603100600749212>
- Veleda, D., Montagne, R., & Araujo, M. (2012). Cross-wavelet bias corrected by normalizing scales. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29(9), 1401–1408. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00140.1>
- Wan, Z., Wei, K., & Xia, Y. (2024). A statistical test of phase difference via wavelet method and its application to the spread of air pollution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38, 4243–4257. <https://doi.org/10.1007/s00477-024-02801-4>
- Yang, J., Hsiao, C., Li, Q., & Wang, Z. (2006). The emerging market crisis and stock market linkages: Further evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 21, 727–744. <https://doi.org/10.1002/jae.889>
- Yüzbaşıoğlu, N. (2025). Gelişmekte olan ülke borsaları arasındaki etkileşim: Türkiye, Rusya, Çin ve Hindistan borsaları üzerine ampirik bir uygulama. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 17(1), 795–817.

EXTENDED ABSTRACT

Financial integration and the increasing mobility of global capital have progressively strengthened the interdependence among national stock markets. In addition, technological advancements and financial liberalization have rendered stock markets more sensitive to international developments. In this context, examining inter-market interactions provides valuable insights for policymakers and investors in terms of asset allocation decisions and portfolio diversification.

Within the framework of the portfolio theory proposed by Markowitz (1952), diversification is known to have the potential to reduce the overall risk of portfolios. However, a high degree of co-movement among stock markets reduces the benefits that can be obtained from diversification (Tiwari et al., 2013). Therefore, analyzing the degree of interdependence and co-movement among markets can make significant contributions to the decision-making process.

Due to its geographical location and strong economic ties, the Turkish stock market maintains close relationships with European financial markets. This relationship is particularly pronounced with Germany, one of the largest economies in Europe. In this regard, the DAX index, representing the German stock market, and the Euro Stoxx 50 index, reflecting the broader European economy, constitute key benchmarks for analyzing the responses of the Turkish market to external shocks. It is well known that relationships among markets may exhibit different characteristics across time scales. However, restricting this relationship to a single time horizon or frequency level prevents capturing its complex, dynamic, and multidimensional nature.

Wavelet analysis tools allow for the simultaneous evaluation of interactions among markets in both time and frequency domains. Moreover, these methods help overcome certain limitations associated with traditional time series techniques. Conventional time series methods typically rely on stationarity assumptions and evaluate relationships through constant parameters. However, financial time series are often non-stationary and exhibit multi-scale structures. To address these limitations, recent financial literature has increasingly employed methods capable of analyzing short-, medium-, and long-term co-movements simultaneously in both time and frequency domains. Among these, wavelet analysis offers significant advantages in examining the multi-scale nature of financial time series.

In this study, the dynamic interaction between Turkish and European stock markets is examined within the framework of wavelet coherence analysis. A wavelet is a multi-scale function defined over finite spatial and temporal domains. Unlike Fourier series, which extend infinitely, wavelets represent localized and finite wave-like forms and can be used to analyze both stationary and non-stationary processes (Biswas & Si, 2011; Bosch et al., 2004; Graps, 1995; Lau & Weng, 1995).

For the Continuous Wavelet Transform (CWT), three commonly used wavelet functions are employed. While the Haar wavelet is effective in detecting abrupt changes in a series, the Mexican Hat and Morlet wavelets are used to identify peaks and troughs. The Haar wavelet has a simple and asymmetric structure, whereas the Mexican Hat and Morlet wavelets are symmetric (Biswas & Si, 2011). The relationships between two non-stationary time series can be analyzed in a time- and scale-dependent manner through the computation of the wavelet cross-spectrum and wavelet coherence (Tiwari et al., 2015). The cross-wavelet power reveals regions with high common power at specific time–scale combinations, thereby identifying common oscillations between the series (Banerjee & Mitra, 2013; Grinsted et al., 2004; Veleda et al., 2012). In this context, the cross-wavelet spectrum describes the joint power distribution between two time series. Wavelet coherence, on the other hand, is obtained by normalizing the cross-wavelet power by the individual wavelet powers and measures the correlation structure between two time series in the time–scale space (Avdaković et al., 2013; Tiwari et al., 2015).

To analyze the dynamic interdependence between Turkish and European stock markets, this study utilizes data from the Borsa Istanbul (BİST 100), the DAX index representing Germany, and the Euro Stoxx 50 index representing the broader European market. The dataset covers the period from 15 August 2011 to 12 December 2025 and is obtained from investing.com. This period is particularly important as it includes major global and regional shocks such as the post-European debt crisis period, the 2018 financial turbulence in Türkiye, the COVID-19 pandemic, and the Russia–Ukraine war. Thus, it allows for the evaluation of inter-market dependence during both normal and crisis periods. Returns are calculated as the logarithmic differences of closing prices and expressed in percentage terms. The analysis considers common trading days across all markets, and missing observations are excluded from the dataset.

The findings from the wavelet power spectra indicate that volatility in all three indices (BIST 100, DAX, and Euro Stoxx 50) is predominantly concentrated in short-term frequency bands. In particular, significant power concentrations are observed in the 2–4 day periods, suggesting that stock market volatility is largely driven by short-term information flows and market shocks. Additionally, power concentrations are also observed in medium-frequency bands during certain periods, indicating that volatility may sometimes extend to longer time scales. Graphical analysis reveals that this pattern becomes more pronounced, especially in the post-2019 period.

The wavelet coherence analysis, which captures inter-market relationships, shows that the integration between BIST 100 and European stock markets varies over time. Examination of the BIST 100–DAX and BIST 100–Euro Stoxx 50 coherence plots reveals statistically significant co-movements, particularly in medium-frequency bands after 2018. This finding suggests that global financial uncertainties and macroeconomic developments have produced similar effects across different markets during this period, leading to increased market integration.

An analysis of the phase differences indicated by the arrows in the coherence plots reveals that the relationship between the markets is predominantly positive. This suggests that BIST 100 and European stock markets generally move in the same direction. Furthermore, there is evidence that, in certain periods, European markets play a leading role relative to BIST 100. This result can be explained by the greater efficiency of developed markets in information production and the tendency for global financial developments to be priced first in these markets.

Overall, the findings indicate a significant degree of co-movement between BIST 100 and European stock markets, particularly in medium-term frequency bands. This suggests that the Turkish stock market is substantially integrated into the global financial system. Such integration may affect portfolio diversification opportunities for international investors while also strengthening the transmission mechanism of financial shocks.

The results demonstrate that market integration becomes more pronounced during periods of heightened global financial uncertainty, whereas in normal periods, the relationship varies depending on time and frequency scales. The findings further indicate strong co-movements between BIST 100 and European stock markets, particularly in medium-term frequencies, and confirm that the relationship between the Turkish and European markets exhibits a time- and frequency-dependent structure.

These results have important implications for portfolio diversification strategies and financial stability policies. Future research may include additional country markets in the analysis to provide more comprehensive insights for decision-makers. Moreover, examining market integration across different frequency bands and conducting more detailed analyses of financial crisis periods would further enhance the literature. In addition, extending wavelet analysis to other financial assets such as exchange rates, commodities, and cryptocurrencies would allow for a more comprehensive evaluation of inter-market relationships.