

Petrol ve Döviz Piyasaları Arasındaki Nedensellik İlişkileri: Dalgacık (Wavelet) Analizi ile Bir Uygulama

Erdost TORUN¹, Erhan DEMİRELİ²

Özet

Küreselleşme ve piyasalar arası artan entegrasyon neticesinde finansal piyasalar ve emtia piyasaları arasındaki ilişki dinamik bir hale gelmiştir. Emtia ve finans piyasalarındaki nedensellik ilişkilerinin zamana bağlı değişiminin incelenmesi, piyasalar arası bilgi akışı ve şokların yayılma etkisinin doğasının anlaşılması açısından yararlı bilgiler sunması nedeniyle yatırımcı ve politika yapıcılar için zorunluluk halini almıştır. Bu çalışmanın ana amacı, SHP ve CWTC testlerinin kullanılmasını öngören ampirik yaklaşım aracılığıyla Petrol fiyatları ve Avro döviz kuru arasındaki zamana dayalı nedensellik etkisinin zamana ve zaman skalasına göre değişiminin ortaya çıkarılması ve söz konusu değişimlerin olduğu dönemlerde meydana gelen küresel ve yerel olayların ortaya konulmasıdır. Durağan olmayan verilerin analizine izin veren CWTC (Continuous Wavelet Transformantion Based Granger Casualty Test) ve SHP (Shi – Hurn – Phillips (2020) test) testlerinin uygulanması sonucunda, Avro döviz kuru ve petrol fiyatları arasındaki nedenselliğin zamana bağlı değiştiği ve zaman skalasına göre değişen dinamiklere sahip olduğuna ilişkin kanıtlar bulunmuştur. Söz konusu testlerin ortak sonucu 2010 – 2015 döneminde EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik, 2015 – 2020 döneminde ise çift yönlü nedensellik örneğine dair kanıtlar elde edilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre EUR ve OIL arasında kısa dönemde kısa süreli meydana gelen çift yönlü nedensellik ilişkisi ve örneğünden bahsedilebilir. Uzun dönemde ise EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik ilişkisine dair bulgular sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Nedensellik testi, Durağan Olmayan Veri Analizi, Dalgacık Analizi, LA-VAR

Jel Kodu: C 58, F 31, G 17

Causality Relationships Between Oil and Foreign Exchange Markets An Application With Wavelet Analysis

Abstract

Relationships among financial and commodity markets become dynamic through globalization and increasing market integration. It is undeniably accepted that fluctuations in financial markets drag real economies into crisis and cause socio-economic changes in countries. In this context, examining the temporal variations of causality relations in commodity and financial markets has become crucial for investors and policy makers, as it provides useful insights in terms of understanding the nature of the inter-market information flows and the spillover effect of shocks. Thus, the main purpose of this study is to reveal the time-based and scale based causality information flow between Oil prices and Euro exchange rate, and to reveal the global and local events affecting these information flows through the empirical approach proposing the use of SHP and CWTC tests. Through using the CWTC (Continuous Wavelet Transformation Based Granger Causality Test) and SPH, which allow for the analysis of non-stationary data directly, evidence that the causality between the Euro exchange rate and oil prices varies over time and has dynamics varying based on the time scale is found in this study. The overall result of the aforementioned tests indicates that there exist both unidirectional causalities from EUR to OIL in the period of 2010 - 2015, and bidirectional causality in the period of 2015 – 2020. Moreover, evidence in favor of short-term bidirectional causality relationship patterns between EUR and OIL and long term unidirectional information flow from EUR to OIL were provided in this study.

Keywords: Causality Test, Nonstationary Data Analysis, Wavelet Analysis, LA-VAR

Jel Codes: C 58, F 31, G 17

ATIF ÖNERİSİ (APA): Torun, E., Demireli, E. (2022). Petrol ve Döviz Piyasaları Arasındaki Nedensellik İlişkileri: Dalgacık (Wavelet) Analizi İle Bir Uygulama. *İzmir İktisat Dergisi*. 37(3). 714-739. Doi: 10.24988/ije.1076274

¹ Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, Buca / İZMİR, Türkiye

EMAIL: erdost.torun@deu.edu.tr, **ORCID:** 0000-0002-0946-2813

² Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Buca / İZMİR, Türkiye

EMAIL: erhan.demireli@deu.edu.tr, **ORCID:** 0000-0002-3457-0699

1. GİRİŞ

Granger nedensellik konseptinin nedenselliğe dayalı bilgi akışının tespitinde sosyal ve beşeri bilimlerde yaygın olarak kullanılmasının iki ana nedeni konseptin yapısal modelleme sürecinden ve değişkenlerin bağımlı - bağımsız değişken olarak belirlenmesi zorunluluğundan bağımsız olmasıdır (Shi vd. 2020).

Dolar ve Avro para birimlerinin rezerv para birimleri olması ve petrol piyasasının döviz piyasaları ile fiyatlandırma ilişkisi içerisinde olması nedeniyle Avro/dolar paritesindeki ve dolar fiyatındaki değişimler küresel çapta ekonomik gelişmelere yol açmaktadır. Paritenin küresel çapta finansal bir enstrüman olması yanında dolar fiyatındaki ve/veya avro fiyatındaki artış petrol ihraç eden ülkeleri olumlu etkilerken petrol ithal eden ülkeleri ise olumsuz etkilenmektedir. Dolayısıyla parite ve petrol fiyatı küresel reel ekonomiyi de etkileyen kritik değişkenlerden biridir. 1970'lerde görülen ilk petrol krizinden bu yana petrol fiyatlarındaki ani değişimler, küresel ekonomik dalgalanmaları da beraberinde getirmiştir. Ayrıca petrol fiyatlarında 2017 yılında görülen ani yükselme ardından Amerikan doları ve diğer rezerv paralarda görülen değer düşüşü petrol fiyatları ve kurlar arasındaki önemli ilişkiye dair diğer bir örnek olarak gösterilebilir.

Petrol fiyatlarının döviz kurları üzerindeki uzun ve orta dönemli etkisi ticaret hadleri ve servet etkisi aracılığıyla gerçekleşebilmektedir. Döviz kurundan petrol fiyatlarına doğru olan nedensel ilişki ise varlık fiyatlama teorisi aracılığıyla meydana gelmektedir. Kısa dönemli etkileşim ise döviz kurları ve petrol fiyatlarının finansal piyasalarda belirlenmesi, portföy yatırımlarına konu olmaları ve parite etkisi ile ortaya çıkmaktadır (Lv vd. 2018)

Dolardaki dalgalanmanın petrol ticaretini etkileyerek küresel ticaret hacminde dalgalanmalara yol açtığı genel olarak kabul görmesine rağmen petrol fiyatlarındaki söz konusu ilişkinin belirli bir bölge ya da ülkedeki petrol kaynaklarının durumu ve kullanımına bağlı olarak nasıl değiştiği teorik olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla bu çalışmada avro bölgesinin ekonomik durumundaki değişimlerin avro ve dolar üzerinden petrol fiyatlarıyla zamana bağlı olarak etkileşimi ampirik olarak araştırılmıştır. (Altarturi vd. 2016)

Deterministik ya da stokastik trendin varlığı nedensellik test sürecini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Eichenbaum ve Singleton (1986) nedensellik test sürecinin, verinin sahip olduğu trend bileşeninden ayrıştırılması durumunda daha duyarlı olduğunu; buna karşın verinin birinci farkı alınarak VAR (vektör otoregresif) modelinin tahmininde kullanıldığında ise daha az duyarlı hale geldiğini gözlemlemiştir. Sims (1987) belirgin trend bileşeni içeren VAR modellerinin doğaları itibarıyla güvenilir olarak kabul edilmesi gerektiği; buna karşın istatistiksel olarak anlamlı deterministik trendin model belirtim probleminin işareti olarak dikkate alınması ve bu problemin trend bileşeninin ayrıştırılması halinde görmezden gelinebileceği sonucuna varmıştır. Christiano ve Ljungqvist (1988) ise geleneksel Granger nedensellik test sürecinden önce verinin farkının alınmasının, test sürecinin gücünün azalması sebebiyle model belirtim hatasına yol açtığını belirtmiştir. Stock ve Watson (1989) nedensellik test sürecinin birim kök ve zaman bağlı trend bileşen varlıklarına karşı duyarlı olduğunu belirtmiş ancak zamana bağlı trendin ayrıştırılmasının daha güvenilir tahmin sürecine yol açacağını savunmuşlardır. Tüm bu tartışmalara rağmen, nedensellik test süreci için kesin bir veri belirtim kuralı geliştirilmemiştir. Shi vd. (2020) literatürdeki çelişkili bulguları dikkate alarak nedensellik ilişkisinin incelenen örneklem periyoduna duyarlı olduğu sonucuna varmış ve nedensellik test sürecinde trend bileşeninden ayrışma ya da fark alma süreçlerinden muaf olarak bu olgulardan etkilenmeyen metodların kullanılmasını önermiştir. Ayrıca VAR model sonuçlarının kullanılan gecikme sayısına duyarlı olduğu bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla trend ayrıştırma süreci, birim kök varlığı ve modelde kullanılacak gecikme değerinin kesin olarak belirlenmemesi olguları özellikle geleneksel VAR temelli güvenilir nedensellik test yaklaşımlarının geliştirilmesi için çözülmesi gereken kritik sorunlar arasındadır.

Shi vd. (2020) nedensellik ilişkisindeki zamana bağlı değişimleri tespit etmek amacıyla modifiye edilmiş Wald testlerini temel alan üç algoritma (kısaca SHP) geliştirmiştir. Parametrik SHP testleri, nedensellik ilişkisinde meydana gelen değişikliklerin tespitine imkan verirken test sürecinden önce trend bileşeninden ayrışma ya da verinin farkını alma gibi zorunluluklara da ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca, SHP testleri gecikme artırımlı vektör otoregresyon modelini (LA-VAR) kullanması nedeniyle incelenen veri setleri arasındaki entegrasyon yapısına karşı dayanıklıdır. Dolayısıyla, SHP testleri zaman serileri arasındaki koentegrasyon ya da birim kök varlığına ilişkin önsel bir bilgi ihtiyacı olmadan kullanılabilir. VECM (Vektör Hata Düzeltim Modeli) modelinin aksine, LA-VAR modeli önsel olarak koentegrasyon test sürecini gerektirmemesi nedeniyle sorunlu parametre bağımlılığı ya da standart olmayan limit teorisinden etkilenmemektedir. Dolayısıyla SHP testleri zamana bağlı trend içeren ve olası entegrasyon ilişkisine sahip veriler arasındaki nedensellik ilişkisinin zamana bağlı değişiminin analizinde kullanılabilir.

Öte yandan durağan olmayan verilerin nedensellik analizinde kullanılan diğer yöntemler dalgacık fonksiyonunu temel alan yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Dalgacık fonksiyonu, temel olarak belirli bir zaman aralığında kısa süreli ve şiddeti önce artıp sonra azalan küçük bir dalga fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Verilerin birinci farkının alınması durumunda uzun dönemli etkinin yok olmasına rağmen, dalgacık analizi ile veri seti doğrudan analiz edilerek trend, dönemsel ve rassal değişiklikler içeren bileşenlerine ayrılabilen ve söz konusu bileşenlerdeki değişimler zamana ve frekans boyutuna bağlı olarak incelenebilmektedir (Altarturi vd. 2016). CWTC'nin diğer testlere göre önemli avantajları bulunmaktadır: sürekli dalgacık dönüşümünü kullanması nedeniyle nedensellik ilişkisindeki frekans boyutunun yanında zaman boyutunda görülen değişimlerin analizini mümkün kılmaktadır. CWTC testinin parametrik olmaması nedeniyle otoregresif modelleme sürecindeki gecikme değerinin hesaplanması zorunluluğu da ortadan kalkmıştır. Böylece uzun süreli dalgalanmalar içeren veya uzun hafızaya sahip verilerin analizinde kritik öneme sahip gecikme sayısının yanlış belirlenmesi durumunda ortaya çıkabilecek sahte nedensellik ilişkisi de ortadan kaldırılmıştır. Bu özelliklere sahip verilerdeki süregelen yüksek korelasyon yapısının modellenmesi için fazla gecikme sayısına ihtiyaç duyulabilmekte ve gecikme değerindeki yanlışlık otoregresif model hatalarını değiştirerek nedensellik ilişkisini gerçekte olduğundan farklı hale getirebilmektedir. Sonuç olarak CWTC testi, nedensellik ilişkisinin zaman, frekans ve şiddet değişimlerinin analizini parametrik olmayan tahminleme süreci aracılığıyla mümkün kılarak geleneksel nedensellik testine oranla nedensellik ilişkisini zaman – frekans boyutlarında daha detaylı inceleyebilmektedir (CWTC testine ilişkin detaylı teknik bilgi için bakınız Olayeni (2016)).

Çalışmanın ana amacı, SHP ve CWTC testlerinin kullanılmasını öngören ampirik yaklaşım aracılığıyla Petrol fiyatları ve Avro döviz kuru arasındaki zamana dayalı nedensellik etkisinin zamana ve zaman skalasına göre değişiminin ortaya çıkarılması ve söz konusu değişimlerin olduğu dönemlerde meydana gelen küresel ve yerel olayların ortaya konulmasıdır. Söz konusu nedensellik ilişkisinin analizinde uzun dönemli dalgalanmalar ve trend bileşeninin nedensellik analizine dahil edilmesi amaçlanmıştır çünkü SHP ve CWTC testlerinde serinin durağan olma zorunluluğu ortadan kalktığı için trend ve uzun dönemli dalgalanmaların da analize dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmanın literatüre katkısı, yukarıda belirtilen testleri içeren ampirik yaklaşım kullanılarak petrol fiyatları ve parite arasındaki nedenselliğe yol açan bilgi akışını analiz eden ilk çalışma olmasıdır.

Petrol fiyatı ve döviz kurları arasındaki ilişkinin niteliğine dair kesin ve temel teoriklerin geliştirilememesine rağmen ampirik çalışmalar aracılığıyla yeni ve aydınlatıcı bilgilere ulaşılabilir. Ayrıca durağan olmayan verilerin analizine izin veren SHP ve CWTC testlerinin detaylı tartışılması sonucunda araştırmacılar için söz konusu testlerin tanıtılması amaçlanmıştır. Avro ve Petrol fiyatları arasındaki karmaşık ilişki ağına ışık tutması yanında söz konusu testlerin kullanılmasından oluşan ampirik yaklaşım yatırımcıları karar alıcılar ve araştırmacılar açısından faydalanılabilir niteliktedir. Önerilen ampirik yaklaşımın, piyasalar arası ilişkileri etkileyebilecek olayların niteliklerini ortaya

koyabilmektedir. Bu nedenle, söz konusu testler yatırımcılar tarafından benzer nitelikli olaylar karşısında piyasalar arası ilişkilerdeki olası değişimler hakkında öngörü sahibi olabilmek için de kullanılması mümkündür. Ayrıca ampirik yaklaşım, politika değişimlerinin finansal piyasalar arası ilişkilerdeki zamana bağlı etkilerinin tespitinde yararlı bilgiler sunabilir. Piyasalar arası ilişkilerin, içerdikleri dinamiklerin zamana bağlı değişimlerinin ortaya çıkarılması dinamik stratejilerin belirlenmesi ya da politikaların etkinliğinin kontrolü açısından yararlı bilgiler sunmaktadır. Önerilen ampirik yaklaşımın diğer finansal varlıklar arası ilişkilerdeki değişimlerin dinamik analizinde kullanılabilir olması nedeniyle finansal varlık ilişkilerine ait diğer hipotezlerin değerlendirilmesi konusunda araştırmacılar açısından da faydalanılabilecek niteliktedir.

2. DÖVİZ KURLARI VE PETROL FİYATLARI ARASINDAKİ ETKİLEŞİM

Petrol fiyatları ile kurlar arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi petrolün önemli bir rol oynadığı ekonomilerde petrol şokları ticaret hadlerini etkilemekte ve söz konusu şok ticarete konu olmayan aynı unsurlara ve döviz kurlarına yansımaktadır. Petrol ithal eden ülke/bölgeler açısından kur ve petrol fiyatları arasındaki ilişkiye dair teorik yapı şöyle özetlenebilir: Petrol fiyatlarındaki düşüş, serveti petrol ihraç eden ülkelere doğru transfer edilmesine yol açabilir. Petrol ithal eden ülkelerin para birimlerinin değeri kontrolsüz olarak yükselirken ihraç eden ülkelerin para birimlerinin değerinde ise kontrolsüz düşüşler meydana gelebilir. Petrol ithal eden ülkelere gerçekleşen servet transferi ise petrol ithal eden ülkelerin ticaret dengesini iyileştirebilir çünkü petrol ihracatçılarının ithalattaki payı, petrol ihracatçılarının ihracattaki payından daha fazla olmaktadır. Ayrıca dolar kurundaki değişim, uluslararası piyasalarda petrolün dolar cinsinden fiyatlanması sebebiyle, zincirleme etki yaratarak emtia fiyatlarının da değişime sebep olmaktadır. Doların reel fiyatındaki azalma petrol fiyatının artmasına sebep olmaktadır. Zayıf dolar kuru nedeniyle düşen petrol fiyatları uluslararası para akışını etkilemekte; artan talep ise sonrasında petrol fiyatlarının artışını desteklemektedir. Yukarıda özetlenen kanallar aracılığıyla petrol ithal eden ülkelerin döviz kurları etkilenmekte; söz konusu ülkelerin para birimleri petrol fiyatlarındaki değişimlere daha duyarlı şekilde tepki vermektedir. Finans literatüründe söz konusu teorik yapıyı doğrulayan birçok ampirik çalışma bulunmaktadır (Yang vd. 2017, Wen vd. 2020). Ayrıca, Petrol ihraç eden ülkelere petrol şoklarının döviz kurları üzerindeki etkisi döviz kurlarının makroekonomik belirleyicilerinden (örneğin enflasyon, faiz oranı ve üretim düzeyi vs.) de kaynaklandığı ve döviz kurları piyasalarındaki artan volatilitenin de temel ekonomik belirleyiciler nedeniyle şiddetlendiği literatürde geniş yer bulmuştur.

Petrol fiyatlarındaki artış, küresel servetin yeniden tahsis edilerek sermaye dağılımının yeni denge noktası oluşturmasına sebep olmakta; söz konusu yeni denge fiyatına uygun olarak paritelerin yeniden oluşmasına etki etmektedir. Dolayısıyla petrol arz şokları, küresel talep şokları ve spesifik talep şokları; döviz kurlarındaki servet etkisine sebep olmaktadır.

Döviz kurlarının petrol fiyatları üzerinde orta ve uzun dönemli nedensellik ilişkisinin temel teorik dayanağını varlık fiyatlama modeli oluşturmaktadır. Petrol piyasaları emtia piyasaları olmalarına rağmen menkul kıymet piyasalarına benzer şekilde davranmakta; dolayısıyla bugünkü değer teorisine göre döviz kurlarının emtialara ilişkin piyasalardaki hareketler üzerinde belirleyici etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

Petrol fiyatı ve döviz kurları arasındaki kısa dönemli ilişkilere ilişkin tartışmalardaki temel dayanak noktaları; iki enstrümanın da finansal piyasaların bir sonucu olmaları ve her birinin diğerine ilişkin temel faktörler üzerinde hızlı etkisi olması sebebiyle kısa sürede birbirlerine göre fiyat ayarlamasını gerçekleştirmesidir.

Nominal döviz kurlarının parite aracılığıyla nominal petrol fiyatları üzerinde kısa dönemli etkisi olmakla birlikte ters yönlü kısa dönemli geribildirim etkisi ise sermaye dağılımı aracılığıyla gerçekleşebilmektedir (Lv vd. 2018).

3. METODOLOJİ

3.1. Shi – Hurn – Phillips (2020) Testi - (SHP)

Toda – Yamamoto modifiye edilmiş Wald (w) nedensellik testinin uygulama kolaylığı, parametrik önsel-test sürecinden kaynaklanan bozulmalardan bağımsız olması ve verinin birim-kök sayısı /eşbütünleşme karakteristiğinden bağımsız asimptotik dağılıma sahip olması testin temel avantajlarını oluşturmaktadır.

Toda Yamamoto (1995) olası entegrasyon ilişkisine sahip veriler arasındaki nedensellik ilişkisinin test edilmesi amacıyla gecikme artırımlı vektör otoregresyon modelinin (LA-VAR) (lag(s) – augmented VAR) kullanılmasını önermektedir. Örnek olarak, k dereceden bilinen otoregresive sürece sahip ve gecikme sayısı $(k+d)$ olan VAR($k+d$) modeli aşağıdaki biçimde tanımlanabilir:

$$y_t = \alpha + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_k y_{t-k} + \dots + \phi_{k+d} y_{t-k-d} + \varepsilon_t \quad (1)$$

burada y_t , α , ve ε_t n -boyutlu vektörler olup ve ϕ_i , i -gecikme sayısına sahip $n \times n$ boyutlu parametre matrisini ifade etmektedir. Burada d , değişkenler arasındaki maksimum entegrasyon derecesini ifade etmekte olup söz konusu ekstra d -gecikmesine sahip parametreler nedensellik testinde asimptotik dağılım teorisinin kullanılmasını olanaklı kılmaktadır. Dolayısıyla y_t vektörüne ait i -satur elementinin yine aynı vektöre ait j -satur elementinin Granger nedeni olmaması aşağıdaki boş hipotez aracılığıyla test edilebilir hale gelmektedir:

$$H_0 : \phi_i \text{ matrisine ait } j\text{-satur, } i\text{-sütunda yer alan değer sıfırdır; } r = 1, \dots, k$$

Modeli daha detaylı açıklamak amacıyla, iki değişkenli LA-VAR($k+d$) modeli aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$y_{1t} = \alpha_{10} + \alpha_{11}t + \sum_{i=1}^{k+d} \beta_{1i} y_{1t-i} + \sum_{i=1}^{k+d} \delta_{1i} y_{2t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (2)$$

$$y_{2t} = \alpha_{20} + \alpha_{21}t + \sum_{i=1}^{k+d} \beta_{2i} y_{1t-i} + \sum_{i=1}^{k+d} \delta_{2i} y_{2t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (3)$$

Burada t zamana bağlı trend bileşenini, ε_{it} ise bağımsız özdeşçe dağılmış ve tekil olmayan kovaryans matrisine sahip hata sürecini ifade etmektedir. y_{2t} değişkeninin kendi geçmişine koşullu olarak gerçekleşen öngörü değerlerinin, k -gecikmeli y_{1t} değişkenlerin modele dahil edilmesi ile güçlenmesi durumunda y_{1t} değişkeninden y_{2t} değişkenine doğru meydana gelen Granger-nedenselliğinden söz edilebilir. Diğer bir ifade ile, yukarıda ifade edilen boş hipotez aşağıdaki biçimde yazılabilmektedir:

$$H_0 : \delta_{11} = \dots = \delta_{1k} = 0$$

İki değişkenli modelden hareketle n -değişkenli LA-VAR($k+d$) model aşağıdaki şekilde genelleştirilebilir:

$$y_t = \gamma_0 + \gamma_1 t + \sum_{i=1}^k J_i y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{k+d} J_j y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Burada $J_{k+1} = \dots = J_{k+d} = 0$ ve y_t n -boyutlu vektörü ifade etmektedir. Denklem [4] kompakt olarak aşağıdaki biçimde gösterilerilir:

$$y_t = \Gamma \tau_t + \Phi x_t + \Psi z_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

Burada $\Gamma = (\gamma_0, \gamma_1)_{n \times (q+1)}$, $\tau_t = (1, t)'_{2 \times 1}$, $x_t = (y'_{t-1}, \dots, y'_{t-k})_{nk \times 1}$, $z_t = (y'_{t-k-1}, \dots, y'_{t-k-d})_{nd \times 1}$,

$\Phi = (J_j, \dots, J_k)_{n \times nk}$, ve $\Psi = (J_{k+1}, \dots, J_{k+d})_{n \times nd}$. Granger-nedenselliğinin olmamasını ifade eden boş hipotez aşağıda ifade edilen kısıt kullanılarak test edilebilmektedir:

$$H_0 : \mathbf{R}\phi = 0$$

Burada \mathbf{R} , m adet kısıta sahip $m \times n^2k$ boyutlu matrisi, $\phi = \text{vec}(\Phi)$, vec ise satır-vektörleşme sürecini ifade etmektedir. Denklem [5] daha kompakt biçimde aşağıda ifade edilmiştir:

$$Y = \alpha' + X\Phi' + Z\Psi' + \varepsilon \quad (6)$$

Burada $Y = (y_1, \dots, y_T)'_{T \times n}$, $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_T)'_{T \times 2}$, $X = (x_1, \dots, x_T)'_{T \times nk}$, $Z = (z_1, \dots, z_T)'_{T \times nd}$, and $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_T)'_{T \times n}$.

$Q_\tau = I_T - \tau(\tau'\tau)^{-1}\tau'$ ve $Q = Q_\tau - Q_\tau Z(Z'Q_\tau Z)^{-1}Z'Q_\tau$ matrislerinin kullanılması durumunda Φ matrisinin sıradan en küçük kareler yöntemi tahmincisi T örneklem hacmi için $\hat{\Phi} = Y'QX(X'QX)^{-1}$ biçiminde tanımlanabilir. Granger nedenselliğinin olmadığını ifade eden boş hipotezin testi amacıyla Toda ve Yamamoto (1995) aşağıda ifade belirtilen modifiye edilmiş Wald test istatistiğinin (w) kullanılmasını önermektedir:

$$W = (\mathbf{R}\hat{\phi})' \left[\mathbf{R} \left\{ \hat{\Sigma}_\varepsilon \otimes (X'QX)^{-1} \right\} \mathbf{R}' \right]^{-1} \mathbf{R}\hat{\phi} \sim \chi_k^2 \quad (7)$$

Burada $\hat{\phi} = \text{vec}(\hat{\Phi})$, $\hat{\Sigma}_\varepsilon = (1/T)\hat{\varepsilon}'\hat{\varepsilon}$, ve \otimes kronecker çarpım sürecini ifade etmektedir. Granger nedensellik test sürecinde, tahmin edilmiş hata terimlerine ait vektörel çarpım matrisi, $\hat{\Sigma}_\varepsilon$, Denklem [6]'da gösterilen kısıtlanmamış model kullanılarak elde edilmektedir. Yukarıda ifade edilen test istatistiği kısıt sayısı olarak ifade edilen m serbestlik derecesiyle asimptotik olarak dağılmakla birlikte w testi temel alınarak hesaplanan yeniden örnekleme dağılımı, asimptotik dağılıma oranla daha düşük boyut deformasyonuna maruz kalmaktadır.

Nedensellik ilişkisindeki değişimleri tespit etmek amacıyla Shi vd. (2020), w istatistiğini kullanarak ileri-özyinelemeli algoritma (forward recursive algorithm) (FRA), kayar-pencereli algoritma (rolling window algorithm) (RWA) ve özyinelemeli-gelişen algoritma (recursive evolving algorithm) (REA) olmak üzere üç algoritma geliştirmiştir. Söz konusu algoritmalar temel olarak farklı pencerelerden faydalanarak alt örneklem test prosedürlerini nedensellik örüntüsündeki değişimleri tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Regresyona konu olan örneklemin veri sekansına ait kesirsel başlangıç ve bitiş noktaları f_1 ve f_2 ile ifade edilmekte olup alt örneklem uzunluğu $f_w = f_1 - f_2$ aracılığıyla tanımlanmaktadır. $w_{f_1}^{f_2}$ ise söz konusu altörneklem için LA-VAR modeli kullanılarak elde edilen modifiye edilmiş Wald istatistiğini ifade etmektedir. LA-VAR modelinin tahminlenmesi için gerekli minimum gözlem sayısı $\tau_0 = \lfloor f_0 T \rfloor$ ile tanımlanmakta olup T toplam gözlem sayısını ifade etmektedir. Yukarıda belirtilen değişkenler kullanılarak örneklem başlangıç ve bitiş koordinatları ile alt örneklem uzunluğu gözlem sayısı cinsinden sırasıyla $\tau_1 = \lfloor f_1 T \rfloor$, $\tau_2 = \lfloor f_2 T \rfloor$, ve $\tau_w = \lfloor f_w T \rfloor$ ile ifade edilmektedir.

FRA prosedüründe başlangıç noktası, τ_1 , veri sekansının birinci gözlemi olarak sabitlenmiştir. Sonrasında regresyon pencere uzunluğu τ_0 veri noktasından T noktasına doğru kesirsel olarak genişletilmektedir. Diğer bir ifadeyle bu süreçte alt örneklem bitiş noktası olan τ_2 , τ_0 noktasından T noktasına doğru hareket etmektedir. Dolayısıyla tahmine konu olan gözlemin kesirsel ifadesi, f , f_0 oranından 1 oranına hareket ederken regresyon pencere uzunluğu kesirsel olarak f_0 oranından 1 oranına artmaktadır.

RWA prosedüründe ise regesyon pencere büyüklüğü τ_0 değerinde sabitlenmiştir. Dolayısıyla söz konusu prosedürde başlangıç noktası, τ_1 , birinci gözlem yerine $T - \tau_0 + 1$ olarak belirlenmekte; ilk regresyona konu olan alt örneklem bitiş noktası ise $\tau_2 = \tau_1 + \tau_0 - 1$ olmaktadır. Başka bir ifade ile başlangıç ve bitiş noktaları matematiksel olarak $\tau_2 = \{\tau_0, \dots, T\}$ ve $\tau_1 = \tau_2 + \tau_0 + 1$ şeklinde ifade edilebilir. Bu yaklaşımda regresyon bitiş noktaları τ_0 noktasından veri setinin son noktası olan T noktasına doğru ilerlerken alt örneklem başlangıç noktaları da τ_0 sabit aralığına uyacak şekilde ilerlemektedir.

REA temel olarak olası alt örneklem kullanılarak hesaplanan test istatistiklerinin en küçük üst sınırının (eküs-supremum) (sup) tespit edilmesine dayanır. Diğer bir ifade ile, REA geriye doğru artan altörneklem kullanılarak hesaplanan istatistiklerin supremumuna dayanır. Alt örneklem sekansının bitiş noktası geçici olarak ilgilenilen son gözlem olarak seçilmekte, $f = f_2$, ve pencere bu gözlem noktasından ileriye doğru genişletilmekle birlikte söz konusu regresyona konu olan alt örneklem başlangıç noktası $f_1 = (f_2 - f_0)$ noktasından ilk gözleme kadar geriye doğru genişletilmektedir. Alternatif olarak, regresyona konu olan alt örneklem bitiş noktaları matematiksel olarak $\tau_2 = \{\tau_0, \dots, T\}$ şeklinde ifade edilmekte ve başlangıç noktaları ilk gözlemden olası tüm gözlemleri içerek şekilde $\tau_1 = \tau_2 - \tau_0 + 1$ gözlem noktasına kadar değişmektedir.

Dolayısıyla her bir alt örneklem için aralığında ve alt örneklem büyüklük oranı kullanılarak elde edilen regresyon aracılığıyla konu olan ilgili her bir gözlem noktası için, modifiye edilmiş wald test istatistikleri elde edilmektedir

Dolayısıyla, ilgilenilen her bir gözlem noktası, f , için modifiye edilmiş wald test istatistiği sekansı $\{W_{f_1, f_2}\}_{f_2=f}^{f_1 \in [0, f_2 - f_0]}$, altörneklem aralığı $[f_1, f_2]$ ve altörneklem büyük oranı $f_w = f_1 - f_2 \geq f_0$ kullanılarak elde edilen her bir altörneklem regresyonu aracılığıyla hesaplanmaktadır. Söz konusu Wald test istatistiğinin supremumu REA test istatistiği olmaktadır:

$$SW_f(f_0) = \sup_{f_2=f, f_1 \in [0, f_2 - f_0]} \{W_{f_1, f_2}\} \quad (8)$$

Yukarıda açıklanan algoritmalar birçok farklı altörneklem için fazla sayıda test istatistiği hesaplamaları neticesinde Tip 1 hata olasılığı, test sekansına ait hipotezlerin fazlalığı sebebiyle artmakta olup bu durum çokluk sorunu (multiplicity issue) olarak adlandırılmaktadır. Algoritmalar kullanılması durumunda test edilmesi gereken hipotez sayısı, test sürecine $\tau_0 = \lfloor f_0 T \rfloor$ noktasından başlanarak T noktasına test yapılması neticesinde, $T - \tau_0 + 1$ olmaktadır. Dolayısıyla özyinelemeli pencere kullanılması neticesinde oluşan dağılım büyüklük bozulmasının kontrol altına alınması amacıyla bootstrap metoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Test sürecinde, çokluk sorununun çözülmesi amacıyla bootstrap kritik değerler elde edilerek kullanılmıştır. Bootstrap süreci temel olarak yaratılan bootstrap örnekleri kullanılarak elde edilen kritik değerlerin kullanılmasına dayanır. Algoritmalara ait bootstrap kritik değerlerinin elde edilmesi aşamalarını basit olarak açıklamak amacıyla süreç aşamaları iki değişkenli VAR(1) modeli üzerinden aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

Aşama 1. y_2 değişkeninden y_1 değişkenine Granger nedenselliği olmadığı boş hipotez kısıtı altında VAR(1) modeli aşağıdaki biçimde tahmin edilir:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & 0 \\ \phi_{12} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix} \quad (9)$$

yukarıda ifade edilen modelin tahminlenmesi sonucunda $\hat{\phi}_{11}$, $\hat{\phi}_{12}$, ve $\hat{\phi}_{22}$ tahminlenmiş katsayıları ile e_{1t} ve e_{2t} tahminlenmiş hata terimi serileri elde edilir.

Aşama 2. yukarıda elde edilen tahminlenmiş katsayılar ve tahminlenmiş hata terimi serilerinden rassal olarak seçilen hata terimleri, e_{1t}^b ve e_{2t}^b , kullanılarak $T_b = \tau_0 + \tau_b - 1$ örneklem büyüklüğü için aşağıda ifade edilen model aracılığıyla bootstrap serileri y_{1t}^b ve y_{2t}^b elde edilir:

$$\begin{bmatrix} y_{1t}^b \\ y_{2t}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{11} & 0 \\ \hat{\phi}_{12} & \hat{\phi}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1t-1}^b \\ y_{2t-1}^b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t}^b \\ e_{2t}^b \end{bmatrix} \quad (10)$$

veri seti başlangıç değerleri $y_{11}^b = y_{11}$ ve $y_{21}^b = y_{21}$ olarak belirlenmiştir.

Aşama 3. Elde edilen her bir bootstrap serisi kullanılarak algoritmalar aracılığıyla bootstrap test istatistiği sekansları elde edilir. Her bir bootstrap test istatistiği sekansının maksimum değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned} \text{FRA: } M_{1,t}^b &= \max_{t \in [\tau_0, \tau_0 + \tau_b - 1]} (W_{1,t}^b) \\ \text{RWA: } M_{t-\tau_0+1,t}^b &= \max_{t \in [\tau_0, \tau_0 + \tau_b - 1]} (W_{t-\tau_0+1,t}^b) \\ \text{REA: } SM_t^b(\tau_0) &= \max_{t \in [\tau_0, \tau_0 + \tau_b - 1]} (SW_t^b(\tau_0)) \end{aligned} \quad (11)$$

Burada $\{W_{1,t}^b\}_{t=\tau_0}^{\tau_0+\tau_b-1}$, $\{W_{t-\tau_0+1,t}^b\}_{t=\tau_0}^{\tau_0+\tau_b-1}$ ve $\{SW_t^b(\tau_0)\}_{t=\tau_0}^{\tau_0+\tau_b-1}$ sırasıyla FRA, RWA ve REA algoritmaları kullanılarak elde edilen test istatistik sekanslarını ifade etmektedir.

Aşama 4. Aşama 2 ve aşama 3, B sayısı kadar tekrar edilir.

Aşama 5. FRA, RWA ve REA algoritmalarına ait kritik değerler sırasıyla $\{M_{1,t}^b\}_{b=1}^B$, $\{M_{t-\tau_0+1,t}^b(\tau_0)\}_{b=1}^B$ ve $\{SM_t^b(\tau_0)\}_{b=1}^B$ sekanslarının %95 yüzdendirlik (95% percentiles) değerlerinin hesaplanmasıyla elde edilir. Söz konusu kritik değerler çokluk sorunu nedeniyle oluşabilecek olası dağılım bozulmalarını kontrol altına almaktadır.

Test istatistiklerinin dayanıklılık kontrolü Shi vd. (2020) değişen varyansla tutarlı supremum Wald test istatistiğinin kullanılabilirliğini belirtmiştir. Söz konusu test istatistiğinin kullanılması değişen varyans olgusunun test sonuçlarında anlamlı bir etki gösterip göstermediğinin analiz edilmesinde kullanılabilir. değişen varyansla tutarlı altörneklem Wald test istatistiği aşağıda gösterilmektedir:

$$W_{f_1, f_2}^* = T_w (\mathbf{R} \hat{\phi}_{f_1, f_2})' \left[\mathbf{R} \left\{ \hat{V}_{f_1, f_2}^{-1} \hat{\Sigma}_{f_1, f_2} \hat{V}_{f_1, f_2}^{-1} \right\} \mathbf{R}' \right]^{-1} \mathbf{R} \hat{\phi}_{f_1, f_2} \quad (12)$$

Burada $\hat{\phi}_{f_1, f_2} = \text{vec}(\hat{\Phi}_{f_1, f_2})$ olup $\hat{\Phi}_{f_1, f_2}$, Φ matrisinin başlangıç noktası f_1 ile bitiş noktası f_2 olan altörneklem kullanılarak elde edilen en küçük kareler tahminidir. Ayrıca, $\hat{V}_{f_1, f_2} = I_n \otimes \hat{Q}_{f_1, f_2}$

ile $\hat{Q}_{f_1, f_2} = (1/T_w) \sum_{t=\lfloor f_1 T \rfloor}^{\lfloor f_2 T \rfloor} x_t x_t'$; ve $\hat{\Sigma}_{f_1, f_2} = (1/T_w) \sum_{t=\lfloor f_1 T \rfloor}^{\lfloor f_2 T \rfloor} \xi_t \xi_t'$ ile $\xi_t = \hat{\varepsilon}_t \otimes x_t$ olarak tanımlanmıştır.

Değişen varyansla tutarlı supremum Wald test istatistiğinin, $SW_f^*(f_0)$,ile gösterilmekte olup aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$SW_f^*(f_0) = \sup_{f_2=f, f_1 \in [0, f_2 - f_0]} \{W_{f_1, f_2}^*\} \quad (13)$$

Bu çalışmada, Shi et al. (2020) çalışmasını takiben, minimum pencere uzunluğu 52 hafta (1 yıl) olarak alınmıştır. Ayrıca, kontrol pencere uzunluğu ise 12 hafta (3 ay) olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analizi amacıyla SHP testleri her bir algoritma için ayrıca 52, 58, 104 haftalık minimum pencere sayıları ile 12, 24, ve 26 haftalık kontrol pencere uzunlukları ile hesaplanmıştır. Pencere uzunluklarına ilişkin duyarlılık analizi sonucunda SHP testlerinde anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yine Shi et al. (2020) çalışmasını takiben, bootstrap veri serisine ait örneklem uzunluğu olarak belirlenmiş; böylece Denklem [11]'de gösterilen supremum test istatistikleri her biri 63 gözlem için hesaplanan ve toplamda 12 test içeren sekanslardan elde edilmiştir. Veri serilerinin her biri 683 gözlemden oluşmaktadır. Dolayısıyla bootstrap sürecinde test edilen hipotez sayısı 632 olmuştur; toplam bootstrap sayısı ise 569 tekrardır. Değişen varyansla tutarlı sup-Wald testlerinin sonuçlarında anlamlı bir fark bulunamaması nedeniyle sonuçlarda yer verilmemiştir. Verinin sahip olduğu trend açısından duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla SHP testleri, verinin seviye ve logaritması alınmış haline, trend ve trendsiz model varsayımları kullanılarak tahmin edilmiştir. Logaritma süreci ve trendin olduğu varsayımı test sonuçlarında anlamlı bir etkisi olduğuna dair kanıt bulunamamıştır. Shi et al (2020) çalışmasını takiben bu çalışmada da sadece logaritmik veri setine trend içeren model kullanılarak elde edilmiş test sonuçları yer verilmiştir.

3.2. Sürekli Dalgacık Dönüşümünü Temel Alan Parametrik Olmayan Nedensellik Testi – CWTC Testi

Parametrik olmayan Granger nedensellik testine ilişkin ilk çalışma Dhamala vd. (2018a,b) tarafından gerçekleştirilen NWGC testi olup Geweke (1982) nedensellik testini dalgacık analizi kullanarak geliştirmiş ve tahminleme sürecinde matris çarpanlara ayırma aşamasını Wilson-Burg çarpanlara ayırma metodu ile gerçekleştirmiştir.

Dalgacık fonksiyonu, ortalaması sıfır ve genliği hızla azalan dalga şekline sahip bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. $x_{(t)}$ zaman serisi ile farklı skalalara sahip ana dalgacık fonksiyonunun, $\Psi_{s, \tau}(t) = \Psi((t - \tau)/s) / \sqrt{s}$, zaman boyutunda kaydırılarak çarpılması sonucunda aşağıda belirtilen sürekli dalgacık fonksiyon (CWT) katsayıları elde edilmektedir:

$$W_x(s, \tau) = (X * \Psi_{s, \tau})(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \tilde{\Psi}\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt \quad (14)$$

Burada $\tilde{\Psi}(\cdot)$, $\Psi(\cdot)$ fonksiyonunun karmaşık eşleniğidir. Veriye ilişkin zaman-frekans matrisi farklı skala (frekans) parametreleri (s) kullanılarak dalgacık fonksiyonunun zaman boyutunda kaydırılması sonucunda (τ) lokasyonu için tahminlenmektedir.

Bu proje kapsamında, Dhamala vd. (2018a,b) ve Olayeni (2016) çalışmasını takiben Morlet Dalgacık Fonksiyonu kullanılacaktır. Morlet Dalgacık Fonksiyonu, $\Psi(\eta) = \pi^{-1/4} \exp(i\omega\eta) \exp(-\eta/2)$, Gaussian zarf fonksiyonu kullanılarak modüle edilmiş dalga fonksiyonudur. Burada $\omega = \omega_0 = 6$ olmakla birlikte Gaussian Zarf Fonksiyonu, $\exp(-\eta/2)$,ve radian frekans, ω , sırasıyla zaman – frekans çözümlülüklerinin yerini ve değerlerini etkin biçimde belirleyerek analizi mümkün kılmaktadır. Skala ve frekans terimleri aynı anlama gelmektedir. Dalgacık fonksiyonun genişliği skala değeri “s” ile değiştirilmektedir, bu nedenle $\eta = s.t$ olmaktadır. Morlet Dalgacık Fonksiyonu veriye ilişkin

optimum zaman-frekans dağılımı tahminlemektedir. Ayrıca Morlet Dalgacık Fonksiyonu kompleks dalgacık fonksiyonudur; verinin durağanlığını etkileyen zamana bağlı değişen kesikli ve düzensiz dalgalanmaların analizi için uygundur (Aguiar-Conraria vd. (2008)).

Morlet Dalgacık Fonksiyonu ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform – CWT) kullanılarak Geweke (1982) nedensellik testinin yapılabilmesi için gerekli spektral matris S, kovaryans matris Σ ve H transfer matrisi Wilson-Burg matrisi kullanılarak elde edilir Wilson-Burg algoritmasına ait detaylı bilgi için bkz. Dhamala vd. (2018a,b), Wilson (1972, 1978) ve Olayeni (2016). Dhamala vd. (2018a,b) nedensellik testi, Geweke (1982) nedensellik formülünün S, Σ ve H matrisleri kullanılarak geliştirilmeyle oluşturulmuş olup aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$G_{x_2 \rightarrow x_1}(s, \tau) = \log \left(\frac{W_{11}(\omega, \tau)}{W_{11}(\omega, \tau) - \left\{ \Sigma_{11} - \Sigma_{12}^2 / \Sigma_{11} \right\} |H_{12}(\omega, \tau)|^2} \right) \quad (15)$$

Burada $W_{11}(\omega, \tau)$, x değişkeninin spektral enerji spektrumunu; ω ise radyan cinsinden frekans değerini ifade etmektedir. Testin önemli dezavantajları bulunmaktadır. Test, öncelikle matris çarpımlara ayırma sürecine ihtiyaç duymaktadır. Wilson Algoritması aşamasında çarpımlara ayırma işlemi için yakınsama koşulu sağlanması gerekmektedir ve yakınsama koşulu genellikle sağlanamamakta; bu durumda tahminleme yapılamamaktadır. Olayeni (2016) tarafından geliştirilen sürekli dalgacık dönüşümlü parametrik olmayan Granger nedensellik testi (CWTC) bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır. CWTC testi parametrik olmayan nedensellik testi olup Rua (2010, 2013) CWT korelasyon ölçütünün Olayeni (2016) tarafından faz farkı gösterge fonksiyonu kullanılarak geliştirilmesiyle oluşturulmuştur Detaylı metodolojik tartışma için bakınız Olayeni (2016). Gözlem sayısı N olan ve düzenli δt zaman aralığında oluşan kesikli zaman serilerinin, $\{x_n : n = 1, 2, \dots, N\}$, CWT dönüşümünün gerçekleştirilebilmesi için Denklem (12), ayrıklaştırma (discretization) süreci uygulanarak integral işlemi toplama işlemine dönüştürülür. Ayrıklaştırma işlemi sonunda spektrum, diğer bir ifadeyle zaman-frekans gösterimi, elde edilir:

$$W_x^m(s, \tau) = \frac{\delta t}{\sqrt{s}} \sum x_n \tilde{\Psi} \left((m-n) \frac{\delta t}{\sqrt{s}} \right), m = 1, 2, \dots, N-1 \quad (16)$$

Burada δt uniform tahminleme adım büyüklüğüdür. Dalgacık enerji spektrumu, $|W_x^m(s, \tau)|^2$, verinin zaman ve frekans boyutlarındaki enerji değişimlerini tespit etmektedir. x_n ve y_n verilerine ilişkin çapraz-spektrum $W_{xy}^m(s, \tau) = W_x^m(s, \tau) \tilde{W}_y^m(s, \tau)$ olarak tanımlanır ve zaman boyutundaki kovaryans matrise eş değerdir. Burada $\tilde{W}_y^m(s, \tau)$, $W_y^m(s, \tau)$ fonksiyonunun karmaşık eşleniğidir. CWT dönüşümü kullanılarak elde edilebilen çapraz spektrum aracılığıyla iki zaman serisi arasındaki farklı frekanslardaki etkileşimleri ve bu etkileşimlerin zamana bağlı değişimlerinin analizi mümkün olmaktadır. Her bir zaman serisinin enerji spektrumları ise verinin varyansının farklı frekanslardaki değişiminin zamana bağlı değişimini içermektedir (Aguiar-Conraria vd. (2018)).

Çapraz-spektrum hesaplanmasının ardından lokal faz değerlerinin hesaplanması amacıyla her bir veriye ilişkin spektrum $W_x^m(s, \tau) \Re\{W_x^m(s, \tau)\} + i \Im\{W_x^m(s, \tau)\}$ formülü aracılığıyla gerçel ve sanal kısımlarına ayrıştırılır. Lokal faz fonksiyonu $\varphi_x(s, \tau) = \tan^{-1} \left\{ \Im W_x^m(s, \tau) / \Re\{W_x^m(s, \tau)\} \right\}$ olarak tanımlanır ve lokal faz değerleri arasındaki fark veriler arasındaki öncül-ardıl ilişkisine ait bilgi içermektedir. Olayeni (2016), lokal faz fark değerlerini ve Rua (2010, 2013) tarafından geliştirilen dalgacık korelasyon formülünü kullanılarak Granger nedensellik testi geliştirmiştir.

Rua (2010, 2013) Dalgacık Korelasyon formülü aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır:

$$\rho_{XY}(s, \tau) = \frac{\zeta \left\{ s^{-1} \Re \left(W_X^m(s, \tau) \right) \right\}}{\zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_X^m(s, \tau)|^2} \right\} \zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_Y^m(s, \tau)|^2} \right\}} \quad (17)$$

Burada $\zeta(\cdot) = \zeta_{scale}(\zeta_{time}(\cdot))$ olup ζ_{scale} ve ζ_{time} sırasıyla skala ve zaman ekseninde düzgünleştirme işlemcileridir. Dalgacık korelasyonu kospektrumun sadece gerçel kısmını kullanması nedeniyle zaman boyutunda tanımlanmış korelasyon katsayısına benzer şekilde -1 ve +1 arasında değerler alabilmektedir. Temel olarak dalgacık korelasyonu veriler arasındaki her bir zaman ve frekans noktasındaki eş zamanlı korelasyon katsayısı olarak ifade edilebilir (Rua 2010, 2013).

Dalgacık korelasyonu, diğer bir etkileşim ölçütü olan dalgacık bağdaşım katsayısından farklıdır. Dalgacık Bağdaşım Katsayısı aşağıdaki biçimde tanımlanabilir:

$$R_{XY}(s, \tau) = \frac{\zeta \left\{ s^{-1} W_{XY}^m(s, \tau) \right\}}{\zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_X^m(s, \tau)|^2} \right\} \zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_Y^m(s, \tau)|^2} \right\}} \quad (18)$$

Bağdaşım katsayısı, korelasyonun frekans boyutundaki tanımlanmış hali olarak düşünülebilmekle birlikte korelasyon katsayısına tam olarak karşılık gelememektedir. Bağdaşım katsayısı zaman boyutunda yapılan analizlerde kullanılan determinasyon katsayısının (coefficient of determination) frekans boyutunda tanımlanmış biçimidir. Bağdaşım katsayısı 0 ile 1 arasında yer almakta ve birlikte hareket etme şiddetini göstermek; ilişkinin yönü hakkında bilgi içermemektedir. Dolayısıyla bağdaşım katsayısı veri setlerindeki senkronizasyonuna dair bilgi sunmakta, korelasyon ilişkisine dair bir bilgi içermemektedir. Grinsted vd (2004), bağdaşım katsayısının korelasyon katsayısına "benzediğini"; zaman – frekans boyutunda tanımlanmış korelasyon ölçütü gibi "düşünmenin yararlı olduğunu" belirtmiştir. Sonuç olarak, veri setleri arasındaki korelasyon ilişkisinin zaman – frekans boyutunda incelenmesi amacıyla Rua (2010, 2013) tarafından geliştirilen dalgacık korelasyonu kullanılmalıdır. (Dinamik korelasyon ve Kohezyon bağdaşım hakkında detaylı bilgi için bkz: Rua ve Nunes (2012), Olayeni (2016), Aguiar-Conraria vd. (2008), Aguiar-Conraria vd. (2018)).

Dalgacık korelasyon ya da dalgacık bağdaşım katsayıları, nedensellik ilişkisi için gerekli olan ve ilişkinin yönüne ait bilgi içeren veri değişimlerini dikkate almakla birlikte veriler arasındaki öncül – ardıl ilişkiyi dikkate alamamaktadır. Öncül-ardıl ilişkiye ait bilgiyi faz-farkı içermektedir ve faz-farkı temel olarak iki zaman serisine ait dalgalanmaları arasındaki hareket gecikmelerine dair bilgi içeren ölçüt olarak tanımlanabilir.

Lokal faz farkı denklemleri aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$\phi_{XY}(s, \tau) = \phi_X(s, \tau) - \phi_Y(s, \tau) = \tan^{-1} \left\{ \Im W_X^m(s, \tau) \right\} / \Re \left\{ W_X^m(s, \tau) \right\} \quad (19)$$

Burada toplam faz aralığı, $-\pi \leq \phi_{XY}(s, \tau) \leq \pi$, dört alt aralığa bölünebilmekte ve her bir aralık nedensellik yönü ve öncül-ardıl ilişkiye ait bilgi barındırmaktadır. $\phi_{XY}(s, \tau) \in (0, \pi/2)$ ya da $\phi_{XY}(s, \tau) \in (-\pi/2, 0)$ aralıkları iki verinin faz içi hareket ettiğini, diğer bir deyişle iki serinin aynı yönde hareket ettiğini ifade etmektedir. Faz farkının $\phi_{XY}(s, \tau) \in (\pi/2, \pi)$ ya da $\phi_{XY}(s, \tau) \in (-\pi, -\pi/2)$ aralıklarında olması ise iki verinin faz-dışı hareket ettiğini yani verilerin ters yönde hareket ettiği anlamına gelmektedir.

Eğer faz farkı $\phi_{XY}(s, \tau) \in (-\pi/2, 0)$ ya da $\phi_{XY}(s, \tau) \in (\pi/2, \pi)$ aralıklarında yer alıyorsa bu durumda X'in öncül hareket ettiği; diğer bir ifadeyle X verisinin Y verisine ait kestirimci bilgi içerdiği ve dolayısıyla Y verisinin Granger nedeni olduğu anlamına gelmektedir. Buna karşın $\phi_{XY}(s, \tau) \in (0, \pi/2)$ ya da $\phi_{XY}(s, \tau) \in (-\pi, -\pi/2)$ aralıkları Y verisinin öncül hareket ettiği dolayısıyla X verisinin Granger nedeni olduğu anlamına gelmektedir. Dalgacık analizinde belirli bir frekans ve zaman noktasında Y'nin önsel hareket etmesi söz konusu frekans ve zaman noktasında Y verisinden X verisine doğru nedensellik

ilişkisi anlamına gelmektedir (Faz farkı ve gösterge fonksiyonu konusunda detaylı bilgi için bkz. Aguiar-Contraria vd. (2008) and Aguiar-Contraria vd. (2018)).

Yukarıda ifade edilen faz farkı ayrıştırılmasının gerçekleştirilebilmesi için Olayeni (2016) tarafından geliştirilen gösterge fonksiyonu kullanan nedensellik testi kullanılmalıdır. Sadece faz farkının tahmin edilmesi durumunda pozitif / negatif nedensellik ilişkisi birbirinden ayrıştırılmamakta sadece genel önsel / ardıl ilişki tahminlenebilmektedir. Sonuç olarak Olayeni (2016) yaklaşımı dalgacık korelasyonu ve gösterge fonksiyonu aracılığıyla nedensellik ilişkisini zaman serisi ekonometrisi testi olan Granger-nedensellik testine benzer biçimde negatif / pozitif olarak ayrıştırılmasını gerçekleştirmiştir.

Olayeni (2016) faz farkı gösterge fonksiyonunu tanımlayıp dalgacık korelasyon fonksiyonu ile birleştirerek sürekli dalgacık dönüşümünü temel alan Granger nedensellik testini (CWTC) geliştirmiştir. Böylece nedensellik içeren ve içermeyen değişimler ayrıştırılmıştır. Gösterge fonksiyonu, spesifik faz aralığında 1, diğer aralıklarda ise 0 değerini alan fonksiyondur. Böylelikle, dalgacık korelasyon fonksiyonunda araştırılmak istenen belirli nedensellik yönü ve öncül-ardıl ilişki için kısıtlama getirilerek test edilebilmektedir. Örneğin nedensellik ilişkisinin aynı yönlü (pozitif) ya da ters yönlü (negatif) olması dikkate alınmaksızın sadece Y verisinden X verisine nedensellik test edilmesi durumunda, Y verisinin öncül hareketine ilişkin bilgiyi test eden faz fark fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmalıdır:

$$I_{Y \rightarrow X}(s, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{if } \phi_{XY}(s, \tau) \in (0, \pi/2) \cup (-\pi, -\pi/2) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (20)$$

Benzer şekilde Y verisinin aynı yönde (pozitif) önsel hareket ettiği nedensellik için aşağıdaki gösterge fonksiyonu kullanılmaktadır:

$$I_{Y \rightarrow X}(s, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{if } \phi_{XY}(s, \tau) \in (0, \pi/2) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (21)$$

Böylelikle yukarıda ifade edilen gösterge fonksiyonu kullanılarak Y verisinden X verisine pozitif Granger nedenselliğe yol açan bilgi akışını inceleyen CWTC testi aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$G_{Y \rightarrow X}(s, \tau) = \frac{\zeta \left\{ s^{-1} \Re \left(W_X^m(s, \tau) I_{Y \rightarrow X}(s, \tau) \right) \right\}}{\zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_X^m(s, \tau)|^2} \right\} \zeta \left\{ s^{-1} \sqrt{|W_Y^m(s, \tau)|^2} \right\}} \quad (22)$$

Denklem (20), Dhamala vd. (2018a,b) nedensellik testinin Wilson algoritması yerine dalgacık korelasyonu ile faz farkı gösterge fonksiyonu kullanılarak Olayeni (2016) tarafından geliştirilmiş halidir. Katsayılarla ilişkin anlamlılık testi, vekil veri test süreci ile gerçekleştirilmektedir. Vekil veri sürecinin ilk aşamasında test edilmek istenilen veriler ARMA(1,1) modeli aracılığıyla modellenerek verilere ilişkin hata terimleri elde edilmektedir. İkinci aşamada ise tahminlenmiş hata terimi varyansına sahip normal dağılan hata serileri türetilip kullanılarak yeni veri seti örneklemi oluşturulmaktadır. Yukarıdaki Monte Carlo süreci kullanılarak kritik değerler elde edilmektedir (Anlamlılık test sürecinin teknik detayları için bkz. Torrence ve Compo (1998), Grinsted vd. (2004), Aguiar-Contraria vd. (2018)). CWT dönüşümü, çok düşük frekanstaki dalgalanmaların incelenen verinin başlangıç ve bitiş noktalarında dalgalanmalar tamamlanmadan kesilmesi nedeniyle düşük frekanslı dalgalanmalar verinin sınır noktalarında kesin sonuç vermeyebilmektedir. Bu etki sınır etkisi olarak adlandırılmaktadır. Sınır etkisinin meydana gelerek dalgalanmaları etkileyebilme olasılığı olan bölgeye *etki konisi* (cone of influence - COI) olarak adlandırılmaktadır. COI, başlangıç ve bitiş bölgelerinde dalgacık spektrum enerjisinin azalarak enerji değerinin e^{-2} katı seviyesine indiği sınır bölgeleri ifade etmektedir (Torrence ve Compo (1998)). Üç boyutlu CWTC nedensellik haritasında COI dışında kalan alan yorumlanırken dikkatli olunmalıdır; COI dışında kalan ani

nedensellik değişimleri sınır etkisi nedeniyle meydana gelmiş olabilir. COI sınırları içinde başlayan bir nedensellik testinin COI sınırından sonra devam etmesi durumunda söz konusu nedensellik örüntüsünün sınır etkisinden etkilenmediği sonucuna varılabilir.

CWTC'nin diğer testlere göre önemli avantajları bulunmaktadır:

- Öncelikle fourier dönüşümü yerine sürekli dalgacık dönüşümünü kullanması nedeniyle nedensellik ilişkisindeki frekans boyutunun yanında zaman boyutunda görülen değişimlerin analizini mümkün kılmaktadır.
- Ayrıca Wilson dönüşümü kullanma gerekliliğini ortadan kaldırarak tahminleme sürecindeki yakınsama zorunluluğunu ortadan kaldırmıştır; böylelikle tahminleme süreci daha etkin hale getirilmiş ve frekans-zaman-nedensellik boyutlarının birlikte üç boyutlu analizi mümkün kılınmıştır.
- CWTC testinin parametrik olmaması nedeniyle otoregresif modelleme sürecindeki gecikme değerinin hesaplanması zorunluluğu da ortadan kalkmıştır. Böylece uzun süreli dalgalanmalar içeren veya uzun hafızaya sahip verilerin analizinde kritik öneme sahip gecikme sayısının yanlış belirlenmesi durumunda ortaya çıkabilecek sahte nedensellik ilişkisi ortadan kaldırılmıştır. Bu özelliklere sahip verilerdeki süregelen yüksek korelasyon yapısının modellenmesi için fazla gecikme sayısına ihtiyaç duyulabilmekte ve gecikme değerindeki yanlışlık otoregresif model hatalarını değiştirerek nedensellik ilişkisini gerçekte olduğundan farklı hale getirebilmektedir. Sonuç olarak CWTC, nedensellik ilişkisinin zaman, frekans ve şiddet değişimlerinin analizini parametrik olmayan tahminleme süreci aracılığıyla mümkün kılarak geleneksel nedensellik testine oranla nedensellik ilişkisini zaman - frekans boyutlarında daha detaylı inceleyebilmektedir. (CWTC testine ilişkin detaylı teknik bilgi için bakınız Olayeni (2016)).

CWTC nedensellik ve korelasyon haritalarını NWGC testinin sahip olduğu hesaplama sorunlarına yakalanmadan üç boyutlu olarak tahmin edilmesine olanak sağlayarak daha zengin bilgi içerecek şekilde tahmin edebilmektedir. Sürekli dalgacık dönüşümü (CWT), normal dağılım varsayımına bağlı kalmadan bağımsız yerel düzensiz dalgalanmaların (localized intermittent oscillations) analizinde etkin analiz yapılmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca veriler arasındaki ilişkideki değişimlerin frekans boyutunda analiz edilmesini de mümkün kılmaktadır. Kesikli dalgacık dönüşümleri (DWT) belirlenmiş frekans aralığına verileri bileşenlerine ayırabilirken CWT verinin içerdiği tüm frekans örüntüsünü tespit edebilmektedir (Crowley ve Mayes (2009)). Bu nedenle CWT temel alan CWTC ve korelasyon testleri birbiriyle ilişkili olduğu düşünülen veri setlerinin birbirleriyle olan ilişkisinin analizi için DWT dönüşümünden daha etkin sonuç vermekte ve zaman skalasındaki değişimleri daha etkin belirlemektedir (Grinsted vd. (2004), Rhif vd. (2019)). DWT dönüşümünden elde edilen spektrumların anlaşılması zor olmakta ve analizlerin CWT ile yapılması hem hesaplamaları daha kolay hem de anlaşılır hale getirmektedir (Aguiar-Conraria vd. (2008)). Geweke (1982) nedensellik testi gibi sadece frekans boyutunda nedensellik analizi yapan diğer spektral testler ise zaman boyutunu ihmal ederek zaman boyutunda statik analiz gerçekleştirmektedir. DWT kullanan testler ise veriyi sadece bileşenlerine ayırmakta ve tıpkı Geweke (1982) nedensellik testinde olduğu gibi nedensellik örüntüsünün zamana bağlı değişimini ihmal etmektedir. CWTC, gösterge fonksiyonu kullanması sebebiyle nedensellik ilişkisinin pozitif ve negatif olarak ayrılmasına imkân vermesi ve Wilson algoritmasının yakınsama problemini ortadan kaldırarak daha etkin hesaplanma yapılmasına olanak sağlaması bakımından NWGC testinden daha üstündür. Literatürde bağdaşım katsayılarının öncül ardıl ilişki analizi için kullanıldığı görülmektedir. Andries vd. (2004), Andries vd. (2017), Tiwari vd. (2013), Albuiescu vd. (2015), Albuiescu vd. (2017)). Belirleme katsayısının (coefficient of determination) frekans boyutundaki hali olarak tanımlanabilen bağdaşım katsayısı birlikte hareket etme eğiliminin şiddetini göstermekte olup eğilimin yönünün gösterememektedir (Dinamik

korelasyon ve Kohezyon hakkında detaylı bilgi için bkz: Rua (2010, 2013), Rua ve Nunes (2012), Olayeni (2016), Aguiar-Conraria vd. (2008), Aguiar-Conraria vd. (2018). CWTC ise nedensellik doğrudan hem frekans hem de zaman boyutunda aynı anda analiz edilmesini sağlarken nedensellik ilişkisinin yönünün de tespitini mümkün hale getirmiştir (Olayeni (2016)).

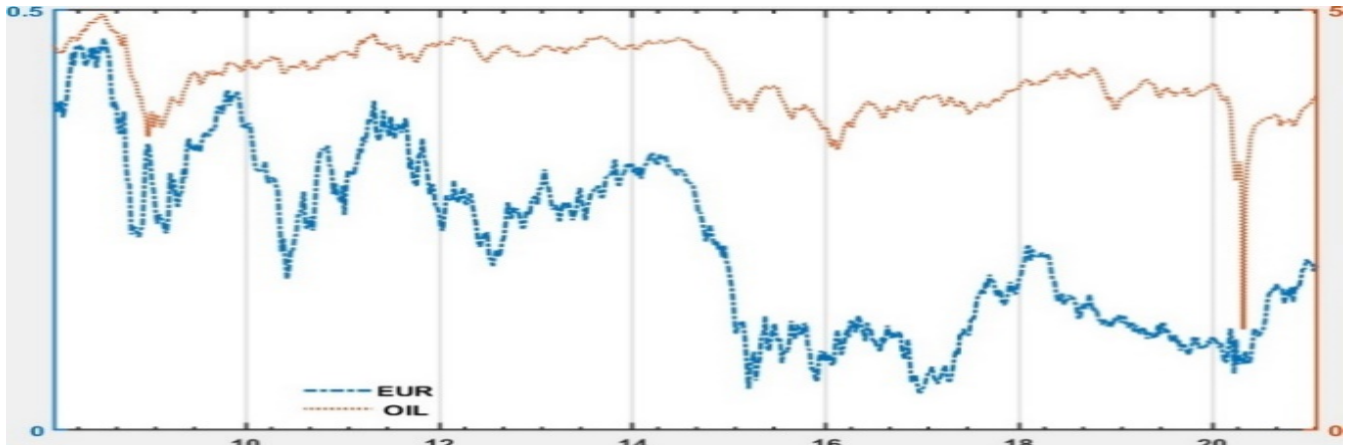
CWTC haricinde son 30 yılda bazı gelişmiş nedensellik testleri de geliştirilmiştir. Eichler (2007) frekans boyutunda hesaplanan spektral dağılım matrisini kullanan grafiksel bir yaklaşım geliştirmiştir; ancak test verilerin durağan olması varsayımına dayanmaktadır. Benzer şekilde Diks ve Panchenko (2006) tarafından geliştirilen parametrik olmayan nedensellik testi de durağanlık varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca test, vektör otoregresif (VAR) model kullanılarak elde edilen hata terimlerini kullanmakta olup veri dinamiklerini yansıtan doğru VAR modelinin kurulamaması durumunda doğru nedensellik test sonucuna ulaşamayabilir. Breitung ve Candelon (2006) eşbütünleşik sistemlerde kullanılabilecek nedensellik testi geliştirmişlerdir. Parametrik VAR modeli kullanılarak uygulanabilecek söz konusu testte dalgacık analizi kullanılarak sadece uzun dönemli nedensellik tek bir frekans için tespit edilebilmektedir. Hong vd. (2009), veri setlerinde meydana gelen şiddetli değişimler arasındaki ilişkiyi tespit edebilen nedensellik testi geliştirmiştir. Kernel fonksiyonları aracılığıyla çarpaz spektrum (cross-spectrum) hesaplandığı test koşullu otoregresif riske maruz değer (CAViaR) benzeri parametrik modellere ihtiyaç duymakta ve sadece aşağı yönlü büyük risk değişimlerinin etkileşimini test edebilmektedir.

Dalgacık değişiminin veri filtrelemesi için kullanıldığı çalışmalar son yıllarda oldukça artmıştır. Nedensellik testlerini konu alan çalışmalarda, veri önce dalgacık dönüşümü aracılığıyla bileşenlerine ayrılmakta sonrasında ise nedensellik testleri uygulanmaktadır (Örn: Kim and In (2003), Almasri and Shukur (2003), In and Kim, (2006), Mitra (2006), Durai and Bhaduri (2009), Chou and Chen (2011), Benhmad (2012), Mannson (2012), Bekiros ve Marcellino (2013), Polanco-Martinez ve Abadie (2016)). Bu çalışmalar yukarıda belirtilen DWT, bağdaşım ve kullanılan diğer testlerin dezavantajlarından etkilenmekte ve parametrik olmaktadır. Ayrıca NWGC yaklaşımının tamamen parametrik olmaması ve yukarıda bahsedilen tüm avantajları nedeniyle bu çalışmada CWTC testinin kullanılmasına karar verilmiştir.

4. VERİ

Analizde kullanılan veri seti, Haftalık Petrol (OIL) ve Avro/Dolar kurunu (EUR) içermektedir. Her bir zaman serisinin uzunluğu 683 gözlemden oluşmaktadır. 2008 krizi sonrasındaki nedensellik örüntüsünün araştırılması hedeflendiği için değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Ocak 2008 – Aralık 2021 dönemi için incelenmiştir. www.investing.com internet sitesinden edinilen logaritmik haftalık verilerin grafiği aşağıda yer almaktadır.

Şekil 1. Ocak 2008 – Aralık 2020 Dönemi İçin Haftalık Logaritmik Petrol (OIL) ve Avro/Dolar Döviz Kuru (EUR) Serileri



Veri serilerine ait grafik incelendiğinde 2014 – 2015 dönemindeki düşüş dikkat çekicidir. Söz konusu dönemin öncesi ve sonrasında veri ortalamasında düşüş gözlenmektedir. Dolayısıyla bu dönemdeki değişim yapısal bir kırılma olarak yorumlanabilir ve küresel ölçekte bir etki oluşumuna katkıda bulunmuş olabilir. Söz konusu dönem incelendiğinde 2014 yılında petrol fiyatlarındaki keskin düşüş şeklinde gösteren petrol şoku meydana gelmiştir. 2014 yılında OPEC+ ülkeleri üretimi artırması da petrol fiyatlarını aşağı çekmiştir. Ayrıca söz konusu yılda Küresel finansal piyasalarda petrol fiyatları üzerinde gerçekleşen spekülasyon nitelikli baskı da fiyat düşüşünün etkenleri arasında sayılabilir. Aynı dönemde kurdaki düşüş daha sert gerçekleşmiştir. 2015 Ekim ayında FED (Amerikan Merkez Bankası) 2008 yılından sonra ilk kez faiz artırmaya başlamıştır. Bu dönemde faiz artırımını ABD ekonomisine sermaye girişi meydana gelerek doları güçlendirirken avroyu zayıflatmıştır.

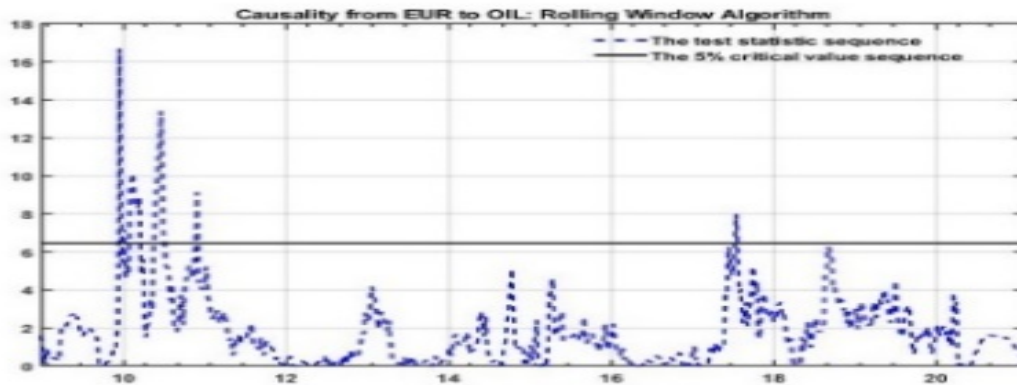
5. AMPİRİK SONUÇLAR

A) SHP Testi – Eur Serisinden Oil Serisine Nedensellik Sonuçları

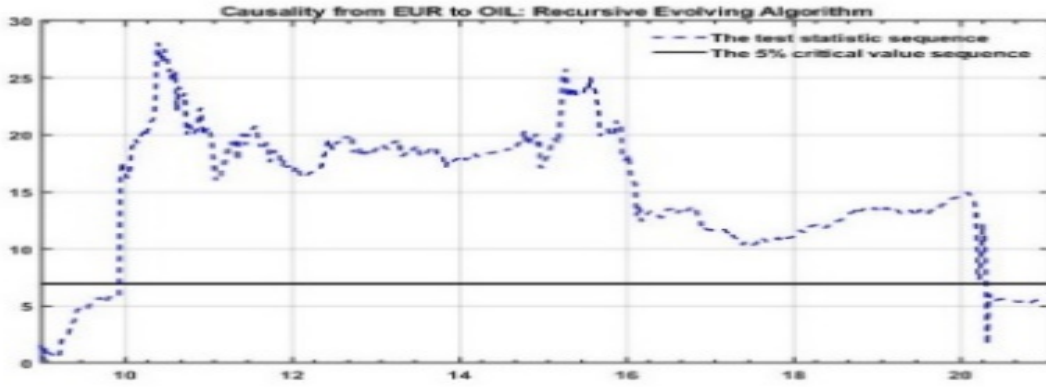
Şekil 2. EUR Serisinden OIL Serisine SHP Algoritmaları Kullanılarak Elde Edilen Nedensellik Sonuçları



Panel (a). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: FRA (Forward Recursive Algorithm)



Panel (b). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: RWA (Rolling Window Algorithm)



Panel (c). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: REA (Recursive Evolving Algorithm)

Not: Siyah yatay doğru %5 anlamlılık seviyesinde 1000 tekrar kullanılarak elde edilen bootstrapped kritik değerleri göstermektedir.

Şekil 2. Panel (a), (b) ve (c); EUR serisinden OIL serilerine doğru sırasıyla ileri-özyinelemeli algoritma (Forward Recursive Algorithm) (FRA), kayar-pencereli algoritma (Rolling Window Algorithm) (RWA) ve özyinelemeli-gelişen algoritma (Recursive Evolving Algorithm) (REA) kullanılarak elde edilen nedensellik test sonuçlarını göstermektedir. Panellerde yer alan yatay doğru istatistiksel olarak % 5 Anlamlılık sınır doğrusunu göstermekte olup sınır doğrusunu geçen nedensellik ilişki katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır. SHP test algoritmalarının grafikleri incelendiğinde EUR den OIL e nedensellik ilişkisi: a) FRA algoritmasına göre 2010-2020 yıllarında; b) RWA algoritmasına göre sadece 2011 ve 2017 yıllarında; c) REA Algoritmasına göre ise 2010 – 2020 döneminde nedensellik tespit edilmiştir. Dolayısıyla SHP algoritmalarının genel olarak 2010-2020 döneminde EUR'den OIL'e nedensellik ilişkisine dair kanıt tespit ettikleri söylenebilir.

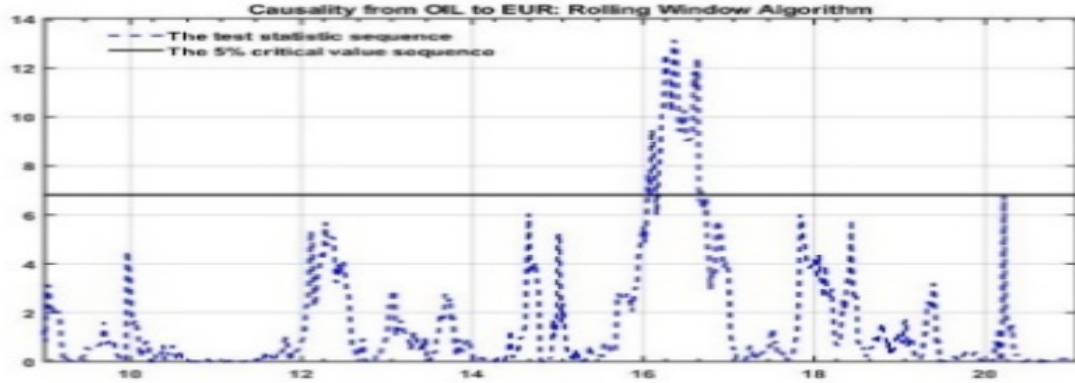
Yukarıdaki 3 panel incelendiğinde panel 1 ve 2'de 2010 başında nedensellik oluşmaya başlamıştır. Dolayısıyla panel 2'de 2010 başında da görülen nedensellik dikkate alındığında, 2008 yılındaki küresel finansal krizin süregelen etkisi olarak yorumlanabilir. 2008 krizi nedeniyle avro güçlenmiş; dolay zayıflamıştır. Paritenin dolar aleyhine etkilenmesi ve krizin küresel bir hal alması nedeniyle kriz küresel ticaret ve büyümeyi etkileyerek petrol talebinin azalmasına yol açmıştır. Söz konusu ilişki örüntüsü nedensellik ilişkisini etkileyen temel etken olabilir. Nedensellik örüntüsündeki ani değişimin meydana geldiği 2021 yılında ise yine küresel bir kriz niteliği kazanan COVID-19 pandemisi temel neden olarak düşünülebilir

B) Shp Testi – Oil Serisinden Eur Serisine Nedensellik Sonuçları

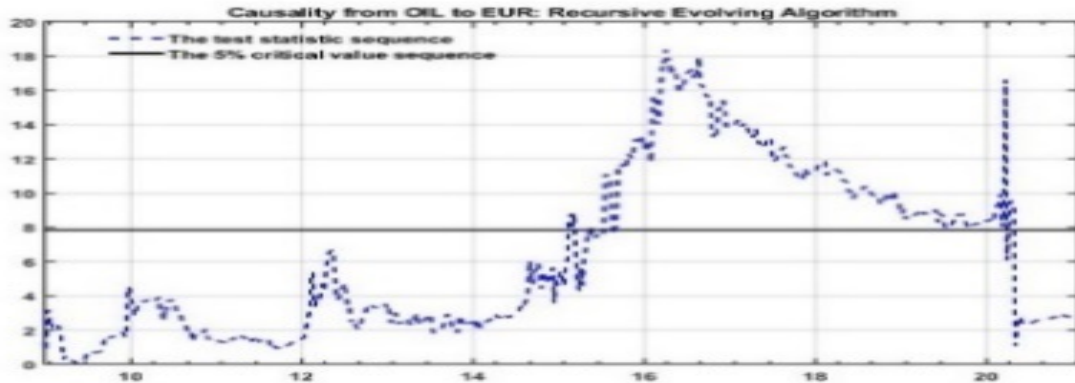
Şekil 3. OIL Serisinden EUR Serisine SHP Algoritmaları Kullanılarak Elde Edilen Nedensellik Sonuçları



Panel (a). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: FRA



Panel (b). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: RWA



Panel (c). EUR Serisinden OIL serisine doğru nedensellik: REA

Not: Siyah yatay doğru %5 anlamlılık seviyesinde 1000 tekrar kullanılarak elde edilen bootstrapped kritik değerleri göstermektedir.

Şekil 3. Panel (a), (b) ve (c); OIL serisinden EUR serilerine doğru sırasıyla sırasıyla ileri-özyinelemeli algoritma (Forward Recursive Algorithm) (FRA), kayar-pencereli algoritma (Rolling Window Algorithm) (RWA) ve özyinelemeli-gelişen algoritma (Recursive Evolving Algorithm) (REA) kullanılarak elde edilen nedensellik test sonuçlarını göstermektedir. Panellerde yer alan yatay doğru istatistiksel olarak % 5 Anlamlılık sınır doğrusunu göstermekte olup sınır doğrusunu geçen nedensellik ilişki katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır.

SHP test algoritmalarının grafikleri incelendiğinde OIL'den EUR'e nedensellik ilişkisi: a) FRA algoritmasına göre nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir; b) RWA algoritmasına göre sadece 2016 (2017) yıllarında; c) REA Algoritmasına göre ise 2015 – 2020 döneminde nedensellik tespit edilmiştir. Dolayısıyla SHP algoritmalarının genel olarak 2015-2020 döneminde OIL'den EUR'e nedensellik ilişkisine dair kanıt tespit ettikleri söylenebilir.

2016 ve sonrasındaki ekonomik sistemi etkileyen faktörler incelendiğinde; 2014 yılındaki petrol fiyatlarındaki düşüşün meydana getirdiği etkinin derinleşmesi ana neden olarak görülebilir. Dolayısıyla 2014 yılındaki petrol şokunun zamana dayalı gecikme etkisi nedensellikte etkin rol oynamış olabilir. Unutulmalıdır ki petrol ve dolar kuru küresel finansal enstrümandır. Dolayısıyla 2016 yılı ve sonrasında Ortadoğu'da meydana gelen jeopolitik risklerin petrol fiyatlarını ve sonrasında kuru etkilemesi de söz konusu nedensellik ilişkisinin meydana gelmesinde diğer önemli bir faktör olarak görülebilir.

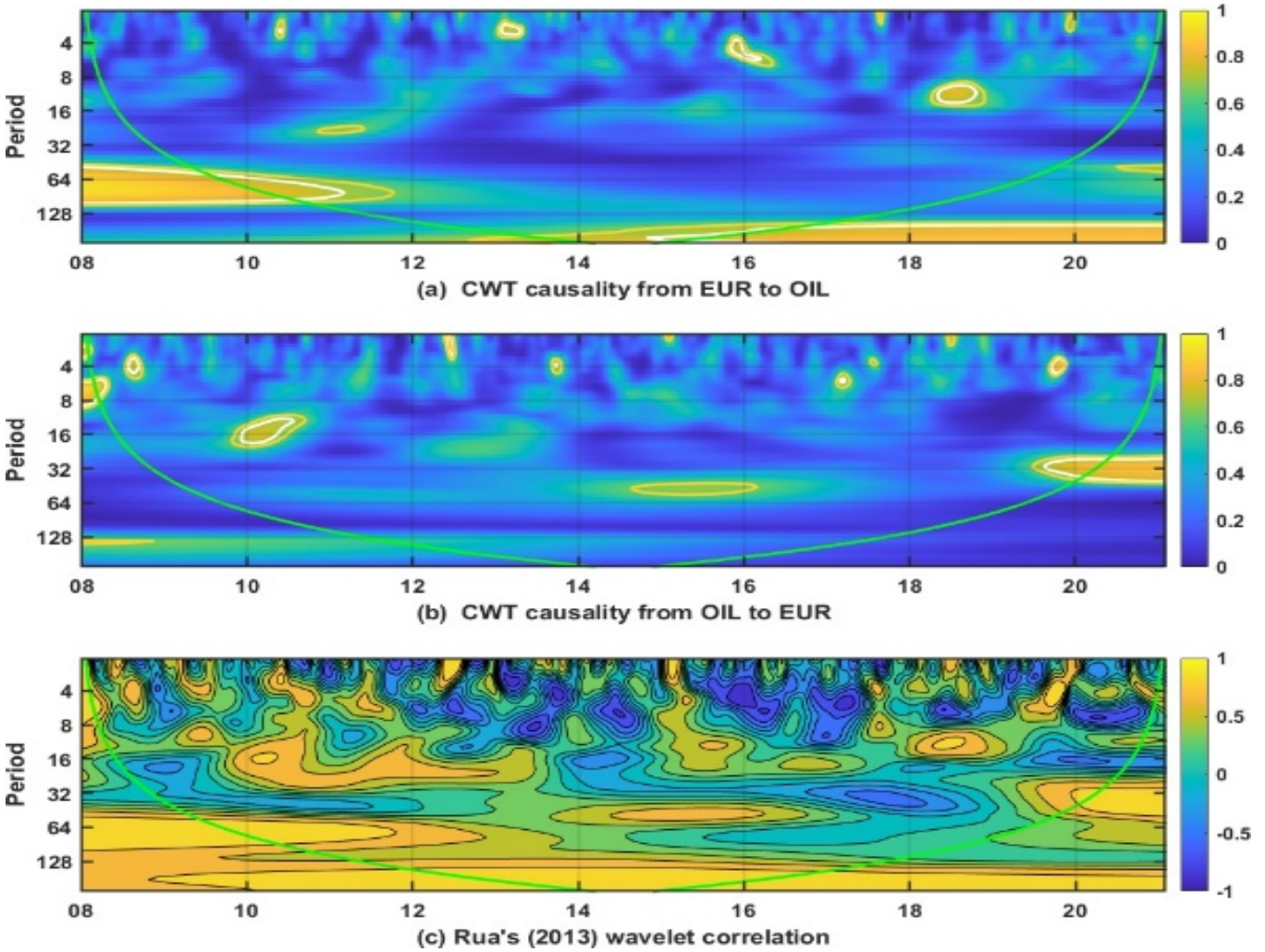
Özetlemek gerekirse, 2010 – 2015 döneminde EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik, 2015 – 2020 döneminde ise çift yönlü nedensellik örüntüsüne dair kanıt elde edilmiştir.

C) CWTC Testi

Çalışmada, CWTC testinde 52 haftadan daha kısa süreli periyoda sahip dalgalanmalar arasındaki nedensellik kısa dönemli nedensellik; 52 haftadan daha uzun süreli dalgalanmalar arasındaki nedensellik ise uzun dönemli nedensellik olarak adlandırılmıştır.

Genel CWTC test sonuçları incelendiğinde:

Şekil 4. CWTC Nedensellik ve Wavelet Korelasyon Test Sonuçları



Şekil 4. Panel (a) EUR serisinden OIL serisine CWTC nedensellik örüntülerini içermektedir. EUR'den OIL'e kısa dönemde: 2010, 2011, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019 nedensellik ilişkisine dair kanıt bulunmuştur. uzun dönemde ise incelenen tüm dönem boyunca nedensellik ilişkisine dair kanıt bulunmuştur.

2013 Mayıs ayında FED varlık alımının azaltılacağını duyurmuştur (FED tapering) Dolar likiditesinin azalacağını duyurulması söz konusu yılda meydana gelen kısa dönemli etkinin temel nedeni olarak söylenebilir. 2016- 2017 yılındaki nedensellik ise 2015 yılı sonundaki ilk faiz artışının kısa vadeli şok meydana getirerek nedensellik örüntüsüne neden olması sebebiyle oluşmuş olabilir. 2018 yılında ise Avrupa'da süregelen borçlanma krizinin kısa dönemli nedenselliğe etkisi olabilir.

Uzun dönemli nedensellik incelendiğinde 2008 Büyük Resesyon'un ABD ekonomisinden dünya ekonomisine yayılan uzun dönemli etkisi görülebilmektedir. 2014 yılından sonra artan jeopolitik

riskler, petrol ve kur üzerinde oluşan baskı , Euro Bölgesi kamu borç krizi ve FED faiz artırımının uzun dönemli nedensellik üzerinde etkisi 2014 – 2021 yılında meydana gelen nedensellik örüntüsünün nedenlerinden sayılabilir.

Şekil 4. Panel (b) OIL serisinden EUR serisine CWTC nedensellik örüntülerini içermektedir. OIL'den EUR'e kısa dönemde: 2008,2010, 2012(çok zayıf), 2013(çok zayıf), 2015 – 2016, 2017(çok zayıf), 2018(çok zayıf), 2019 – 2021 dönemlerinde nedensellik ilişkisine dair kanıt bulunmuştur. Uzun dönemde ise Nedensellik ilişkisine dair kanıt bulunamamıştır.

2008 – 2010 yılı incelendiğinde 2008 küresel krizin kısa ve orta vadede etkisinin görüldüğü ifade edilebilir. Kısa ve orta vadede petrol fiyatının tepkisi nedeniyle nedensellik örüntüsü oluşmuş olabilir. ABD ekonomisinde meydana gelen kriz küresel bir hal alarak küresel petrol talebini düşürmüş; talep düşüşü ise kurları etkilemiştir. 2020 -2021 dönemi incelendiğinde ise söz konusu dönemdeki nedensellik örüntüsü COVID-19 pandemisinin küresel etkisi nedeniyle meydana gelmiş olabilir.

Şekil 4. panel (c) EUR ve OIL serisi arasındaki dalgacık korelasyon örüntüsünü göstermektedir. CWTC nedensellik örüntülerini içermektedir. Korelasyon haritası da nedensellik örüntüsü ile paralellik göstermektedir. 2008 – 2012 döneminde küresel krizin etkisi, 2010 yılı Euro bölgesi kamu borç krizi, 2014 petrol şoku ve 2020 COVID-19 etkisi ile küresel ekonomide meydana gelen değişimler söz konusu enstrümanlarda birlikte hareket etme eğilimi meydana getirmiş olabilir.

Özetlemek gerekirse, EUR ve OIL arasında kısa dönemde incelenen süreli meydana gelen çift yönlü nedensellik ilişkisi örüntüsünden bahsedilebilir. Uzun dönemde ise EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik ilişkisine dair kanıt elde edilmiştir.

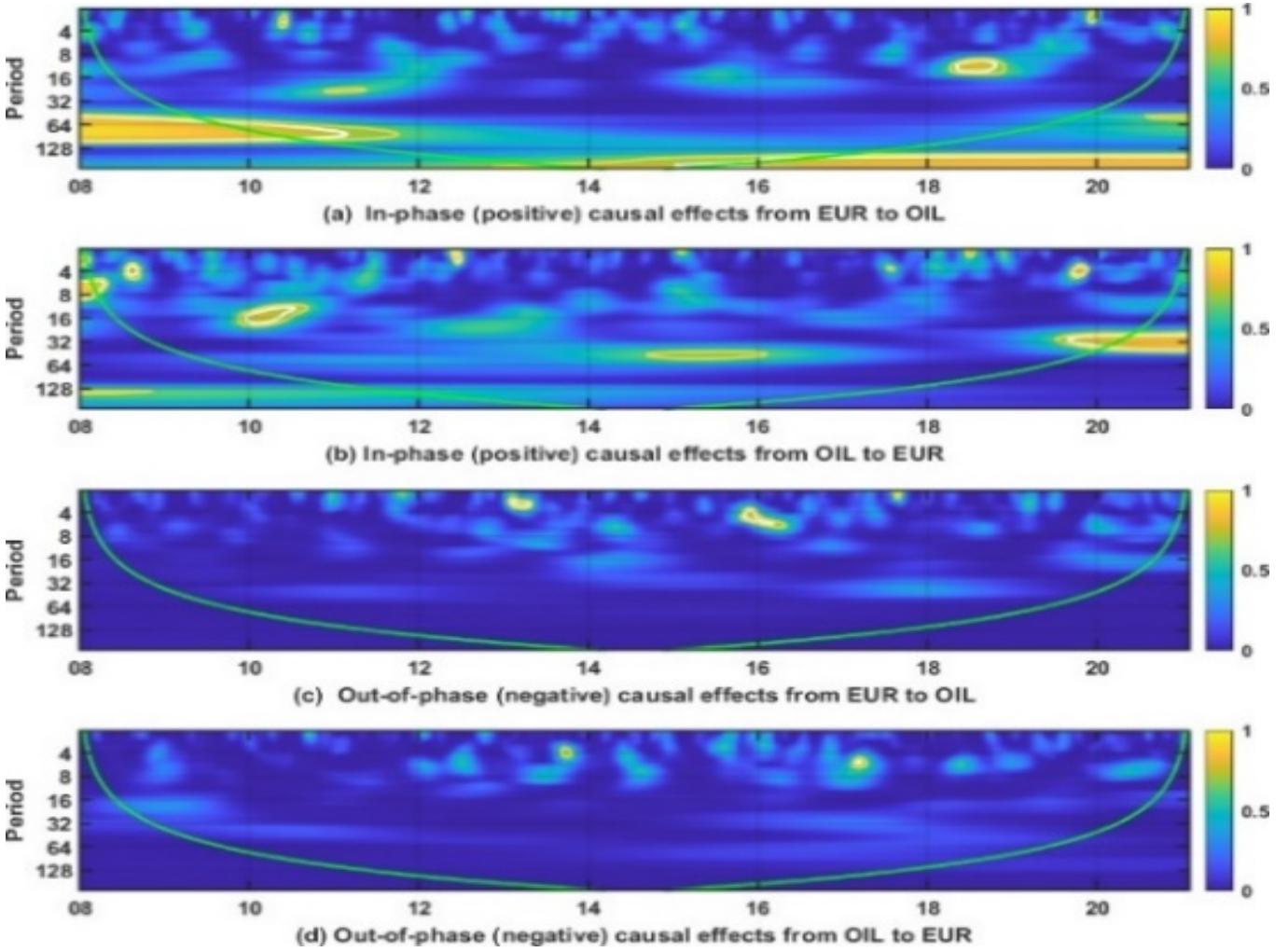
Çok zayıf nedensellik ilişkileri göz ardı edilerek iki test genel olarak karşılaştırıldığında ise SHP ve CWTC testleri EUR'den OIL'e nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. OIL'den EUR'e nedensellik sonuçları karşılaştırıldığında, her iki test de 2015 yılı ve sonrasında dair nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. CWTC ek olarak 2008 – 2010 döneminde de nedensellik tespit etmiştir. FRA algoritmasına benzer olarak CWTC testi de EUR'den OIL'e uzun dönemli nedensellik tespit edememiştir.

SHP ve CWTC testlerini nedensellik ilişkisi ve kısa/uzun dönemli olması açısından ortak noktalarını özetlemek gerekirse;

EURden OIL e nedensellik ilişkisi incelendiğinde FRA ve REA algoritmaları, CWTC testinin Uzun ve Kısa dönemli sonuçlarıyla 2010 – 2020 dönemi için benzer nedensellik dönemleri gözlenmiştir. RWA algoritması, CWTC testinin ve Kısa dönemli sonuçlarıyla benzer nedensellik dönemleri gözlenmiştir ve 2010 – 2017 için kısa süreli nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna varılabilir. OIL'den EUR'e nedensellik ilişkisi incelendiğinde ise FRA algoritması (SHP: İlişki yok), CWTC testinin Uzun dönemli sonuçlarıyla benzer dönemleri görülmektedir. RWA algoritması (SHP: 2016 dönemi) ve REA algoritması (2015 – 2020 dönemi), CWTC testinine Kısa dönemli sonuçlarıyla (söz konusu yıllardaki kısa süreli nedensellik dönemleri) benzer sonuçlar içermektedir.

CWTC Testi nedensellik ilişkisinin yönünün yanında pozitif ya da negatif olacağına dair bilgiler de içermektedir. Şekil 5, panel (a), (b), (c) ve (d) Pozitif/negatif yönlerine ayrılmış CWTC nedensellik test sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 5. Pozitif/Negatif Yönlerine Ayrılmış CWTC Nedensellik Test Sonuçları



Yukarıda nedensellik dönemlerinin büyük kısmında nedensellik ilişkisi pozitif olarak tespit edilmiştir. İstisnai olarak sadece 2013 ve 2016-2017 yıllarında görülen kısa süre için etkili olan kısa dönemli nedensellik ilişkisi negatif olarak ortaya çıkmıştır.

EUR/USD paritesinden petrol fiyatına doğru nedensellik pozitif niteliklidir. 2008 krizinde avro yükselirken dolar değer kaybetmiştir; tersine 2010 yılında ise dolar güçlenmiş; avro zayıflamıştır. Söz konusu krizler, ABD ve AB ekonomilerinin dünyanın en büyük ekonomileri olmaları sebebiyle küresel bir hal alarak küresel enstrümanları etkilemiştir. Dolayısıyla 2008 krizinin doları zayıflatması, 2010 krizinin avroda düşüşe neden olması neticesinde parite volatilitesi artmıştır. 2014 yılındaki petrol şoku, 2015 FED faiz artırımı, 2020 COVID-19 pandemisine uzanan sürecin yine uzun vadeli nedenselliği pozitif yönde artırıcı etkisi görülmektedir.

Petrolde EUR/USD paritesine nedensellik ilişkisinde de pozitif nedensellik ilişkisi kısa vadeli ve 2008 yılında görülmektedir. Söz konusu kısa dönemli etki 2008 yılındaki krizin küresel hal alacağına ve petrol fiyatlarını etkileyeceğine dair beklentilerin oluşması nedeniyle kısa dönemli etkisi olabilir. 2011 yılından itibaren Ortadoğu'da artan jeopolitik risk beklentisini kısa vadeli etkisi olabilir. 2014 - 2015 yılında meydana gelen petrol şoku ve 2020 yılında COVID-19 nedeniyle küresel çapta meydana gelen küresel kapanma sürecinin küresel büyümeyi ve ticareti daraltacağı beklentisi nedensellik örüntüsünü etkileyen temel faktörler olarak düşünülebilir.

6. SONUÇ

Günümüzde yaşanan küresel entegrasyon sürecinde; finansal piyasalar için emtia fiyatları ve döviz kurları arasındaki nedensellik örüntüleri önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Petrol fiyatlarında ortaya çıkan ani ve sürekli hareketler ekonomik büyüme ve kalkınma noktasında ülkeleri doğrudan doğruya etkilemektedir. 2008 küresel krizine kadar olan dönemde özellikle petrol fiyatlarında meydana gelen yükselmeler petrole olan talebi artırmış, söz konusu hareketler ekonomik büyüme ve kalkınma ile sonuçlanmıştır. Ancak enerji alanında önemli oranda dışa bağımlı olan Avrupa ekonomilerinde 2010-2014 döneminde görülen ekonomik performans düşüşü petrole olan talebi düşürmüş ve petrol fiyatları da düşmeye başlamıştır.

Buna ek olarak rezerv para nitelikleri nedeniyle EUR/USD paritesi de ekonomik büyüme ve kalkınmanın temelinde petrol fiyatlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Çünkü petrol ihracatçısı ülkelerden petrol ithalatçısı ülkelere doğru ortaya çıkan likidite hareketleri döviz kurlarının oluşmasında önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

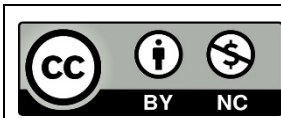
Bu çalışmada 2008 krizi, COVID-19 pandemisi, petrol şoku benzeri küresel ve bölgesel şoklar neticesinde Avro kuru ve Petro fiyatları arasında zamana bağlı nedensellik örüntüsüne dair kanıtlar bulunmuştur. Çalışma sonucunda, 2010 – 2015 döneminde EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik, 2015 – 2020 döneminde ise çift yönlü nedensellik örüntüsüne dair kanıtlar elde edilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre EUR ve OIL arasında kısa dönemde incelenen kısa süreli meydana gelen çift yönlü nedensellik ilişkisi ve örüntüsünden bahsedilebilir. Uzun dönemde ise EUR'den OIL'e tek yönlü nedensellik ilişkisine dair bulgular sağlanmıştır. Petrol fiyatları ve Avro döviz kuru arasındaki zamana dayalı nedensellik etkisinin zamana ve zaman skalasına göre değişiminin ortaya çıkarılması ve söz konusu değişimlerin olduğu dönemlerde meydana gelen küresel ve yerel olayların ortaya konulmasının amaçlandığı bu çalışma petrol fiyatı ve döviz kurları arasındaki ilişkinin niteliğine dair ampirik sonuçlar sunması açısından literatürde önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Başka bir ifadeyle bu çalışma ile petrol fiyatlarının ve EUR/USD paritesinin çift yönlü olarak birbirleri üzerinde etkili olduğu ampirik olarak kanıtlanmıştır. Petrol fiyatlarında yaşanan spekülasyon oynaklıklarının döviz kuru gibi çeşitli kanallarla ekonominin tüm alt sektörlerini etkilediği düşünüldüğünde çalışmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aguiar-Conraria vd. (2008). Aguiar-Conraria vd. (2008)= Aguiar-Conraria, L., Azevedo, N., Soares, M. J.(2008). Using wavelets to decompose the time–frequency effects of monetary policy, *Physica A*, 387, 2863–2878
- Aguiar-Conraria vd. (2018). Aguiar-Conraria vd. (2018) = Aguiar-Conraria, L., Soares, M. J., Sousa, R. (2018). California’s carbon market and energy prices: a wavelet analysis. *Phil. Trans. R. Soc. A* 376: 20170256
- Albulescu vd. (2015). Albulescu vd. (2015)= Albulescu, C. T., Goyeau, D., & Tiwari, A. (2015). Contagion and dynamic correlation of the main European stock index futures markets: a time-frequency approach.
- Albulescu vd. (2017). Albulescu, C. T., Goyeau, D., & Tiwari, A. K. (2017). Co-movements and contagion between international stock index futures markets. *Empirical Economics*, 52(4), 1529-1568.
- Almasri and Shukur (2003). Almasri, A., Shukur, G., 2003. An illustration of the causality relationship between government spending and revenue using wavelets analysis on Finnish data. *Journal of Applied Statistics* 30 (5), 571–584.
- Altarturi vd. (2018). Altarturi, B., H., M., Alshammuri, A., A., Hussin, T., M., T., I., T., Saiti, B., (2016), *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6,3, 421- 430
- Andries vd. (2004). Andrieş, A. M., Ihnatov, I., & Tiwari, A. K. (2014). Analyzing time–frequency relationship between interest rate, stock price and exchange rate through continuous wavelet. *Economic Modelling*, 41, 227-238.
- Andries vd. (2017). Andrieş, A. M., Căpraru, B., Ihnatov, I., & Tiwari, A. K. (2017). The relationship between exchange rates and interest rates in a small open emerging economy: The case of Romania. *Economic Modelling*, 67, 261-274.
- Bekiros ve Marcellino (2013). Bekiros S. D., Diks, C., G., H., 2008, The relationship between crude oil spot and futures prices: Cointegration, linear and nonlinear causality, *Energy Economics*, 30, 2673–2685
- Benhmad (2012). Benhmad, F., (2012). Modeling nonlinear Granger causality between the oil price and U.S. dollar: A wavelet based approach, *Economic Modelling*, 29, 1505–1514
- Breitung ve Candelon (2006). Jörg Breitung, Bertrand Candelon, Testing for short- and long-run causality: A frequency-domain approach, *Journal of Econometrics*, Volume 132, Issue 2, 2006, Pages 363-378, ISSN 0304-4076,
- Chou and Chen (2011). Chou C., C., Chen S.-L., (2011), 'Integrated or segmented? a wavelet transform analysis on relationship between stock and real estate markets, *Economics Bulletin*, Vol. 31 No. 4 pp. 3030-3040.
- Christiano ve Ljungqvist (1988). Christiano, L. J., Ljungqvist, L., (1988), Money Does Granger-Cause Output in the Bivariate Money–Output Relation, *Journal of Monetary Economics* 22: 217–235.
- Crowley ve Mayes (2009). Crowley, P. M., & Mayes, D. G. (2009). How fused is the euro area core?. *OECD Journal: Journal of Business Cycle Measurement and Analysis*, 2008(1), 63-95.
- Dhamala vd. (2018a). Dhamala, M., Rangarajan, G., Ding, M. 2008 Estimating Granger Causality from Fourier and Wavelet Transforms of Time Series Data. *Physical Review Letters* 100, 018701-1 - 4.

- Dhamala vd. (2018b). Dhamala, M., Rangarajan, G., Ding, M. (2008b) Analyzing information flow in brain networks with nonparametric Granger causality, *NeuroImage*, 41 , 354–362
- Diks ve Panchenko (2006). Diks, C., Panchenko, V., (2006), A new statistic and practical guidelines for nonparametric Granger causality testing, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 30, 1647–1669.
- Durai and Bhaduri (2009). Durai, S. R. S., & Bhaduri, S. N. (2009). Stock prices, inflation and output: Evidence from wavelet analysis. *Economic Modelling*, 26(5), 1089-1092.
- Eichenbaum ve Singleton (1986). Eichenbaum, M., Singleton, K. J., (1986), Do Equilibrium Real Business Cycle Theories Explain Postwar U.S. Business Cycles, *NBER Macroeconomics Annual 1986*: 91–146.
- Eichler (2007). Eichler, M., (2007). Granger causality and path diagrams for multivariate time series, *Journal of Econometrics*, 137(2), 334-353.
- Geweke (1982). Geweke, J., (1982). Measurement of Linear Dependence and Feedback between Multiple Time Series, *Journal of the American Statistical Association*, 77,378, 304-313
- Grinsted vd. (2004). Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series.
- Hong vd. (2009). Hong, Y., Liu, Y., & Wang, S. (2009). Granger causality in risk and detection of extreme risk spillover between financial markets. *Journal of Econometrics*, 150(2), 271-287.
- In and Kim (2006). In, F., Kim, S., (2006), The hedge ratio and the empirical relationship between the stock and futures markets: a new approach using wavelets, *The Journal of Business*, 79, 799–820.
- Kim and In (2003). Kim, S., In, F., H., (2003), The Relationship Between Financial Variables and Real Economic Activity: Evidence From Spectral and Wavelet Analyses, *In Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 7, 4.
- Lv vd. (2018). Lv, X., Lien, D., Chen, Q., Yu, C., (2018). Does Exchange Rate Management Affect the Causality Between Exchange Rates and Oil Prices? Evidence from Oil-Exporting Countries
- Mansson (2012). Månsson, K. (2012). A Wavelet-Based Approach of Testing for Granger Causality in the Presence of GARCH Effects. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 41(4), 717-728.
- Mitra (2006). Mitra, S., 2006. A wavelet filtering based analysis of macroeconomic indicators: the Indian evidence. *Applied Mathematics and Computation* 175, 1055–1079.
- Olayeni (2016). Olayeni, O. R. (2016). Causality in continuous wavelet transform without spectral matrix factorization: theory and application. *Computational Economics*, 47(3), 321-340.
- Polanco-Martinez ve Abadie (2016)= Polanco-Martínez, J. M., & Abadie, L. M. (2016). Analyzing crude oil spot price dynamics versus long term future prices: A wavelet analysis approach. *Energies*, 9(12), 1089.
- Rhif vd. (2019). Rhif, M., Ben Abbes, A., Farah, I. R., Martínez, B., & Sang, Y. (2019). Wavelet transform application for/in non-stationary time-series analysis: A review. *Applied Sciences*, 9(7), 1345.
- Rua A. (2010). Rua, A. (2010) Measuring comovement in the timefrequency space, *Journal of Macroeconomics*, 32, 685–91.
- Rua A. (2013). Rua, A. (2013). Worldwide synchronization since the nineteenth century: a wavelet-based view. *Applied Economics Letters*, 20(8), 773-776.

- Rua ve Nunes (2012). Rua, A., & Nunes, L. C. (2012). A wavelet-based assessment of market risk: The emerging markets case. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 52(1), 84-92.
- Shi vd. (2012). Shi, S., Hurn, S., Phillips, P., B., (2020), Causal Change Detection in Possibly Integrated Systems: Revisiting the Money- Income Relationship, *Journal of Financial Econometrics*, 18,1,158-180
- Sims (1987). Sims, C., A., (1987), Comment. *Journal of Business&Economic Statistics* 5: 443–449.
- Stock ve Watson (1989). Stock, J. H., Watson, M., W., (1989), Interpreting the Evidence on Money–Income Causality. *Journal of Econometrics*, 40,161–181.
- Tiwari vd. (2013). Tiwari, A. K., Mutascu, M. I., & Albulescu, C. T. (2013). The influence of the international oil prices on the real effective exchange rate in Romania in a wavelet transform framework. *Energy Economics*, 40, 714-733.
- Toda ve Yamamoto (1995). Toda, H., Y., Yamamoto, T., (1995), Statistical Inference in Vector Autoregressive with Possibly Integrated Process, *Journal of Econometrics*,66, 225-250.
- Torrence ve Compo (1998). Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61-78.
- Wen vd. (2020). Wen, D., Liu, L., Ma, C., Wang, Y. (2020), Etreme Risk Spillovers between Crude Oil Prices an the U.S. Exchange Rate: Evidence from oil-exporting and oil-importing Countries, *Energy*, 212, 118740
- Wilson (1972). Wilson, G., T. 1972 The Factorization of Matricial Spectral Densities. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 23,4, 420-426.
- Wilson (1978). Wilson, G., T. 1978 A convergence theorem for spectral factorization. *Journal of Multivariate Analysis*, 8, 2, 222 - 232.
- Yang vd. (2017). Yang, L., Cai, X., J., Hamori, S., (2017), Does the Crude Oil Price Influence the Exchange Rates of Oil-Importing and Oil-Exporting Countries Differently? A wavelet Coherence Analysis, *International Review of Economics and Finance*



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

Causality Relationships Between Oil and Foreign Exchange Markets

An Application With Wavelet Analysis

1. Introduction

Relationships among financial and commodity markets become dynamic through globalization and increasing market integration. In this dynamic structure, proposing new insights and evidence to policy makers, researchers and investors regarding the results obtained from empirical studies provide important and sensitive contributions to economic stability today. Moreover, markets have become rapidly affected by each other, and they have become more open to external influences as well as local dynamics of the economy due to the process of financial globalization. It is undeniably accepted that fluctuations in financial markets drag real economies into crisis and cause socio-economic changes in countries. In this context, examining the temporal variations of causality relations in commodity and financial markets has become crucial for investors and policy makers, as it provides useful insights in terms of understanding the nature of the inter-market information flows and the spillover effect of shocks. Thus, the main purpose of this study is to reveal the time-based and scale based causality information flow between Oil prices and Euro exchange rate, and to reveal the global and local events affecting these information flows through the empirical approach proposing the use of SHP (Shi – Hurn – Phillips (2020) test) and CWTC (Continuous Wavelet Transformation Based Granger Causality Test) tests.

2. Data Set and Method

The data set used in the analysis includes Weekly Oil (OIL) and Euro/Dollar rate (EUR). The length of each time series consists of 683 observations. Since it was aimed to investigate the causality pattern after the 2008 crisis, the causality relationship between the variables was examined for the period January 2008 – December 2021.

The empirical approach of this study is to employ CWTC and SHP tests to reveal hidden causality information flow among OIL and EUR. Shi et al. (2020) developed three algorithms (short for SHP) based on modified Wald tests to detect time-dependent changes in the causality relationship. Parametric SHP allows for the detection of changes in the causality relationship. Moreover, SHP exempts from the necessity of de-trending process or taking the difference of the data before the testing procedure. In addition, SHP tests are robust to the possible integration structure between the datasets since they use the lag augmented vector autoregressive model (LA-VAR). Therefore, SHP tests can be employed without the need for prior knowledge of the existence of unit root or cointegration between time series. Unlike the VECM (Vector Error Correction Model) model, the LA-VAR model does not affect by nuisance parameter dependency or non-standard limit distribution since it does not require a priori cointegration testing process. Therefore, SHP tests can be used to analyse the time-dependent variation of the causality relationship between data with a time-dependent trend and a possible integration relationship. CWTC has significant advantages over other tests: For it uses the continuous wavelet transform, it allows for analysing the changes in the causality relationship in the time dimension as well as the frequency dimension. Since the CWTC test is a non-parametric causality test, it exempts from the necessity of determining the lag number in the autoregressive modeling process. Thus, the possibility of the spurious causality relationship arising due to lag structure, which is critical in the analysis of data with long-term fluctuations or long memory, is also eliminated. As a result, the CWTC test can examine the causality relationship in time-frequency dimensions in more detail than the traditional causality test, by enabling the analysis of the time, frequency and magnitude changes of the causality relationship through the non-parametric estimation process.

3. Empirical Findings

Through using the CWTC and SPH, which allow for the analysis of non-stationary data directly, evidence that the causality between the Euro exchange rate and oil prices varies over time and has dynamics varying based on the time scale is found in this study. The overall result of the aforementioned tests indicates that there exist both unidirectional causalities from EUR to OIL in the period of 2010 - 2015, and bidirectional causality in the period of 2015 – 2020. Moreover, evidence in favor of short-term bidirectional causality relationship patterns between EUR and OIL and long term unidirectional information flow from EUR to OIL were provided in this study.

4. Discussion and Conclusion

While developing policies, such as the terms of trade related policies affected by parity and oil prices, policy makers should develop both long and short run time scale based dynamic policies by monitoring the changes depending on the time scale in the relationship patterns in policy making process. Likewise, while making investment decisions about these instruments, investors may develop time-scale based strategies through new evidence obtained by employing time-scale based analyses, such as the empirical approach proposed in this study.