

Araştırma Makalesi / Research Article

KARBON FİYATLARININ SİMETRİK VE ASİMETRİK NEDENSELLİK TESTİ İLE ANALİZİ*

Doç. Dr. Mehmet Fatih BAYRAMOĞLU** 

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İİBF, Zonguldak (fatih.bayramoglu@beun.edu.tr)

Doç. Dr. Tezcan ABASIZ 

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İİBF, Zonguldak (tezcan.abasiz@beun.edu.tr)

Bilim Uzmanı Mehmet Alper ERGÜN 

Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, (mehmet.ergun@tkdk.gov.tr)

ÖZET

Bu çalışmada, Avrupa Enerji Borsası (EEX) ve Kıtalararası Vadeli İşlem Borsası (ICE Futures)'nda işlem gören karbon spot ve vadeli fiyatlarının, Brent petrol fiyatının ve EUR/USD döviz kurunun ortalamada ve varyansta nedensellik analizleri, üç farklı ekonometrik nedensellik testi ile analiz edilmiştir. Ocak 2012 – Ağustos 2018 tarihleri arasındaki 80 aylık dönemin analiz edildiği çalışmanın sonuçlarına göre, simetrik nedensellik; spot fiyatındaki şoklardan vadeli fiyatındaki şoklara doğru %1 anlamlılık düzeyinde, petrol fiyatındaki şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde tek yönlü olarak tespit edilmiştir. Asimetrik nedensellik testi sonuçlarına göre, neredeyse tüm değişkenler arasında farklı anlamlılık düzeylerinde ortalamada asimetrik nedensellikler tespit edilmiştir. Dolayısıyla değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Varyans nedensellik analizleri ise Karbonun vadeli fiyatındaki varyanstan spot fiyatı varyansına doğru %1 anlamlılık seviyelerinde güçlü bir nedensellik tespit edilmiştir. Böylece vadeli fiyatlardaki oynaklığın, spot fiyattaki oynaklığın önemli bir nedeni olduğu ortaya konulmuştur. Diğer değişkenler arasında ise bir oynaklık ilişkisi tespit edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon piyasaları, Hatemi-J, Oynaklık, Spot ve Vadeli Karbon Fiyatları.

ANALYSIS OF CARBON PRICES WITH SYMMETRIC AND ASYMMETRIC CAUSALITY TEST

ABSTRACT

In this study, transactions of carbon spot and future prices on the European Energy Market (EEX) and Intercontinental Futures Exchange (ICE Futures), causality analysis of changes in mean and variance of Brent oil prices and EUR/USD exchange rate, are analyzed with three different econometric tests. According to the results, which analyzed 80 months between January 2012 and August 2018, the symmetrical causality was found to be unidirectional at the 1% significance level from shocks in the spot price to shocks in the future price, and the 5% significance level from shocks in the oil price to shocks in the future price. According to the asymmetric causality test results, asymmetric causality in mean at different significance levels was detected among almost all variables. Therefore, it is concluded that there are nonlinear relationships between variables. In the variance causality analysis, a strong causality was found at 1% significance levels from the variance in the future price of carbon to the spot price variance. Thus, it has been revealed that volatility in future prices is an important reason for the volatility in spot prices. A volatility relationship could not be determined among other variables.

Keywords: Carbon Markets, Hatemi-J, Volatility, Spot and Future Carbon Prices.

* Bu çalışma, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde tamamlanmış olan "Spot ve Vadeli Karbon Fiyatlarının Varyansa ve Ortalamada Asimetrik Bootstrap Nedensellik Testi ile Analizi" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

** Sorumlu Yazar

1. Giriş

Yaklaşık 4,5 milyar yaşında olan Dünya'nın, antropojenik etkiler başta olmak üzere ekolojik sebeplerle dengesi bozulmaktadır. Teknolojik, bilimsel ve kültürel gelişmelerle birlikte bu bozulmayla mücadelede yaklaşım tarzı ve faydalanılan araçlar da farklılaşmaktadır. Bu doğrultuda, çevresel değişimler ile mücadele kapsamında konuya yaklaşım açısının çevre odaklı düşünce yapısından ekonomi ve piyasa odaklı olarak değiştirilmesi hususu gündeme gelmektedir (Bloomberg & Carl, 2017:3; Economics, 2017:18).

Meydana gelen yaklaşım farklılığı çerçevesinde iklim değişikliğinin başlıca sebeplerinden olan sera gazı salınımının kontrol altına alınabilmesi için yeni mekanizmalar oluşturulmaktadır. Bu kapsamda, çevreye etkisi en fazla olan sera gazlarından karbondioksit, salınımının kontrol altına alınabilmesi amacıyla piyasa temelli bir mekanizma aracılığıyla finansal bir emtia olarak işlem görmektedir. Tarihsel süreçte iklim değişikliği ile ilgili uluslararası anlaşmalarla mücadele kapsamına alınan ve oluşturulan piyasa mekanizmasında en fazla işlem gören sera gazı olduğu için piyasalara da ismini veren karbondioksitin, etkin olarak işleyen bir piyasa ortamında fiyatlanması önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla, sera gazı emisyonlarının maliyetinin mali açıdan değerlendirilmesi gerektiği bilinciyle atılan ilk adımlar çerçevesinde, oluşturulan piyasa ile düşük karbonlu ekonomik faaliyetler yürütülmekteydi (Economics, 2017:18). Bu adımlara, 1989 yılında Swisher & Masters'ın iklim değişikliği sorununun emisyon ticareti teorisiyle üstesinden gelebilmek için uluslararası karbon emisyon tahsisatlarının para birimi olarak kullanıldığı piyasa mekanizmasını tavsiye etmesi örnek olarak gösterilebilir. Aynı doğrultuda, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 1989 yılı içinde Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne öneri belgesi sunmuş; 1990 yılında Dudek & LeBanc, çevre savunması fonu çerçevesinde ormancılık sektörünü de kapsayan daha geniş tahsisat mekanizmaları önermiştir. Kyoto Protokolü'nün imzalanması ile birlikte günümüze kadar geçen sürede bir dizi emisyon ticareti sistemleri uygulanmaya başlanmıştır (Calel, 2011:15-17). 2015 yılı itibarıyla ise dünya genelinde toplamda 42 adet karbon piyasası ve emisyon ticaret sistemi faaliyet göstermektedir (Başsüllü & Tolunay, 2015:1). Bu sayede, düşük karbonlu teknolojilere öncelik verilmesi bakımından karbon fiyatlamasının, 2030 yılına kadar yıllık olarak artan şekilde gerekli 700 milyar Dolarlık yatırımları faaliyete geçirmenin anahtarı olacağı öngörülmektedir (Economics, 2017:18). Tablo 1'de, küresel karbon piyasalarının 2015-2017 yılları sürecinde yaşadığı değişim gösterilmektedir.

Tablo 1: Küresel Karbon Piyasalarında Meydana Gelen Değişim

	Küresel Karbon Piyasalarının Boyutu 2015-2017 (Milyon ton: mt) (Milyon Avro: m €)								
	2015		2016		2017		Hacimdeki Değişim	Değerdeki Değişim	Pay
	mt	m €	mt	m €	mt	m €	mt	m €	m €
Avrupa	5,073	38,358	5,245	27,744	5,121	30,760	%-2	%11	%74
CERs	100	87	49	63	21	23	%-57	%-63	„
Kuzey Amerika	1,042	10,633	544	5,070	952	9,328	%75	%84	%23
Güney Kore	1,2	11	5	62	7	140	%49	%126	„
Çin Pilot Düzenlemeler	70	160	113	202	127	204	%13	%1	„
Yeni Zelanda	„	„	76	774	810	870	%7	%12	%2
Diğer Piyasalar	2	4	„	„	„	„	„	„	„
Toplam	6,288	49,253	6,031	33,915	6,309	41,325	%5	%22	„

Kaynak: Thomson Reuters (2018); *Carbon market monitor*, s. 3, Erişim Tarihi: 18.06.2019, <http://www.comex.kz/images/acer/2017.pdf>

Tablo 1 incelendiğinde, 3 yıllık süreçte küresel karbon piyasalarında hacim ve değer bakımından oynaklığın olduğu görülmektedir. Avrupa’da yapılan işlemlerin hacminin %74’lük pay ile ilk sırada olduğu; bunu %23’lük pay ile Kuzey Amerika’nın takip ettiği görülmektedir. Genel bir değerlendirme olarak, üç yıllık bu süreçte %5’lik hacim ve %22’lik değer değişiminin meydana geldiği ifade edilebilir.

Bu çalışmada, küresel iklim değişikliği ile piyasa temelli mücadelenin temelini oluşturan karbon piyasalarındaki spot ve vadeli fiyatları, asimetrik olmayan ve asimetrik olan nedensellik testleri ile analiz edilerek iki fiyat arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca karbon piyasalarının diğer piyasalarla ilişkilerini ortaya koyabilmek amacıyla aynı analizlere petrol ve döviz kuru dâhil edilerek tekrarlanmıştır.

Çalışmanın izleyen kısımlarında öncelikle karbon piyasalarına yönelik alanyazın incelemesi sunulmuştur. Ardından uygulama bölümünde veri seti ve ekonometrik model hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. Son olarak, uygulanan ampirik analize ilişkin bulgulara dayalı olarak değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. Karbon Piyasalarına Yönelik Alanyazın İncelemesi

Karbon emisyonundaki artışın temel nedeni olan enerji tüketiminin çevre, sağlık, iskân gibi sosyal politikaların yanı sıra ekonomi ve finans politikaları üzerinde de etkilerde bulunduğu bilinmektedir (Tay Bayramoğlu & Yıldırım, 2017). Bu bağlamda karbon piyasalarının finansa bilimi için nispeten yeni ve merak uyandırıcı bir çalışma alanı olması nedeniyle uluslararası ve ulusal düzeyde alanyazın incelemelerinde, konunun çeşitli açılardan ele alındığı görülmektedir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, karbon piyasası üzerine en sık rastlanan çalışma konuları; *enerji güvenliği, yenilenebilir enerji ve kalkınma* (Barbier, 2011; Guivarch & Monjon, 2017; Yalçın, 2010, Tay Bayramoğlu vd., 2016), *emisyona muhasebesi* (Xia & Tang, 2017), *süreçte ihtiyaç duyulacak fon gereksinimi* (Barbier, 2011; Cui & Huang, 2017), *ideal karbon piyasası sistemleri ve reform süreçleri* (Betsill & Hoffmann, 2011; Eichner & Pethig, 2011; Helleiner & Thistlethwaite, 2013; Brêchet vd., 2016), *ülkelerin karbon ekonomisine entegrasyon süreci* (Çelikkol & Özkan, 2011; Binboğa, 2014; Erden Özsoy, 2015; Ekinci & Gönençgil, 2015), *karbon ekonomisine entegrasyon sürecinde paydaşların rolleri ve sorumlulukları* (Bailey, 2010; Luo vd., 2012; Mol, 2012; Lederer, 2012; Peng vd., 2015), *karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi* (Tay Bayramoğlu & Koç Yurtkur, 2016; Arı & Zeren, 2011; Demireli & Hepkorucu, 2010), *karbon piyasalarının iklim değişikliği ile mücadeledeki rolü ve potansiyeli* (Mol, 2012; Öztürk vd., 2012; Lee, 2012; Narin, 2013; Arı, 2013; Arı, 2010) olarak ifade edilebilir.

Ayrıca, karbon piyasası alanında yapılan çalışmalara yukarıdakilere ilave olarak bir konu başlığı daha eklenebilir. Bu konu başlığı, “farklı coğrafyalardaki karbon piyasalarında oluşan fiyat farklılaşması tartışmaları”dır. Diğer bir ifade ile karbon piyasalarının çalışma sistematiği, etkinliği, derinliği, bilgi paylaşımı ve diğer piyasalarla entegrasyonu sorunsalına yönelik teoriye dayalı ve ampirik uygulamalarla test edilen akademik tartışmalardır. Bahsedilen konu başlığının, bu makale çalışmasının konusu ile yakın ilişkisinin olması nedeniyle alanyazın incelemesinde özellikle bu tartışmalara ve analizlere odaklanılmıştır.

Mizrach (2012), karbon piyasalarının birbirlerine entegrasyonu konusuna odaklanmış olup, AB ve ABD karbon piyasalarının birbirleriyle olan etkileşimini ölçmek amacıyla eşbütünleşme analizlerini yaparak bu piyasaların mimarisini tanımlamıştır. Özellikle AB piyasalarının olgunlaşma gösterdiğini ancak bunun sadece spot piyasa düzeyinde tam anlamıyla gerçekleştiğini, vadeli piyasalarda ise politika belirsizlikleri nedeniyle kısa vadede bağımsız fiyat hareketlerinin yaşandığını ortaya koymuştur. Ayrıca ABD piyasaları ile AB piyasaları arasında önemli nedenselliklerin olduğunu, AB piyasalarının dünya borsalarında şubeleşme yoluyla piyasaların birbirlerine olan entegrasyonunu ve karbon fiyatı için tek bir küresel fiyat oluşumunda en önemli rolü üstlendiğini ifade etmiştir. Mizrach’ın elde ettiği bulgular, iki piyasanın serbest piyasa koşullarında birbirleriyle doğal olarak etkileşime girdiklerini ve bunun küresel ölçekte olması halinde etkin bir piyasa yapısına kavuşabileceğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Karbon piyasalarının etkinliği üzerine oldukça kapsamlı ve ampirik analizlerle desteklenen bir çalışmanın Feng vd. (2011) tarafından Avrupa karbon piyasaları için yapıldığı görülmektedir. Araştırmacılar, Avrupa karbon piyasalarındaki volatilitiyi doğrusal olmayan modellerle analiz etmiştir. Nisan 2005 – Aralık 2008 yıllarını kapsayan çalışmada, ECX karbon vadeli kontratlarının fiyatları analiz edilmiştir. Analizde Rassal Yürüyüş Modeli, R/S analizi, ARFIMA ve Kaos modeli kullanılmış olup sonuç olarak; karbon piyasalarının rassal yürümediğine, geçmiş karbon fiyat bilgilerinin, mevcut karbon fiyatlarına tamamen yansımadığına ve karbon piyasalarının zayıf formda etkin piyasa özelliklerini dahi gösteremediğine yönelik bulgular elde etmiştir. Ayrıca, geçmiş karbon fiyat bilgilerinin karbon fiyatının gelecekteki eğilimi üzerinde kısa vadede etkili olduğunu, ancak uzun vadeli karbon fiyat hafızasının belirgin olmadığını ortaya koymuştur. Karbon piyasalarının doğrusal

olmadığının, fraktal ve kaotik bir yapıda olduğunun belirtildiği çalışmada, karbon piyasasındaki önemli dalgalanmaların nedeninin; sıcaklık, ödenekler, enerji fiyatları ve özel olaylar gibi içsel mekanizmalardan ve geri bildirim mekanizmalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca düşük karbon fiyatının, karbon emisyonlarının azaltılmasına olumsuz etkilerinin olduğu bu araştırma ile ortaya konulmuştur.

Mizrach (2012)'in ve Feng vd. (2011)'nin her ikisinin de ampirik çalışmalar yapmış olmaları ve benzer piyasaları, benzer dönemlerde analiz etmiş olmalarına rağmen, Mizrach (2012)'in çalışma sonuçlarının karbon piyasalarına yönelik daha iyimser sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir.

Piyasaların birbirleri ile entegrasyonu konusuna fiyat farklılaşması açısından yaklaşan Qi & Weng (2016), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki karbon emisyon fiyatlarındaki farklılaşmayı ulusal ve küresel emisyon ticaret sistemlerinin senaryo analizleri ile modellemiştir. Yapılan senaryo analizleri ile küresel bir emisyon ticaret sisteminin tesis edilmesi halinde 2030 yılı projeksiyonunu gerçekleştirmiştir. Karbon ticaretinin ulusal yapıda olması halinde Ek-I ülkelerinde karbon fiyatlarının yüksek, EK-I dışı ülkelerde ise düşük devam edeceğini, bu durumun EK-I ülkelerinde enerji tüketim maliyetlerinin artmasına, EK-I dışı ülkelerde ise fazla karbonun düşük fiyattan satılmasına yol açtığını ifade etmektedir. Yapılan simülasyonlar, serbest piyasa kurallarına dayalı küresel bir karbon ticaret sisteminin tesis edilmesi halinde emisyon ithalatçılarının daha düşük üretim maliyeti, daha yüksek yerli üretim talebi ve daha güçlü üretim faaliyeti olacağını, emisyon izinleri için ödenen fonun ise iç tüketimi azaltacağını göstermiştir. Benzer şekilde, emisyon izinlerinin ihracatçıların ise daha yüksek üretim maliyetlerinin ve daha az üretim faaliyetlerinin olacağını, emisyon izni ihraç etmenin gelirinin ise yerel tüketimi ve yatırımları artırıcı etkide bulunacağını göstermektedir. Genel olarak ise küresel ölçekte tesis edilmiş bir emisyon ticaret sistemi ülkelerin ticaret toplamını kısmen artırabileceğini ortaya koymuştur. Qi & Weng'in çalışmaları, ulusal piyasa yapılarından küresel (birbirine entegre olmuş) piyasa yapılarına geçilmesinin, piyasa derinliğini ve etkin fiyat oluşumunu sağlayabileceğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Benzer çalışmaların Asya ve Uzakdoğu bölgeleri için de yapıldığı görülmektedir. Sun vd. (2016), Çin'de başlatılan ulusal emisyon ticaretini analiz ederek, sistemin Çin için bir altyapı oluşturması bakımından önem taşıdığını ancak, sistemin serbest piyasa ekonomisine dayalı çalışmaması halinde başarılı olması konusunda tereddütlerin oluşacağını, bu durumun ise Çin'in sürdürülebilir kalkınma hedeflerini olumsuz etkileyebileceğini vurgulamışlardır. Fan vd. (2016) ise Çin emisyon ticaret sisteminin mevcut yapısını analiz etmiştir. Sonuç olarak; Çin'in emisyon ticaret sisteminin, hedeflenen şekilde ulusal boyutta tek bir sistem halinde yönetilmesi halinde, toplumun geneli tarafından hissedilen bir maliyet indiriminin yaşanabileceğini, üretim faktörlerinin refah ve tahsis verimliliğini artırabileceğini, böylece bölgesel ekonomik eşitsizliklerin atlatılıp koordineli bölgesel kalkınmayı teşvik edebileceğini göstermiştir. Fan vd. (2016) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları, Çin gibi gerek coğrafi boyutta, gerek nüfus boyutunda, gerekse ekonomik boyutta Dünya'nın önemli bir payını elinde bulunduran ülkelerde veya birliklerde, küresel sistemler bir yana ulusal düzeyde serbest piyasa ekonomisine dayalı etkin bir sistemin tesis edilmesi halinde bile, bu sistemin genel anlamda ekonomiyi olumlu etkileyebileceğini göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

Karbon piyasalarının, petrol piyasaları ile entegrasyonunu ampirik analizlerle test eden, bu yolla yatırımcılar ve politika yapıcılar için çıkarımlarda bulunan Dutta (2018), karbon emisyonu pazarının oynaklığını, petrol fiyatları ve zamanla değişen pazar koşulları çerçevesinde modelleyerek analiz etmiştir. Yapılan çalışmada, Avrupa Birliği Tahsisatları (EUA) Piyasası'nın haftalık spot fiyatları ve Chicago Opsiyon Borsası Kurulu tarafından yayınlanan ham petrol oynaklık endeksi (OVX) verisi kullanılmıştır. 1 Temmuz 2009 – 31 Aralık 2016 tarihleri arasında kapsayan dönemde 392 haftalık örneklem kullanılmıştır. Emtia piyasalarında ve finansal piyasalarda yaygın olarak kullanılan GARCH-jump modelinin karbon emisyonu pazarında uygulanabilirliğinin ve EUA spot fiyatlarındaki oynaklığını ne derecede ölçebileceğinin analiz edildiği çalışmanın sonuçlarına göre; GARCH parametrelerinin %1 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte, karbon spot fiyatlarındaki getirinin geçmiş dönemden etkilenmediği, dolayısıyla kısa vadeli öngörülebilirliğin EUA pazarında zor olduğu ifade edilmiştir. Buna karşın, düzeltilmiş emisyon fiyatlarının kullanılmasının ve asimetric bağlantılarının olması bakımından OVX tarafından ölçülen petrol piyasası belirsizliğine ilişkin bilgilerin, karbon piyasasındaki riskin öngörülmesinde ve çeşitlendirilmesinde yatırımcılar ve politika yapıcılar açısından önemli ve yararlı olduğunu ortaya koymuştur.

Benzer bir çalışmanın Luo & Wu (2016) tarafından yapıldığı görülmektedir. Araştırmacılar, karbon spot fiyatları ile ham petrol, ABD, Avrupa ve Çin'deki borsalar arasındaki ilişkiyi OGARCH ve MV-OGARCH modelleri ile analiz etmiştir. Şubat 2008 – Aralık 2012 tarihleri arasındaki 1014 adet günlük veri seti ile yapılan çalışmanın sonuçlarına göre; karbon spot fiyatının tüm diğer değişkenler ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle ABD ve Avrupa borsaları ile spot karbon fiyatları arasındaki pozitif korelasyon ilişkisinin Çin borsalarına kıyasla daha yüksek ve konjonktürel hareketlenmeler doğrultusunda daha değişken olduğu belirtilmiştir.

Arouri vd. (2012) ise, karbon spot ve vadeli fiyatlarının getiri ve oynaklık ilişkisine odaklanarak fiyatları analiz etmiştir. Veri seti olarak BlueNext EUA spot ve vadeli karbon fiyatlarının Şubat 2008-Mart 2010 dönemindeki günlük değerlerinin kullanıldığı çalışmada doğrusal VAR ve doğrusal olmayan STR-EGARCH modelleri kullanılmıştır. VAR analiz sonuçlarına göre, spot ve vadeli karbon fiyatları arasında iki yönlü getiri etkileşimi ve volatilité yayılım etkisi açık olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, spot piyasalarına olan şokların spot ve vadeli fiyatlara olan etkisinin, vadeli piyasalara olan şokların bu fiyatlara etkisinden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, VAR analizi sonuçları, volatilité şoklarının, getiri şoklarından daha kalıcı etkilerinin olduğunu göstermiştir. STR-EGARCH analizleri ise spot ve vadeli fiyatlar arasında asimetric ve doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koyarak, hem spot hem de vadeli fiyatların, doğrusal olmayan bir şekilde dinamik fiyat bulma süreçlerine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Dalgalanma dönemlerinde ise spot piyasanın vadeli piyasaya göre daha hızlı bir geçiş hızına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni; vadeli piyasaya göre spot piyasanın daha yüksek likiditeye sahip olması, açığa satış işlemlerine izin verilmesi ve yüksek düzeydeki arz-talep esnekliğine sahip olması ile açıklanmıştır. Sonuç olarak; yazarlar, karbon spot ve vadeli fiyatlarının analizinde ve riskten korunma stratejilerinin belirlenmesinde, doğrusal olmayan modellerin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağını belirtmişlerdir.

Karbon piyasaların etkin çalışmasını, paydaşların üzerine düşen görevleri yerine getirmesine bağlayan araştırmacılar, bilgi paylaşımın düzeyi üzerinden konuya yaklaşmaktadırlar. Luo vd. (2012), CDP Global 500 verilerini temel alarak, şirketlerin karbon salınım bilgisini açıklamaya istekli olmalarına etki eden faktörleri analiz etmişlerdir. Sonuç olarak; şirketlerin doğrudan ekonomik sonuçlarla karşı karşıya kalan şirketlerin, emisyon salınım / satın alma / satma bilgilerini açıklamakta istekli olduklarını, büyük şirketlerin üzerlerindeki sosyal baskı nedeniyle bilgilerini açıklamakta daha istekli olduklarını ortaya koymuştur. Çalışmanın önemli sonuçlarından bir diğeri ise, şirketlerin bilgilerini açıklamaktaki en büyük itici gücün hissedarlar veya alacaklılar gibi ana paydaşlardan ziyade toplumdaki ve devletten kaynaklandığını ortaya koymalarıdır.

Benzer bir çalışma Peng (2015) tarafından Çin'deki halka açık şirketlere anket uygulanması ile yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları da Luo vd. (2012)'nin çalışmasına benzer sonuçlara sahiptir. Peng, yüksek emisyonu sahip olan şirketlerin bilgilerini açıklamakta daha istekli olduklarını belirtmektedir. Aynı şekilde büyük şirketlerin bu konuda daha özenli davrandıkları sonucu da elde edilmiştir. Peng'in çalışması, Çin'de piyasalaşma sürecinin şirketleri daha fazla karbon bilgisi açıklamaya teşvik edebileceğini ortaya koymaktadır. Luo vd. (2012)'nin çalışmasının aksine Peng (2015), Çin'deki halka açık şirketlerin karbon bilgilerini açıklama isteklerinin sektörlere göre farklılık gösterebildiği ve devlet teşviklerinin bu hususta bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Karbon piyasalarının etkin çalışmasında, devletin rolünü ve etkisini ölçen ampirik çalışmaların yanı sıra, bu konuda kapsamlı teorik çalışmalar yapan araştırmacılara da literatürde rastlanılmaktadır. Lederer (2012), karbon piyasalarının işleyişinin düzenlenmesinde devletlerin rolü üzerine yapmış olduğu çalışmada, önde gelen dört karbon piyasasını analiz etmiştir. Sonuç olarak; mevcut durumda yalnızca devletlerin ve hükümetler arası anlaşmaların karbon piyasalarının var olması ve çalışması için gerekli düzenlemeleri sağlayabildiğini, günümüzde ne piyasa aktörlerinin, ne STK'ların, ne de kamu-özel ortaklıklarının gelişen pazar yapılarını kurma, düzenleme veya denetleme konusunda politik güce sahip olmadıklarını vurgulamıştır. Bu nedenle, piyasaya dayalı araçların istenen sonuçları sağlayıp sağlamamasının, günümüzde devlet tarafından temsil edilen kamu düzenlemelerine bağlı olduğu görüşünü ortaya koymuştur. Benzer bir çalışma, Çelikkol & Özkan (2011) tarafından Türkiye perspektifinden yapılmış olup, Türkiye'de karbon piyasalarının itici gücün kamu kuruluşları olduğu vurgulanmıştır. Özetle bu çalışmalar, karbon piyasalarının etkin olarak çalışması için devletin en önemli unsur olduğunu vurgulayan araştırmalardır. Ancak, literatürde çok sayıda ampirik çalışmanın, devletin rolünü inkar etmemekle birlikte asıl itici gücün başka unsurlardan kaynaklanabileceğini ortaya koymuş olması nedeniyle, bu tür teorik çalışmaların ampirik çalışmalarla desteklenmesi gerekliliği oluşmaktadır. Örneğin; Mol (2012), karbon piyasası konusuna sistem açısından yaklaşarak, öncelikle sistemin mevcut durumda "iklim değişikliği ile mücadeleyi mi" yoksa "finansal kazancı mı" hedeflediğini tartışmakta ve soruya sistemin paydaşlarını analiz ederek cevap aramaktadır.

Mol (2012)'ye göre, piyasa kurumlarının uluslararası ve küresel çevre yönetişimine dahil olmalarıyla birlikte ortaya çıkan "ulus ötesi karbon piyasaları" kavramının benimsenmesiyle birlikte, konunun paydaşlarının genişleyerek bünyesine; uluslararası tüccar ağlarını, proje geliştiricilerini, devlet kurumlarını, uluslararası kuruluşları, sertifika vericileri, bankaları, enerji

şirketlerini, brokerları, yatırımcıları ve spekülörleri aldığı ve bu piyasaların yönetimini bu paydaşlarla birlikte yaptığı / yapmak durumunda kaldığını ifade etmektedir. Mol (2012), bu geniş yönetim yapısı içerisinde devletlerin, iklim değişikliği ile mücadeledeki baskın rollerini yitirdiğini ileri sürmektedir. Ancak bu durumun, karbon akışlarının kontrol dışı küresel akışkanlar olarak yorumlanması gerektiği anlamına gelmediğini de vurgulamaktadır. Bu nedenle, (şimdiki ve gelecekteki) karbon pazarlarını anlamakta, ulus devletler üzerine yoğunlaşılması gerektiğini, bunun yerine, karbon piyasalarının şekillendirilmesinin ve karbon akışlarının nasıl yapıldığının ve bunların iklim değişikliğinin azaltılmasına karar verilmesine ve ne tür ağlara sahip olmaları gerektiğinin belirlenmesi gerektiğine odaklanılmasını önermektedir. İklim değişikliğini azaltma rasyonalitesinin, finansal rasyonalitelerle ve pazarlarla karmaşık bağları tanınsa bile, bu yeni kurumlarda (paydaşlarda) iklim değişikliği ile mücadelenin baskın mantık olarak kalmasını sağlamanın önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak; karbon çalışma sistemi, etkinliği, derinliği, bilgi paylaşımı ve diğer piyasalarla entegrasyonu sorunsalına yönelik akademik tartışmalardan; karbon piyasalarının gelişme sürecinde oldukları, bu piyasalarda oluşan fiyatların birbirleriyle ve petrol, enerji, pay piyasaları gibi diğer piyasalardaki fiyatlarla son dönemde etkileşim göstermeye başladıkları anlaşılmaktadır. Bu sürecin hızlanması için, uluslararası ve küresel serbest piyasa yapılarının oluşması gerektiğini, bu yapıların kontrol ve denetiminde önemli bir unsur olarak devletlerin olduğunu, ancak devletin, hem toplum ve şirketler tarafından desteklenmesi gerektiğini hem de sürecin içerisinde artık piyasa aktörlerinin de olduğunu kabul edilmesi gerektiğini, bununla birlikte tüm paydaşların karbon piyasaları tartışmalarının “iklim değişikliği ile mücadele kavramını” merkezine alması gerektiğini sonuç olarak çıkarsamak mümkündür.

3. Veri Seti ve Ekonometrik Yöntem

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada, küresel iklim değişikliğine karşı geliştirilen piyasa temelli mücadele araçlarından olan karbon piyasalarındaki spot ve vadeli karbon fiyatları arasındaki nedensellik ilişkisi doğrusal ve doğrusal olmayan tekniklerle analiz edilmiştir. Ayrıca karbon piyasalarının diğer piyasalarla ilişkilerini ortaya koyabilmek amacıyla aynı analizler petrol ve döviz kuru için de gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, Avrupa Enerji Borsası (EEX)'nin spot karbon emisyon fiyatları ve Kıtalararası Vadeli İşlem Borsası (ICE Futures)'nin vadeli karbon emisyon fiyatları kullanılmıştır. Karbon spot ve vadeli fiyatlarının elde edildiği piyasalar, karbon piyasaları arasında önemli bir büyüklüğe sahip olan piyasalardır. Çalışmada emtia piyasalarından petrol fiyatı olarak Brent petrol fiyatları ve para piyasalarından döviz kuru olarak EUR/USD paritesi kullanılmıştır. Analiz dönemi Ocak 2012 – Ağustos 2018 tarihleri arasındaki 80 aylık dönemdir. İlgili dönemdeki 80 adet aylık veri ile değişkenler için veri seti oluşturulmuştur. Karbonun spot ve vadeli fiyat değerleri, €/tCO₂ kuru cinsinden gösterilmektedir. Brent petrol fiyatları ABD Doları cinsindedir.

3.2. Ekonometrik Yöntem

Spot ve vadeli karbon fiyatlarının kendi aralarındaki ve petrol ve döviz kuru arasındaki nedensellik ilişkisinin analiz edildiği bu çalışmada standart ortalamada nedensellik testlerinden

Hacker & Hatemi-J (2006) tarafından geliştirilen Bootstrap temelli Toda-Yamamoto testi, asimetric nedensellik ilişkisinin analizinde ise Hatemi-J (2012) tarafından geliştirilen nedensellik testi uygulanmıştır. Sonrasında ise değişkenlerin varyansları arasındaki ilişki Hafner-Herwartz (2006) tarafından geliştirilen varyans nedensellik testi ile analiz edilmiştir.

3.2.1. Hacker ve Hatemi-J Bootstrap Temelli Toda-Yamamoto Nedensellik Testi

Değişkenlerin kaçınıcı dereceden durağan olduklarına dikkat edilmeksizin seviyesinde analize sokulduğu Toda-Yamamoto (1995) nedensellik testinde, optimal gecikme uzunluğu (k) ve değişkenlerin maksimum bütünleşme derecesine göre $dmax$ gecikme uzunluğu modele dahil edilerek $k + dmax$ gecikme uzunluğuna sahip vektör otoregresif modeli (VAR) Eşitlik 1’de gösterildiği şekliyle kurulmaktadır (Pata, 2018:103).

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \dots + A_{p+d} y_{p-t-d} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Eşitlik 1’de yer alan p modelin gecikme uzunluğunu, d ise maksimum entegrasyon derecesini ifade etmektedir.

Hacker & Hatemi-J (2006) bootstrap nedensellik testinde değişkenler arasındaki nedenselliği belirlemek için Toda-Yamamoto nedensellik testi (1995) uygulanmakta fakat hataların olası normal dağılmama riskine karşın daha güvenilir tablo kritik değerleri bootstrap monte carlo simülasyonu ile elde edilmektedir.

Hatemi-J (2003), Schwarz (SIC) ve Hannan-Quinn (HQ) bilgi kriterleri ile çözülen modellerde farklı sonuçlarla karşılaşılabilirdiğinden ötürü iki bilgi kriterinin ortalamasına dayanan Hatemi-J (HJC) bilgi kriterini geliştirmiştir.

$$HJC = \ln(\hat{\Omega}) + j \left(\frac{n^2 \ln T + 2n^2 \ln(\ln T)}{2t} \right) \quad (2)$$

Eşitlik 2’de, “ $\hat{\Omega}$ ” gecikme uzunluğuna dayalı tahmin edilen VAR modelinin hata terimlerinin varyans-kovaryans matrisini, “ n ” VAR modelindeki denklem sayısını, “ T ” gözlem sayısını ifade etmektedir. Hacker-Hatemi-J nedensellik testinde HJC ile optimal gecikme uzunluğu belirlenebilmektedir (Pata, 2018:104, Bayramoğlu vd., 2019:2116-2118).

3.2.2. Hatemi-J Asimetrik Nedensellik Testi

Geleneksel nedensellik testlerinden Granger (1969), Sims (1972), Hsiao (1981), Toda-Yamamoto (1995), Hacker & Hatemi (2006) nedensellik testlerinde bir değişkenin tahmininde diğer bir değişkenin bilgi sağlayıp sağlamadığı (nedeni olup olmadığı) test edilmektedir. Bu testlerde değişkenlerin pozitif ve negatif şokları arasında ayırım yapılmamakta ve etkinin aynı olduğu varsayılmaktadır. Ancak ekonomik ve finansal değişkenlerde şokların pozitif ya da negatif oluşuna bağlı olarak ortaya çıkardığı etkiler değişmektedir. Bu nedenle pozitif ve negatif şokları ayırıştırın nedensellik testleri daha doğru sonuçlar vermektedir.

Granger & Yoon (2002), pozitif ve negatif şoklar arasındaki ilişkinin, değişkenler arasındaki ilişkiden farklı olabileceğini ileri sürmüştür. Bu çerçevede veriyi birikimli pozitif ve negatif bileşenlerine ayırıştırıp bu bileşenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemiştir.

Hatemi-J (2012) ise Granger & Yoon (2002) yaklaşımını kullanarak yeni bir nedensellik testi geliştirmiştir.

$t = 1, 2, \dots, T$ iken $y_{1,0}$ ve $y_{2,0}$ başlangıç değerlerini göstermek üzere, aşağıdaki gibi bileşenlerine ayrılabilen $y_{1,t}$ ve $y_{2,t}$ gibi iki bütünlük seri arasındaki nedensellik analizinin test edildiğini varsayalım:

$$y_{1t} = y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i} \quad (3)$$

$$y_{2t} = y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i} \quad (4)$$

Pozitif ve negatif şoklar Eşitlik 5'deki gibi gösterilirse:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1i}^+ &= \max(\varepsilon_{1i}, 0) \\ \varepsilon_{1i}^- &= \min(\varepsilon_{1i}, 0) \\ \varepsilon_{2i}^+ &= \max(\varepsilon_{2i}, 0) \\ \varepsilon_{2i}^- &= \min(\varepsilon_{2i}, 0) \end{aligned} \quad (5)$$

$\varepsilon_{1i} = \varepsilon_{1i}^+ + \varepsilon_{1i}^-$ ve $\varepsilon_{2i} = \varepsilon_{2i}^+ + \varepsilon_{2i}^-$ şeklinde ifade edilebilir. Bu bilgi ışığında (3) ve (4) numaralı eşitlikleri düzenleyerek Eşitlik 6'daki gibi yeniden yazmak mümkündür.

$$\begin{aligned} y_{1t} &= y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^- \\ y_{2t} &= y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^- \end{aligned} \quad (6)$$

Her değişkende yer alan pozitif ve negatif şoklar ise birikimli formda Eşitlik 7'de ifade edilmektedir.

$$y_{1i}^+ = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+, \quad y_{1i}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^-, \quad y_{2i}^+ = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^+, \quad y_{2i}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^-, \quad (7)$$

Hatemi-J (2012) testinde, y_t^+ değişkeninin (y_{1t}^+, y_{2t}^+) ikilisine eşit olduğu varsayılarak, bu bileşkenler arasındaki nedensellik ilişkisi aşağıdaki p gecikmeli vektör otoregresif modeli (VAR) kullanılarak test edilir:

$$y_t^+ = \alpha + A_1 y_{t-1}^+ + \dots + A_p y_{t-p}^+ + u_t^+ \quad (8)$$

Eşitlik 8'de, y_t^+ , 2×1 boyutunda değişken vektörü, α ve u_t^+ ise sırasıyla 2×1 boyutunda sabit değişken ve hata terimi vektörlerini göstermektedir.

A_r ise 2×2 boyutunda r mertebesinde, gecikme uzunluğu bilgi kriterleri kullanılarak belirlenen parametre matrisidir.

Seriler arasında Granger-nedenselliğin olmadığını gösteren temel hipotezi test etmek için kullanılacak Wald istatistiğini elde edebilmek amacıyla Eşitlik 8'de gösterilen VAR modeli Eşitlik 9'daki gibi tanımlanabilir:

$$Y = DZ + \delta \quad (9)$$

Eşitlik 9'da yer alan terimlerin açık biçimleri Eşitlik 10'daki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} Y &:= (y_1^+, y_2^+, y_3^+, \dots, y_T^+) \\ D &:= (\alpha, A_1, A_2, A_3, \dots, A_p) \\ Z &:= (Z_0, Z_1, Z_2, \dots, Z_{T-1}) \\ Z &:= \begin{bmatrix} 1 \\ y_t^+ \\ y_{t-1}^+ \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{t-p+1}^+ \end{bmatrix} \\ \delta &:= (u_1^t, u_2^t, u_3^t, \dots, u_T^t) \end{aligned} \quad (10)$$

Y ; $(n \times T)$ boyutunda, D ; $(n \times (1 + np))$ boyutunda, Z ; $(n \times (1 + np) \times T)$ boyutunda, Z_t ; $((1 + np) \times 1)$ boyutunda ve nihayet δ ise $(n \times T)$ boyutunda matrisleri göstermektedir. Granger nedenselliğin olmadığını gösteren temel hipotez ($H_0: C\beta = 0$) Wald test istatistiği ile sınanabilir.

Wald test istatistiği, farklı parametrelerin tam değerlerini doğrulamak için kullanılan, bu parametreler arasındaki istatistiksel ilişkinin modellendirildiği istatistiksel bir yöntemdir. Başka bir ifadeyle Wald testi, istatistiksel bir modelde belirli açıklayıcı değişkenlerin önemini test etmenin bir yoludur. Polit (1996) ve Agresti (1990) tarafından tanımlanan ve bir grup açıklayıcı değişkenle ilişkili parametrelerin sıfır olup olmadığını test etmenin birkaç yolundan birisi olan Wald testinde her değişken için bir parametre bulunmaktadır. Belirli bir açıklayıcı değişken grubu için Wald testi anlamlı ise, bu değişkenlerle ilişkili parametrelerin sıfır olmadığı ve bu değişkenlerin modele dahil edilmesi gerektiği çıkarımı yapılmaktadır (Kyngäs & Marianne; 2001:774).

Bu test iki farklı regresyon içermektedir. Bunlar;

- Sınırlandırılmış model H_0 hipotezinde test edilmek istenen kısıtlı parametrelerin istatistiksel olarak sıfıra eşit olduğunu ifade edip ilgili varsayımın test edilmesini sağlar

- Sınırlandırılmamış model H_1 alternatif hipotezi göstermekte olup H_0 da kısıtlanan tüm parametrelerin anlamlı olduğunu ifade eder.

Wald test istatistiği Eşitlik 11'de gösterildiği gibidir.

$$W = (C\beta)' [C((Z'Z)^{-1} \otimes S_v)C']^{-1} (C\beta) \quad (11)$$

Eşitlik 11'de yer alan \otimes Kronecker çarpımını, C kısıtları içeren gösterge fonksiyonunu göstermektedir. Burada $\beta = vec(D)$ şeklindedir ki, vec sütun yığıma operatörünü ifade etmektedir. q her VAR eşitliğinde yer alan gecikme sayısını göstermek üzere, $S_v, (\delta_v \delta_v) / (T - q)$ şeklinde kısıtsız VAR modeli için hesaplanan varyans-kovaryans matrisini göstermektedir.

Hatemi-J (2012) nedensellik testi metodolojisinde ilk olarak modelin gecikme uzunluğu ve modele ilave edilecek ek gecikme uzunlukları belirlenmektedir. Gecikme uzunluğunun belirlenmesinde Hatemi-J (2003) tarafından geliştirilen bilgi kriteri kullanılmaktadır. Gecikme uzunluklarına bağlı olarak tahmin edilen modelden elde edilen Wald test istatistiklerinin kritik değerleri ve test istatistiği karşılaştırılarak nedensellik ilişkisinin varlığı sınanmaktadır (Yılancı & Bozoklu, 2014:214-215).

3.2.3. Hafner-Herwartz Varyans Nedensellik Testi

Standart ekonometrik modellerde hata terimi varyansının sabit olduğu varsayılmaktadır. Ancak pek çok finansal ve iktisadi zaman serisinde yaşanan krizlere bağlı olarak önemli dalgalanmalar olmakta ve varyans değişmektedir.

Varyansta nedenselliğin analizinde kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi Cheung & Ng (1996) tarafından geliştirilen ve GARCH tahmininden elde edilen standart kalıntılara ait çapraz korelasyon fonksiyonuna (CCF) dayanan yöntemdir. Fakat bu yöntemde boş hipotezi test etmek için kullanılan Portmanteau testinin CCF fonksiyonuna dayalı olması ve oynaklık sürecinin yanlardan basık şekil aldığı (*leptokurtic*) küçük ve orta büyüklükteki örnekler için oversizing (*örneklem büyüklüğü*) probleminden etkilendiği belirtilmektedir. Bu yöntemdeki ikinci problem ise CCF'ye dayalı oynaklık yayılması testinde sonuçların VAR modelindeki öncül ve gecikmelerin (*lags and leads*) derecelerine göre farklı değerler alması olmaktadır (Yılmaz & Altay, 2016:666).

Varyans nedensellik testi yöntemlerinden ikincisi LM (*Lagrange Multiplier*) prensibine dayanan Hafner & Herwartz (2006) testi yöntemidir. Bu yöntemin uygulaması daha basittir ve yukarıda belirtilen sorunlar yaşanmaz. Ayrıca bu yöntemde uygulanan Monte Carlo deneyi, LM yaklaşımının küçük örneklerde, leptokurtic metoda göre daha sağlıklı olduğunu ve örneklem büyüdükçe daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Diğer yandan öncül ve gecikmelerin derecelerinin CCF fonksiyonunda yanlış seçilmesi durumunda sonuçlarında yanlış olabileceği ve CCF istatistiğinin derecesinin de yanlış seçilme riskini artırdığı belirtilmiştir (Hafner & Herwartz, 2006: 137-141). Hafner & Herwartz (2006) yönteminde önce tek değişkenli (*univariate*) GARCH modeli tahmin edilir. İki değişken arasında varyansta nedensellik yoktur diyen boş hipotez aşağıdaki gibi tanımlanır;

Hafner & Herwartz (2006) yönteminde önce tek değişkenli GARCH modeli tahmin edilir. İki değişken arasında varyansta nedensellik yoktur diyen boş hipotez Eşitlik 12'deki gibi tanımlanır:

$$H_0: Var(\varepsilon_{it} | F_{t-1}^{(j)}) = Var(\varepsilon_{it} | F_{t-1}) \quad j = 1, \dots, N, i \neq j \quad (12)$$

Eşitlik 12'deki $F_t^{(j)} = F_t \setminus \sigma(\varepsilon_{j\tau}, \tau \leq t)$ ve ε_{it} ifadeleri GARCH modelinden gelen artık değerlerdir.

Eşitlik 13'deki model ise H_0 hipotezini test etmektedir. Ancak kullanılan seriler durağan olmalıdır. Bu noktada tanımlanması gereken terimler aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon_{it} = \xi_{it} \sqrt{\sigma_{it}^2} g_t, \quad g_{it} = 1 + z'_{jt} \pi, \quad z_{jt} = (\varepsilon_{t-1}^2, \sigma_{t-1}^2) \quad (13)$$

σ_{it}^2 ifadesi koşullu varyanstır ve $\sigma_{it}^2 = \omega_i + \alpha_i \varepsilon_{it-1}^2 + \beta_i \sigma_{it-1}^2$ 'dir. ξ_{it} ifadesi GARCH modelinin standartlaştırılmış artık değeridir. Burada H_0 hipotezi için yeterli koşul $\pi = 0$ 'dır. Yani varyansta nedensellik yoktur $H_0: \pi = 0$ boş hipotezine karşı alternatif hipotez $H_0: \pi \neq 0$ 'dir. ε_{it} 'nin gaussian log likelihood fonksiyonunun değeri $X_{it}(\xi_{it-1}^2)/2$ 'dir. Burada x_{it} 'nin değeri $x_{it} = \sigma_{it}^{-2}(\partial \sigma_{it}^2 / \partial \theta_i)$ ve θ_i 'nin değeri $\theta_i = (\omega_i, \alpha_i, \beta_i)$ 'dir. Her iki değişken arasındaki oynaklık yayılma etkisinin varlığı Eşitlik 14'deki LM testine göre araştırılır.

$$\lambda_{LM} = \frac{1}{4T} \left(\sum_{t=1}^T (\xi_{it}^2 - 1) z'_{jt} \right) V(\theta_i)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T (\xi_{it}^2 - 1) z_{jt} \right) \quad (14)$$

Bu denklemde $V(\theta_i)$ 'nin değeri Eşitlik 15'teki gibi

$$V(\theta_i) = \frac{K}{4T} \left(\sum_{t=1}^T z_{jt} z'_{jt} - \sum_{t=1}^T z_{jt} x'_{it} \left(\sum_{t=1}^T x_{it} x'_{it} \right)^{-1} \sum_{t=1}^T x_{it} z'_{jt} \right), K = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\xi_{it} - 1)^2 \quad (15)$$

olarak ifade edilebilir.

Burada test istatistiğinin asimptotik dağılımı z_{jt} 'deki hatalı belirlenim (misspesifikasyon) göstergelerinin sayısına bağlıdır. λ_{LM} 'de bunlardan iki tane olduğu için test istatistiği 2 serbestlik derecesi ile χ^2 dağılımı gösterir. Hafner & Herwartz yönteminde önce ε_{it} ve ε_{jt} için GARCH (1:1) modeli tahmin edilir. Sonra standartlaştırılmış artıklar ξ_{it}^2 ve GARCH modeli türev değeri x_{it} elde edilir. Üçüncü adımda oynaklık sürecini ifade eden GARCH modeli varyansı σ_{jt}^2 terimi, z_{jt} kullanılarak hesaplanır. Dördüncü adımda $\xi_{it}^2 - 1$ ifadesi x_{it} ve z_{jt} 'deki misspesifikasyon göstergeleri üzerine regres edilir. Bu modelden gelen R^2 ile gözlem sayısı T çarpılarak λ_{LM} bulunur (Yılmaz & Altay, 2016:666, Bayramoğlu vd., 2019:2118-2119).

4. Bulgular ve Değerlendirme

Çalışmada yapılan durağanlık analizinde ilk olarak standart birim kök testlerinden Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF, 1979) ve Phillips-Perron (PP, 1988) birim kök testleri kullanılmıştır. Tablo 2'de yer alan sonuçlarda görüldüğü gibi değişkenlerin tümünün seviye itibarıyla birim kök içerdiği ve birinci mertebeden I(1) durağan seriler olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2: Birim Kök Testi Sonuçları

Model	Değişken	ADF Test İstatistiği	PP Test İstatistiği
Sabitli I(0)	F	-0,491094	-0,524021
	S	0,439322	0,446016
	P	-1,413495	-1,472683
	K	-1,404034	-1,376571
Sabitli ve Trendli I(0)	F	-0,834267	0,808434
	S	-0,491793	-0,459754
	P	-0,555935	-0,808600
	K	-1,488737	-1,446848
Sabitli I(1)	F	-33,97487*	-33,97252*
	S	-36,27996*	-36,33253*
	P	-32,08782*	-32,27437*
	K	-34,43638*	-34,44153*
Sabit ve Trendli (1)	F	-34,14691*	-34,14595*
	S	-36,38501*	-36,43969*
	P	-32,13319*	-32,29545*
	K	-34,42253*	-34,42770*

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını; P, petrol fiyatını; K, döviz kurunu temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir. ADF birim kök testi modellerinde Schwarz bilgi kriteri kullanılmış ve gecikme uzunlukları 30 olarak alınmıştır.

Not-3: ADF birim kök testi modellerinde Schwarz bilgi kriteri kullanılmış ve gecikme uzunluğu 30 olarak alınmıştır.

ADF ve PP testleri için kritik tablo değerleri sabitli model için %1: -3.435942, %5: -2.863897, %10: -2.568076.

Sabitli ve trendli model için %1: -3.966218, %5:-3.413808, %10: -3.128978’dir.

4.1. Hacker ve Hatemi-J Bootstrap Temelli Toda Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Hacker ve Hatemi-J Nedensellik Testi sonuçları Tablo 3’te gösterilmektedir. Nedensellik sonuçlarına göre değişkenler pozitif ve negatif şoklara ayrılmadığında karbonun spot fiyatındaki şoklardan vadeli fiyatındaki şoklara doğru %1 anlamlılık düzeyinde, petrol fiyatlarındaki şoklardan karbonun vadeli fiyatlarındaki şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Tablo 3: Hacker ve Hatemi-J Bootstrap Temelli Toda Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Sıfır Hipotezi	MWALD Test İstatistiği	Kritik Değerler			Optimal Gecikme
		%1	%5	%10	
F≠S	8,600	17,506	12,855	10,641	7
S≠F	338,074*	17,281	12,884	10,820	7
F≠P	0,838	7,064	3,815	2,673	2
P≠F	5,591**	7,166	4,041	2,778	2
F≠K	0,632	7,133	3,864	2,720	2

Tablo 3 devam

$K \neq F$	0,273	6,802	4,002	2,729	2
$S \neq K$	0,272	7,007	3,811	2,663	2
$K \neq S$	1,214	6,747	3,938	2,804	2
$S \neq P$	0,272	7,007	3,811	2,663	2
$P \neq S$	1,214	6,747	3,938	2,804	2
$S \neq K$	0,526	6,909	3,913	2,756	2
$K \neq S$	0,448	6,351	3,718	2,577	1

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını; P, petrol fiyatını; K, döviz kurunu temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir.

Ancak Hacker ve Hatemi-J Nedensellik Testi sonuçlarında gerek karbon fiyatları arasında gerekse karbon fiyatları ile petrol fiyatları arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin çıkmış olması, değişkenler arası bağlantının doğrusal olmayabileceğini, diğer bir ifade ile bu değişkenler arasında asimetrik nedensellik ilişkisinin olabileceğini de ifade etmektedir. Bu nedenle, uygulama kapsamı genişletilerek Hatemi-J Asimetrik Nedensellik Testleri yapılmıştır.

Bilindiği üzere, gelişmiş bir piyasada, spot ve vadeli fiyat arasındaki ilişkinin doğrusal olması ve vadeye yaklaştıkça spot ve vadeli fiyatın eşitlenmesi beklenir. Eğer bu eşitlik sağlanmıyorsa taşıma maliyeti modeli ile baz riski açıklanır (Chambers, 2010:27). İlişkilerin doğrusal olarak çıkmaması, karbon piyasalarında işlem yapan yatırımcıların taşıma maliyetleri modelini ve baz riskini özellikle dikkate alması gerektiğini ifade eder. Elde edilen bulgular, karbon piyasalarının halen yüksek düzeyde baz riski taşıyan piyasalar olduklarını göstermektedir.

4.2. Hatemi-J Asimetrik Nedensellik Testi Sonuçları

Karbon spot ve vadeli fiyatı arasındaki Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi sonuçları Tablo 4’te yer almaktadır. Buna göre karbonun spot fiyatındaki pozitif şoklardan vadeli fiyatındaki pozitif ve negatif şoklara doğru ve spot fiyattaki negatif şoklardan vadeli fiyattaki negatif ve pozitif şoklara doğru %1 anlamlılık düzeyinde bir asimetrik nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca vadeli fiyattaki negatif şoklardan spot fiyattaki pozitif şoklara doğru %1 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik ilişkisi mevcuttur.

Tablo 4: Karbonun Spot ve Vadeli Fiyatları Arasındaki Asimetrik Nedensellik İlişkisi

Sıfır Hipotezi	MWALD Test İstatistiği	Kritik Değerler			Optimal Gecikme
		%1	%5	%10	
$F(+)\neq S(+)$	0,410	9,586	6,111	4,619	2
$S(+)\neq F(+)$	138,080*	10,349	6,118	4,630	2
$F(-)\neq S(-)$	0,760	11,863	7,506	5,779	2
$S(-)\neq F(-)$	198,461*	12,825	7,828	5,939	2

Tablo 4 devam

F(+)\RightarrowS(-)	0,427	10,576	6,030	4,508	3
S(-)\RightarrowF(+)	29,320*	10,250	6,180	4,639	3
F(-)\RightarrowS(+)	11,769*	10,442	6,263	4,647	3
S(+)\RightarrowF(-)	27,235*	10,796	6,210	4,638	3

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal gecikme uzunluğu HJC kriteri ile belirlenmiştir.

Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi sonuçları oldukça ilginçtir. Çünkü spot fiyattaki pozitif veya negatif yönlü şoklardan, vadeli fiyatın hem pozitif hem de negatif yönlü şoklara doğru etkileneceği dikkat çekicidir. Bu bulgunun iki açıklaması söz konusu olabilir.

Birinci açıklama Wald test istatistiği katsayı değerleri ile yapılabilir. Tablo 4’te görüleceği üzere, spot fiyattaki pozitif yönlü şoklardan vadeli fiyattaki pozitif yönlü şoklara doğru nedensellik ilişkisi; yine spot fiyattaki negatif yönlü şoklardan vadeli fiyattaki negatif yönlü şoklara doğru asimetrik nedensellikten daha yüksek Wald test istatistiği katsayı değerlerine sahiptir. Diğer bir ifade ile aynı yönlü asimetrik nedensellik ilişkisini temsil eden istatistiksel değerler, ters yönlü asimetrik nedenselliğe ilişkin istatistiksel değerlerden yüksektir. Dolayısıyla, Wald test istatistiği katsayı değerlerine bağlı olarak, spot ve vadeli fiyat arasındaki ters yönlü şoklara göre asimetrik nedensellik ilişkisi %1 anlamlılık düzeyinde olsa da, istatistiksel değeri özyinelemeli olması açısından ters yönlü şoklarda zayıf ilişkidir. Bu nedenle spot ve vadeli fiyat arasındaki asimetrik nedenselliğin özellikle aynı yönlü şoklarda olduğu ifade edilebilir.

İkinci açıklama, “spot ve vadeli karbon piyasalarının etkinlik düzeyi”ne yönelik literatürde yer alan ampirik bulgularla yapılabilir.

Mizrach (2012)’nin benzer veri setleri ile yapmış olduğu çalışmada, Avrupa piyasalarında spot piyasaların olgunlaşma gösterdiği, vadeli piyasalarda ise politika belirsizlikleri nedeniyle bağımsız fiyat hareketlerinin yaşandığı ortaya konulmuştur. Arouri vd. (2012) ise, Avrupa piyasalarına yönelik yapmış oldukları çalışmada, spot ve vadeli karbon fiyatı arasında iki yönlü getiri etkileşimi ve volatilité yayılım etkisini açık olarak tespit etmiştir. Ayrıca, spot piyasalarına olan şokların spot ve vadeli fiyatlara olan etkisinin, vadeli piyasalara olan şokların bu fiyatlara etkisinden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, spot ve vadeli fiyatlar arasında asimetrik ve doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koyarak, hem spot hem de vadeli fiyatların, doğrusal olmayan bir şekilde dinamik fiyat bulma süreçlerine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Dalgalanma dönemlerinde ise spot piyasanın vadeli piyasaya göre daha hızlı bir geçiş hızına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni; vadeli piyasaya göre spot piyasanın daha yüksek likiditeye sahip olması, açığa satış işlemlerine izin verilmesi ve yüksek düzeydeki arz-talep esnekliğine sahip olması ile açıklanmıştır.

Dolayısıyla gerek Mizrach (2012) gerekse Arouri vd. (2012)’nin yapmış oldukları çalışmalar ile bu çalışma kapsamında yapılan asimetrik nedensellik testi sonuçları belirli ölçüde örtüşmektedir. Tablo 4’te görülen sonuçların, literatüre benzer bir şekilde, (i) spot fiyata olan şokların etkisinin, vadeli fiyata olan şokların etkisinden yüksek olduğuna, (ii) spot

piyasalardaki olgunlaşma seviyesinin daha yüksek olduğuna ve (iii) vadeli piyasalarda bağımsız fiyat hareketlerinin yaşandığına yönelik bulguları destekleyici sonuçlar olduğu ifade edilebilir.

Tablo 5'te, petrol fiyatı ile karbon spot ve vadeli fiyatı arasındaki Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi sonuçları yer almaktadır. Bulgulara göre; petrol fiyatı ile karbonun spot fiyatı ilişkisinde; petrol fiyatındaki pozitif şokların spot fiyattaki pozitif şoklara doğru, petrol fiyatındaki negatif şoklardan spot fiyattaki negatif şoklara doğru, spot fiyattaki negatif şoklardan ise petrol fiyatındaki negatif şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Tablo 5: Petrol Fiyatı ve Karbon Fiyatları Arasındaki Asimetrik Nedensellik İlişkisi

Sıfır Hipotezi	MWALD Test İstatistiği	Kritik Değerler			Optimal Gecikme
		%1	%5	%10	
F(+) \nrightarrow P(+)	1,218	7,926	3,882	2,702	2
P(+) \nrightarrow F(+)	6,527**	7,07	3,859	2,723	2
F(-) \nrightarrow P(-)	2,808	9,409	5,540	4,033	1
P(-) \nrightarrow F(-)	5,262**	7,548	4,672	3,363	1
F(+) \nrightarrow P(-)	0,502	8,005	3,775	2,565	2
P(-) \nrightarrow F(+)	3,596***	7,727	3,845	2,631	2
F(-) \nrightarrow P(+)	0,207	7,295	3,686	2,656	2
P(+) \nrightarrow F(-)	0,742	7,479	3,915	2,667	2
S(+) \nrightarrow P(+)	0,222	7,046	3,883	2,694	2
P(+) \nrightarrow S(+)	6,293**	7,598	3,869	2,709	2
S(-) \nrightarrow P(-)	5,656**	10,695	7,143	5,266	1
P(-) \nrightarrow S(-)	6,089**	8,308	5,239	3,803	1
S(+) \nrightarrow P(-)	0,290	8,530	4,048	2,685	2
P(-) \nrightarrow S(+)	0,256	8,075	3,874	2,666	2
S(-) \nrightarrow P(+)	0,227	7,080	3,836	2,664	2
P(+) \nrightarrow S(-)	0,228	7,102	3,805	2,605	2

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını; P, petrol fiyatını temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal gecikme uzunluğu HJC kriteri ile belirlenmiştir.

Petrol fiyatı ile karbonun vadeli fiyatı ilişkisinde ise; petrol fiyatındaki pozitif şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki pozitif şoklara doğru ve petrol fiyatındaki negatif şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki negatif şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde; petrol fiyatındaki negatif şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki pozitif şoklara doğru %10 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik söz konusudur.

Tablo 5'ten görüleceği üzere, petrol fiyatındaki negatif yönlü şoklardan, vadeli fiyatın hem pozitif hem de negatif yönlü şoklara doğru etkilenmesi söz konusudur. Burada, Wald Test İstatistiği katsayı değerlerinin büyüklüğü göz önüne alındığında, petrol fiyatındaki negatif yönlü şoklardan vadeli fiyattaki negatif yönlü şoklara doğru asimetrik nedensellik ilişkisi; petrol fiyatındaki negatif yönlü şoklardan vadeli fiyattaki pozitif yönlü şoklara doğru asimetrik nedensellikten daha yüksek Wald test istatistiği katsayı değerlerine sahiptir. Başka bir deyişle, negatif şoklardan negatif şoklara doğru olan asimetrik nedensellik ilişkisini temsil eden istatistikî değerler, ters yönlü asimetrik nedenselliğe ilişkin istatistikî değerlerden yüksektir. Dolayısıyla, Wald test istatistiği katsayı değerlerine bağlı olarak, petrol fiyatındaki negatif şoklardan ve vadeli fiyata doğru ters yönlü şoklara göre %10 anlamlılık düzeyindeki asimetrik nedensellik ilişkisi, istatistik değeri özyinelemeli olması açısından zayıf ilişkidir. Bu nedenle petrol ve vadeli fiyat arasındaki asimetrik nedenselliğin petrol fiyatındaki negatif şoklardan vadeli fiyata doğru tek yönlü olduğu ve özellikle negatif yönlü şoklarda etkili olduğu ifade edilebilir.

Petrol fiyatı ile karbonun spot ve vadeli fiyatı arasında farklı anlamlılık düzeylerinde asimetrik nedensellik ilişkisinin tespit edilmesi, karbon piyasalarında riskin öngörülmesinde, petrol piyasalarının dikkate alınmasına ilişkin Dutta (2018) ile Luo & Wu (2016)'nın bulguları ile örtüşmektedir.

Dutta (2018), asimetrik bağlantılarının olması bakımından petrol piyasası belirsizliğine ilişkin bilgilerin, karbon piyasasındaki riskin öngörülmesinde ve çeşitlendirilmesinde yatırımcılar ve politika yapıcılar açısından önemli ve yararlı olduğunu, Luo & Wu (2016) ise karbon spot fiyatının, ham petrol fiyatları ile pozitif korelasyonlu olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında yapılan petrol fiyatı ile karbon fiyatı arasındaki asimetrik nedensellik testi sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu ifade edilebilir. Bu çalışma ile elde edilen bulguların, karbon ticaretindeki en önemli takas mekanizması işlevini gören Avrupa karbon piyasalarının, petrol piyasası gibi farklı bir piyasayla entegre olduğuna yönelik bulguları desteklemesi bakımından yatırımcılar ve politika yapıcılar açısından önem taşımaktadır.

Tablo 6'da, Avro/ABD Doları paritesi ile karbon fiyatları arasındaki Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi sonuçları gösterilmektedir. Tabloda yer alan sonuçlara göre, döviz kurundaki negatif şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki negatif şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde ilişki tespit edilmişken; döviz kurundaki pozitif şoklardan vadeli fiyattaki negatif şoklara doğru %10 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Tablo 6: Döviz Kuru ve Karbon Fiyatları Arasındaki Asimetrik Nedensellik İlişkisi

Sıfır Hipotezi	MWALD Test İstatistiği	Kritik Değerler			Optimal Gecikme
		%1	%5	%10	
F(+) \Rightarrow K(+)	0,126	6,753	3,883	2,685	2
K(+) \Rightarrow F(+)	0,044	7,074	3,757	2,605	2
F(-) \Rightarrow K(-)	1,356	9,708	5,949	4,205	1
K(-) \Rightarrow F(-)	6,478**	7,301	4,620	3,345	1
F(+) \Rightarrow K(-)	1,829	6,989	3,885	2,719	2
K(-) \Rightarrow F(+)	0,224	7,249	3,949	2,729	2

Tablo 6 devam

F(-)⇌K(+)	0,128	7,278	3,797	2,600	2
K(+)⇌F(-)	2,742***	7,746	3,959	2,673	2
S(+)=K(+)	0,222	7,046	3,883	2,694	2
K(+)=S(+)	6,293**	7,598	3,869	2,709	2
S(-)=K(-)	5,656**	10,695	7,143	5,266	1
K(-)=S(-)	6,089**	8,308	5,239	3,803	1
S(+)=K(-)	0,290	8,530	4,048	2,685	2
K(-)=S(+)	0,256	8,075	3,874	2,666	2
S(-)=K(+)	0,227	7,080	3,836	2,664	2
K(+)=S(-)	0,228	7,102	3,805	2,605	2

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını; K, döviz kuru temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal gecikme uzunluğu HJC kriteri ile belirlenmiştir.

Döviz kuru ile karbonun spot fiyatı arasındaki asimetrik nedensellik ilişkisinde ise döviz kurundaki pozitif şoklardan spot fiyattaki pozitif şoklara doğru, kurdaki negatif şoklardan spot fiyattaki negatif şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca spot fiyattaki negatif şoklardan döviz kurundaki negatif şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde asimetrik nedensellik ilişkisi de söz konusudur.

4.3. Hafner-Herwartz Varyans Nedensellik Testi Sonuçları

Karbonun spot ve vadeli fiyatlarının varyansı ile petrol fiyatları ve döviz kuru varyansları arasındaki Hafner-Herwartz Varyans Nedensellik Testi sonuçları Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7: Varyans Nedensellik Testi Sonuçları

Sıfır Hipotezi	LM Test İstatistiği	Olasılık
S⇌F	0,156	0,9247
F⇌S	168,648*	0,0000
P⇌F	1,307	0,5203
F⇌P	1,864	0,3938
K⇌F	1,165	0,5586
F⇌K	1,674	0,4330
K⇌S	0,955	0,6204
F⇌S	2,149	0,3414
P⇌S	1,311	0,5192
S⇌P	1,607	0,4478

Not-1: F, karbonun vadeli fiyatını; S, karbonun spot fiyatını; P, petrol fiyatını; K, döviz kuru temsil etmektedir.

Not-2: “*”, “**”, “***” sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 7’de yer alan Hafner-Herwartz varyans nedensellik testi sonuçlarına göre, karbon fiyatları ile petrol ve döviz kuru arasında herhangi bir varyans nedensellik tespit edilemezken,

karbonun vadeli fiyatındaki varyanstan spot fiyatı varyansına doğru %1 anlamlılık seviyelerinde güçlü bir nedensellik tespit edilmiştir. Varyansta nedensellik ilişkisi, değişkenlerden birinde meydana gelen oynaklığın (volatilitenin), diğer değişkendeki volatiliteyi etkilediğini temsil etmesi bakımından önemlidir. Dolayısıyla vadeli fiyattaki oynaklığın, spot fiyattaki oynaklığın nedeni olduğu görülmüştür. Ancak aynı nedensellik ilişkisinin spot fiyattan vadeli fiyata doğru gerçekleşmediği anlaşılmıştır.

5. Sonuç

Çalışmada, kapsamında yapılan nedensellik testleri ile elde edilen bulgular özet olarak ifade edilirse; (i) Asimetrik olmayan bir yöntem olan Hacker ve Hatemi-J Bootstrap Temelli Toda Yamamoto Nedensellik Testi sonuçlarına göre; karbonun spot fiyatındaki şoklardan vadeli fiyatındaki şoklara doğru %1 anlamlılık düzeyinde, petrol fiyatındaki şoklardan karbonun vadeli fiyatındaki şoklara doğru %5 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Bulgular genelleştirildiğinde, değişkenler arasındaki nedenselliğin doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. (ii) Asimetrik bir yöntem olan Hatemi-J Asimetrik Nedensellik Testi sonuçlarına göre neredeyse tüm değişkenler arasında farklı anlamlılık düzeylerinde ortalamada asimetrik nedensellikler tespit edilmiştir. Dolayısıyla değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (iii) Hafner-Herwartz varyans nedensellik testi sonuçlarına göre, karbon fiyatları ile petrol ve döviz kuru arasında herhangi bir varyans nedensellik tespit edilememiştir. Dolayısıyla oynaklık açısından karbon piyasaları ile diğer piyasalar arasında bir nedensellik ilişkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Karbonun vadeli fiyatındaki varyanstan spot fiyatı varyansına doğru %1 anlamlılık seviyelerinde güçlü bir nedensellik tespit edilmiştir. Böylece vadeli fiyatlardaki oynaklığın, spot fiyattaki oynaklığın önemli bir nedeni olduğu ortaya konulmuştur. Sonuç olarak; karbon piyasalarının, petrol ve döviz piyasaları gibi diğer piyasalarla karşılıklı etkileşim içerisinde oldukları, bu etkileşimlerin doğrusal olmadığı –asimetrik olduğu– ve piyasalar arasında tam bir eşgüdümün henüz gerçekleşmediği görülmüştür. Buna karşın yatırımcıların, karbon piyasalarındaki fiyatlama ve risk çeşitlendirme süreçlerinde duyacakları bilgi gereksinimini sağlamak üzere, emtia piyasalarına ve para piyasalarına da bakmaları gerektiği bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Benzer bir şekilde, karbon piyasaları üzerine politika yapımcılarının da gerekli gözetim, denetim ve regülasyon politikalarının oluşturulması süreçlerinde hem karbon piyasalarının birbirleri arasındaki etkileşimlerini, hem de emtia ve para piyasaları gibi diğer piyasalarla olan etkileşimlerini göz önünde bulundurmalarının gerekliliği, bu çalışmanın bir diğer sonucudur.

Karbon piyasalarının, gelişmiş ülkelerde dahi “gelişmiş piyasa” konumuna gelememiş olması nedeniyle, karbonun spot ve vadeli fiyatlarının birbirleriyle olan nedenselliklerinin düşük düzeyde çıkması beklenmekteydi. Literatürde spot piyasaların gerekli gelişimi sağlamışken, vadeli piyasaların belirsizlikler nedeniyle henüz gelişimini tamamlayamadığına ilişkin bulgular elde edilmiştir (Mizrach, 2012:335). Benzer şekilde, bu çalışma ile yapılan asimetrik nedensellik testleri, spot fiyattan, vadeli fiyata doğru asimetrik bir nedenselliğin oldukça yüksek seviyede (%1 anlamlılık düzeyinde) olduğunu ortaya koymuştur. Ancak aynı etkinin vadeli fiyattan, spot fiyata doğru olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla bulgular, beklentiyi doğrular nitelikte olup, karbon piyasalarının her ne kadar güçlü nedensellikler tespit edilmiş olsa da bunların asimetrik ve spot fiyattan vadeli fiyata doğru olmaları nedeniyle karbon piyasalarının henüz beklenen

düzeyle gelişmediği ifade edilebilir. Ayrıca spot piyasadaki negatif veya pozitif şoklardan, vadeli piyasalardaki pozitif veya negatif şoklara doğru olması da beklentilerden oldukça farklı diğer bir bulgudur. Bununla birlikte varyansta nedenselliğe ulaşılammış olması da örnekleme dahil edilen piyasaların yapısına yönelik önemli bir bulgudur. Bu çalışmada, karbon piyasaları açısından en gelişmiş piyasalardan olan iki Avrupa piyasasının analiz edildiği göz önünde bulundurulduğunda, piyasalardaki gelişmişliğin henüz düşük seviyelerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bilindiği üzere, gelişmiş bir piyasada, spot ve vadeli fiyat arasındaki ilişkinin doğrusal olması ve vadeye yaklaştıkça spot ve vadeli fiyatın eşitlenmesi beklenir. Eğer bu eşitlik sağlanmıyorsa taşıma maliyeti modeli ile baz riski açıklanır (Chambers, 2010:27). İlişkilerin doğrusal çıkmaması, karbon piyasalarında işlem yapan yatırımcıların taşıma maliyeti modelini ve baz riskini özellikle dikkate alması gerektiğini ifade etmektedir. Elde edilen bulgular neticesinde, karbon piyasalarının halen yüksek düzeyde baz riski taşıyan piyasalar oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Bununla birlikte bulgular, karbon piyasalarında doğrusal olmayan yöntemlerle analiz yapılması gerektiğini göstermesi bakımından da önem taşımaktadır. Bu nedenle takip edilen çalışmalarda da, doğrusal modellerle birlikte doğrusal olmayan modellerin kullanımına devam edilmelidir. Ayrıca, karbon piyasalarına yönelik çalışmaların farklı piyasalarla ve farklı ekonometrik yöntemlerle analiz edilmesi, özellikle piyasaların etkinlik analizlerinin, eşbütünleşme analizlerinin ve nedensellik analizlerinin yapılmasının, karbon piyasalarına özellikle yatırımcı odaklı yaklaşan akademisyenlerin araştırması gereken konular oldukları görülmüştür.

Konu, Türkiye'deki gönüllü karbon piyasaları açısından ele alındığında ise literatürdeki çalışmaların özellikle teorik düzeyde olduğu, bu çalışmaların gelecekte kurulabilecek zorunlu karbon piyasaları için önemli önerileri içerdiği görülmüştür. Literatürde, gönüllü azaltım yapan ülkeler üzerine oldukça sınırlı ampirik analizler söz konusudur. Halihazırda gönüllü karbon emisyonu azaltımı yapan ülkelerden olan Türkiye'de, sistematik veri akışının sağlanması ve teorik önermelerin hipotezler haline getirilerek Türkiye için sınanabileceği veri olanaklarının akademisyenler ve araştırmacılar için sağlanması gerekmektedir.

Kaynakça

- Arı, İ. (2010). İklim değişikliği ile mücadelede emisyon ticareti ve Türkiye uygulaması, Ankara.
- Arı, A., & Zeren, F. (2011). CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi. Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(2), 37-47.
- Arı, İ. (2013). Voluntary emission trading potential of Turkey. Energy Policy, 62, 910-919.
- Arouri, M. E. H., Jawadi, F., & Nguyen, D. K. (2012). Nonlinearities in carbon spot-futures price relationships during phase II of the EU ETS. Economic Modelling, 29(3), 884-892.
- Bailey, I. (2010). The EU emissions trading scheme. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(1), 144-153.
- Barbier, E. (2011). The policy challenges for green economy and sustainable economic development. In Natural Resources Forum, 35(3), 233-245.
- Başsüllü, Ç., & Tolunay, A. (2015). Dünya genelindeki emisyon ticaret sistemleri ve karbon borsaları. Erişim Tarihi:10.02.2018, https://www.academia.edu/19421838/D%C3%BCnya_Genelindeki_Emisyon_Ticaret_Sistemleri_ve_Karbon_Borsalar%C4%B1.

- Bayramoğlu, M. F., Tay Bayramoğlu, A., & Ergün, M. A. (2019). Döviz kuru ve petrol fiyatları arasındaki ilişkinin ortalamada ve varyansta nedensellik testi ile analizi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(5), 2112-2123.
- Betsill, M., & Hoffmann, M. J. (2011). The contours of “cap and trade”: The evolution of emissions trading systems for greenhouse gases. *Review of Policy Research*, 28(1), 83-106.
- Binboğa, G. (2014). Uluslararası karbon ticareti ve Türkiye/International carbon trade and Turkey. *Journal of Yaşar University*, 9(34), 5732-5759.
- Bloomberg, M., & Pope, C. (2017). *Climate of hope: How cities, businesses, and citizens can save the planet*. New York: St. Martin’s Press.
- Bréchet, T., Ménière, Y., & Picard, P. M. (2016). The clean development mechanism in a world carbon market. *Canadian Journal of Economics/Revue Canadienne D’économique*, 49(4), 1569-1598.
- Calel, R. (2011). *Climate change and carbon markets: A panoramic history*. Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper, No: 62.
- Chambers, N. (2010). *Türev piyasalar*. İstanbul: Beta Basım Yayın.
- Cheung, Y. W., & Ng, L. K. (1996). A causality-in-variance test and its application to financial market prices. *Journal of Econometrics*, 72(1-2), 33-48.
- Cui, L., & Huang, Y. (2017). Exploring the schemes for green climate fund financing: International lessons. *World Development*, 101, 173-187.
- Çelikkol, H., & Özkan, N. (2011). Karbon piyasaları ve Türkiye perspektifi. *Dumlupınar Üniversitesi*, 31, 203-222.
- Demireli, E., & Hepkorucu, A. (2010). Çevre finansmanı: Kavramsal bir yaklaşımla karbon finans borsası. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 2(2), 37-48.
- Dickey, D. A., & Fuller W. A. (1979). Distribution of the estimations for autoregressive time series with a unit root. *Journal Of American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Dutta, A. (2018). Modeling and forecasting the volatility of carbon emission market: The role of outliers, time-varying jumps and oil price risk. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2773-2781.
- Economics, V. (2017). *State and trends of carbon pricing 2017*. Washington.
- EEX. (2019). Data. Erişim Tarihi: 12.02.2019, <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction/european-emission-allowances-auction-download>
- EIA. (2019). Data. Erişim Tarihi: 12.03.2019, https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm
- Eichner, T., & Pethig, R. (2011). Carbon leakage, the green paradox and perfect future markets. *International Economic Review*, 52(3), 767-805.
- Ekinci, F., & Gönençgil, B. (2015). Dünya karbon emisyon piyasalarında Türkiye’nin yeri. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu 2015.
- Fan, Y., Wu, J., Xia, Y., & Liu, J. Y. (2016). How will a nationwide carbon market affect regional economies and efficiency of CO2 emission reduction in China?. *China Economic Review*, 38, 151-166.
- Feng, Z. H., Zou, L. L., & Wei, Y. M. (2011). Carbon price volatility: Evidence from EU ETS. *Applied Energy*, 88(3), 590-598.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Granger, C. W., & Yoon, G. (2002). Hidden cointegration. U of California, Economics Working Paper, (2002-02).

- Guivarch, C., & Monjon, S. (2017). Identifying the main uncertainty drivers of energy security in a low-carbon world: The case of Europe. *Energy Economics*, 64, 530-541.
- Hacker, R. S., & Hatemi-J, A. (2006). Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: Theory and application. *Applied Economics*, 38(13), 1489-1500.
- Hatemi-J, A. (2003). A new method to choose optimal lag order in stable and unstable VAR models. *Applied Economics Letters*, 10(3), 135-137.
- Hafner, C. M., & Herwartz, H. (2006). A lagrange multiplier test for causality in variance. *Economics Letters*, 93(1), 137-141.
- Hatemi-J, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical Economics*, 43(1), 447-456.
- Helleiner, E., & Thistlethwaite, J. (2013). Subprime catalyst: Financial regulatory reform and the strengthening of US carbon market governance. *Regulation & Governance*, 7(4), 496-511.
- Hsiao, C. (1981). Autoregressive modelling and money-income causality detection. *Journal of Monetary Economics*, 7(1), 85-106.
- ICE Future Prices. (2019). Data. Erişim Tarihi: 12.03.2019, <https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>
- Investing. (2019). Data. Erişim Tarihi: 12.03.2019, <https://tr.investing.com/currencies/eur-usd-historical-data>
- Kyngas, H., & Rissanen, M. (2001). Support as a crucial predictor of good compliance of adolescents with a chronic disease. *Journal of Clinical Nursing*, 10(6), 767-774.
- Lederer, M. (2012). Market making via regulation: The role of the state in carbon markets. *Regulation & Governance*, 6(4), 524-544.
- Lee, S. Y. (2012). Corporate carbon strategies in responding to climate change. *Business Strategy and the Environment*, 21(1), 33-48.
- Luo, L., Lan, Y. C., & Tang, Q. (2012). Corporate incentives to disclose carbon information: Evidence from the CDP global 500 report. *Journal of International Financial Management & Accounting*, 23(2), 93-120.
- Luo, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 149, 297-301.
- Mizrach, B. (2012). Integration of the global carbon markets. *Energy Economics*, 34(1), 335-349.
- Mol, A. P. (2012). Carbon flows, financial markets and climate change mitigation. *Environmental Development*, 1(1), 10-24.
- Narin, M. (2013). Kyoto protokolü esneklik mekanizması: Emisyon ticareti. *International Conference on Eurasian Economies*, 17-18.
- Özsoy, C. E. (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198-215.
- Öztürk, A., Demirci, U., & Türker, M. F. (2011). İklim değişikliği ile mücadelede karbon piyasaları ve Türkiye için bir değerlendirme. *Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*.
- Pata, U. K. (2018). Türkiye'de enflasyon, tasarruf ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin simetrik ve asimetric nedensellik testleri ile analizi. *Maliye Dergisi*, 174, 92-111.
- Peng, J., Sun, J., & Luo, R. (2015). Corporate voluntary carbon information disclosure: Evidence from China's listed companies. *The World Economy*, 38(1), 91-109.
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.

- Qi, T., & Weng, Y. (2016). Economic impacts of an international carbon market in achieving the INDC targets. *Energy*, 109, 886-893.
- Sims, C. A. (1972). Money, income and causality. *The American Economic Review*, 62(4), 540-552.
- Sun, D., Sun, J., Zhang, X., Yan, Q., Wei, Q., & Zhou, Y. (2016). Carbon markets in China: Development and challenges. *Emerging Markets Finance and Trade*, 52(6), 1361-1371.
- Tay Bayramoğlu, A., & Yildirim, E. (2017). The relationship between energy consumption and economic growth in the USA: A Non-Linear ARDL bounds test approach. *Energy and Power Engineering*, 9(3), 170-186.
- Tay Bayramoğlu, A., Çetin, M., & Karabulut, G. (2016). The impact of biofuels demand on agricultural commodity prices: Evidence from U.S corn market. *Journal of Economics and Development Studies*, 4(2), 189-206.
- Tay Bayramoğlu, A., & Koç Yurtkur, A. (2016). Türkiye’de karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(4), 31-46.
- Thomson Reuters (2018). Carbon market monitor. Erişim Tarihi: 18.06.2019 <http://www.comex.kz/images/acer/2017.pdf>
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Xia, Y., & Tang, Z. (2017). The impacts of emissions accounting methods on an imperfect competitive carbon trading market. *Energy*, 119, 67-76.
- Yalçın, A. Z. (2010). Sürdürülebilir kalkınma için düşük karbon ekonomisinin önemi ve Türkiye için bir değerlendirme. *Balıkesir University Journal of Social Sciences Institute*, 13(24), 186-203.
- Yılandı, V., & Bozoklu, Ş. (2014). Türk sermaye piyasasında fiyat ve işlem hacmi ilişkisi: Zamanla değişen asimetrik nedensellik analizi. *Ege Academic Review*, 14(2), 211-220.
- Yılmaz, A., & Altay, H. (2016). Examining the cointegration relationship and volatility spillover between imported crude oil prices and exchange rate: The Turkish case. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 16(4), 655-671.