

HİDROELEKTRİK ENERJİ TÜKETİMİNİN ÇEVRE ÜZERİNE ETKİSİNİN SÜREKLİ DALGACIK UYUMU MODELİ İLE ARAŞTIRILMASI: ABD ÖRNEĞİ*

Sevda KUŞKAYA**

Faik BİLGİLİ***

ÖZ

Küresel ısınma en önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Küresel ısınmanın temel nedenlerinden birisi, fosil yakıt kullanımı neticesinde oluşan CO₂ emisyonudur. Hem bu soruna çözüm getirmek hem de enerji kaynaklarının kısıtlı olması, toplumları fosil yakıt kullanımına alternatif olabilecek enerji kaynaklarını kullanmaya yöneltmiştir. Bu durum ise yenilenebilir enerjilerin CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerinin belirlenmesini gündeme getirmiştir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından, hidroelektrik enerji kullanımı ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki, ABD için incelenmiştir. Araştırmada analiz yöntemi olarak dalgacık uyumu (wavelet coherence) yöntemlerinden birisi olan Morlet dalgacık uyumu modeli kullanılmıştır. Analiz değişkenleri; hidroelektrik enerji tüketimi, toplam biyokütle enerji tüketimi, sanayi üretim endeksi (SÜE), toplam fosil yakıt tüketimi, nükleer enerji tüketimi ve toplam CO₂ emisyonu şeklinde belirlenmiştir. Analiz neticesinde hidroelektrik kullanımının (TBiyokütle, TFosil, Nükleer ve SÜE kontrol değişkeni iken) 2015:1-2015:12 döneminde, CO₂ emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kavramlar: Küresel Isınma, Çevre Kirliliği, CO₂ Emisyonu, Hidroelektrik Enerji, Morlet Dalgacık Uyumu.

* Bu çalışma, Sevda Kuşkaya tarafından yazılan “Küresel Isınmanın Kontrol Altına Alınmasında Takip Edilen Enerji Politikalarının Etkinliği: Bir Sürekli Dalgacık Uyumu Modeli Yaklaşımı” başlıklı doktora tezinden türetilmiş ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından SDK-2017-7332 kodlu proje ile desteklenmiştir.

** Öğr. Gör. Dr., Erciyes Üniversitesi, Adalet Meslek Yüksekokulu, Hukuk Bölümü, skuskaya@erciyes.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4527-5713>.

*** Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, fbilgili@erciyes.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4138-6897>.

Makalenin gönderilme tarihi: 14 Mayıs 2019

Kabul tarihi: 19 Şubat 2020

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROELECTRIC ENERGY CONSUMPTION ON THE ENVIRONMENT BY USING A CONTINUOUS WAVELET COHERENCE MODEL: CASE OF USA

ABSTRACT

Global warming is the most important environmental problems. The most important reason for global warming is the CO₂ emission resulting from the use of fossil fuels. Both the solution to this problem and the limited resources of energy have led the societies to use the energies that could be an alternative to the use of fossil fuels. This situation necessitated the determination of the effects of renewable energies on CO₂ emissions.

In this paper, the relationship between the carbon dioxide (CO₂) emission of hydroelectric energy use, which is one of the renewable energy source, has been examined for USA. Morlet wavelet coherence model which is one of the wavelet coherence methods has been used as the method of analysis. In the analysis, hydroelectric energy consumption, total biomass energy consumption, industrial production index, total fossil fuel consumption, nuclear energy consumption and total CO₂ emission were preferred as variables. As a result of the analysis, it was determined that the use of hydroelectricity (while TBiomass, TFossil, Nuclear and IP were control variable) decreased the CO₂ emission in the 1 ~ 3 frequency band, 2015: 1-2015: 12 period. In this context, it is foreseen that more efficient production can be achieved from hydroelectric energy in terms of CO₂ emission.

Keywords: Global Warming, Environmental Pollution, CO₂ Emission, Hydroelectric Energy, Morlet Wavelet Coherence.

GİRİŞ

Küresel ısınma, ülkelerin mücadele etmek zorunda oldukları en önemli çevre sorunlarının başında yer almaktadır. Bu problemin en büyük tetikleyicilerinden birisi, enerji kullanımı kaynaklı oluşan karbon dioksit (CO₂) emisyonudur (EPA, 2019). Artan nüfus ve beraberinde getirdiği enerji talebi bu problemin her geçen gün çözülmesi için alternatif yolların aranmasını gündeme getirmiştir. Söz konusu alternatif yollardan birisi de enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasıdır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin araştırılması gerekliliğinin önemini artırmıştır.

Bu nedenle çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan hidroelektrik enerji kullanımının CO₂ üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışacaktır. Bu amaç doğrultusunda (i) verilerine ulaşılabilirlik (ii) sera gazı emisyonu açısından dünyadaki ikinci ülke olması (EPA, 2019; [Ritchie ve Roser, 2018](#);

WRI, 2019) (iii) enerji verilerinin yüksek frekansa sahip olması nedeniyle Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin durumu incelenecektir.

1989:1-2017:8 döneminin dikkate alındığı çalışmada, analiz yöntemi olarak dalgacık uyumu (wavelet coherence) yöntemlerinden birisi olan Morlet dalgacık uyumu modeli tercih edilmiştir. Dalgacık uyumu yöntemi, değişkenlerin hem zaman hem de frekans boyutunda analiz edilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca, hem bütün alt örneklem için iki değişken arasında (bu makalenin bağımlı ve bağımsız değişken diye tanımlayabileceği hidroelektrik enerji kullanımı ve enerji kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonu arasında) hem de diğer ilgili kontrol değişkenler (bu makalenin kontrol değişkenleri olan; toplam biyokütle enerjisi tüketimi, sanayi üretim endeksi, toplam fosil yakıt tüketimi ve nükleer enerji tüketimi) takip ederek, değişkenler arasındaki nedenselliğin var olup olmadığını araştırmaktadır. Böylece dalgacık ve kısmi dalgacık uyumu analizleri ile çalışma, değişkenler arasındaki nedenselliğin hangi dalga boyutunda mevcut olduğunu ve bu nedensellikte hangi değişkenin öncül ve hangi değişkenin takip eden değişken olduğu hakkında bilgi vermektedir.

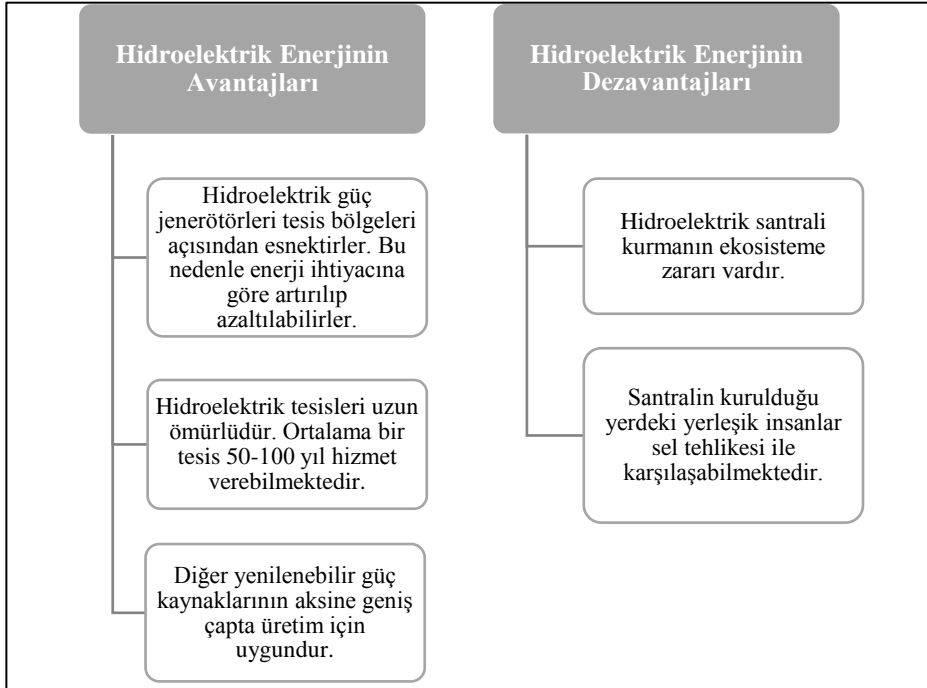
Bu bağlamda çalışma beş bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde hidroelektrik enerji hakkında bilgi verilmiş, ikinci bölümde literatür özeti yer almıştır. Devam eden bölümde analizde kullanılan yöntem açıklanmıştır. Son iki bölüm ise veri seti ve analiz bulgularına yer verilmiştir.

1. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Energiler kaynak bakımından; yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynağı, salınımı insan müdahalesine bağlı olan ve statik enerji depolarından elde edilebilen enerjidir. Bu enerji, pratikte izole edilmiş bir potansiyele sahiptir ve enerji akımını başlatmak için bir dış etkiye ihtiyaç duymaktadır (Acaroğlu, 2007). Yenilenemeyen enerji kaynakları; doğal gaz, kömür, petrol ve nükleer (uranyum, toryum) enerji şeklinde sıralanabilmektedir. Bu kaynaklar fosil enerji kaynakları olarak da adlandırmaktadır.

Yenilenebilir enerji ise, doğal çevreden sürekli veya tekrarlamalı olarak devam eden enerjidir. Bu kaynaklar; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan hidroelektrik enerjisi, şelale ya da akan suyun, yer çekimi kuvvetini kullanarak elektrik üretilmesiyle ortaya çıkmaktadır (Bhattacharjee, 2012). Hidroelektrik enerji kullanımının birtakım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar Şema 1' de yer almaktadır.

Şema 1. Hidroelektrik Enerji Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları



Kaynak: Bhattacharjee, Anindita (2012), Everything You Need to Know About The Types of Renewable Energy, Brainmass Inc.

Şema 1’de hidroelektrik enerji kullanımının, enerji ihtiyacına göre esnek olması ve tesis ömrünün uzun ömürlü olmasının yanı sıra, uygun şekilde kurulamayan hidroelektrik enerji santrallerinin çevreye zararlı olabilecekleri belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tablo 1’de yer alan literatür özeti, enerji kaynakları kullanımı ve sera gazı emisyonları arasındaki ilişkiyi araştıran ampirik çalışmaları içermektedir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar(lar)	Ülke	Dönem	Değişkenler	Yöntem	Sonuç
Liaskas Mavrotas, Mandaroke ve Diakoulaki (2000)	AB'ye üye 13 ülke	1973-1993	Hasıla seviyesi, enerji yoğunluğu, yakıt karışımı, yapısal değişim	Cebirsel ayrıştırma yöntemi	CO ₂ emisyonlarını, ekonomik büyümeyi olumsuz yönde etkilemeden azaltmak mümkündür
Ang (2007)	Fransa	1960-2000	CO ₂ emisyonu, enerji tüketimi, reel GSYİH	Eşbütünleşme ve Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM)	Değişkenler arasında uzun vadeli güçlü bir ilişki vardır.
Halıcioğlu (2009)	Türkiye	1960-2005	CO ₂ emisyonu, enerji tüketimi, gelir, dış ticaret	Granger nedensellik ve ARDL (Autoregressive Distributed Lag/Otoregresif Dağıtılmış Gecikme)	Türkiye'de uzun dönemde karbon emisyonunun; enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret tarafından belirlenmektedir.
Apergis Payne, Menyah ve Rufael (2010)	Gelişmiş ve gelişmekte olan 19 ülke	1984-2007	CO ₂ emisyonu, nükleer enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme	Panel hata düzeltme modeli	Uzun dönemde nükleer enerji kullanımının, CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır
Hossain (2011)	Yeni sanayileşen ülkeler	1971-2007	CO ₂ emisyonu, enerji tüketimi, ekonomik büyüme, ticari açıklık, kentleşme	Panel birim kök ve Granger nedensellik analizi	Uzun dönemde değişkenler arasında nedensellik ilişkisi vardır.
Bilgili (2012)	ABD	1990:1-2011:11	Biyokütle enerji tüketimi, CO ₂ emisyonu, fosil yakıt	Rejim değişimli eşbütünleşme analizi (cointegration analysis with regime shift)	Fosil yakıt kullanımının CO ₂ emisyonunu pozitif yönde etkilerken, biyokütle kullanımının CO ₂ emisyonunu negatif yönde etkilemektedir.
Haggar (2012)	Kanada	1990-2007	Sera gazı emisyonu, enerji tüketimi, ekonomik büyüme	VECM ve Granger nedensellik	Uzun dönemde enerji tüketimi, sera gazı emisyonu üzerinde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı etkiye sahiptir.
Akhmat, Zaman, Shukui, İrfan ve Khan (2014)	Güney Asya Bölge İş Birliği (SAARC)	1975-2011	Enerji tüketimi, çevre kirleticileri	Granger nedensellik	CO ₂ ile enerji tüketimi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.

Gul, Zou, Hassan, Azam ve Zaman (2015)	Malezya	1975-2013	Enerji tüketimi, CO ₂ emisyonu	Maksimum entropi bootstrap (Meboot) yaklaşımı	Enerji tüketiminden CO ₂ emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik vardır.
Bilgili vd. (2016)	ABD	1983:1-2015:2	CO ₂ emisyonu, biyokütle tüketimi, kömür tüketimi, petrol tüketimi, doğalgaz tüketimi	Morlet dalgacık uyumu modeli	Biyokütle tüketimi hem uzun hem de kısa dönemde ABD'nin CO ₂ emisyonunu azaltmada etkilidir.
Lee ve Chong (2016)	ABD	1973-2012	Enerji kullanımı, enerji fiyatları, CO ₂ emisyonu	Granger nedensellik testi ve genelleştirilmiş tepki fonksiyonları (impulse response)	Ticari sektörün enerji tüketiminin, konut sektörüne göre karbon emisyonu üzerinde daha fazla etkisi vardır.
Danish, Zhang, Wang, ve Wang (2017)	Pakistan	1970-2012	Toplam CO ₂ emisyonu, reel kişi başına GSYİH, yenilenebilir olmayan enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi	ARDL sınır testi	Yenilenebilir enerji kullanımı, CO ₂ emisyonunu azaltmada etkilidir.
Waheed Chang, Sarwar ve Chen (2018)	Pakistan	1990-2014	Yenilenebilir enerji tüketimi, tarım üretimi, orman alanı, CO ₂ emisyonu.	ARDL sınır testi	Yenilenebilir enerji kullanımının ve orman alanının CO ₂ emisyonu üzerinde olumsuz etkisi vardır.
Cai, Sam ve Chang (2018)	G7 ülkeleri	1965-2015	Reel GSYİH, nükleer enerji, hidroelektrik, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, CO ₂ emisyonu	Bootstrap ARDL sınır testi	CO ₂ emisyonları, Almanya için temiz enerji tüketimine neden olmaktadır.
Kuşkaya ve Bilgili (2020)	ABD	1989:01-2017:8	Rüzgar enerjisi tüketimi, kömür tüketimi, doğal gaz tüketimi, diğer yenilenebilir enerji tüketimi, CO ₂ emisyonu	Morlet dalgacık uyumu modeli,	2015-2017 döneminde rüzgar enerji tüketimi CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1 dikkate alındığında literatürde yer alan çalışmaların genellikle; ARDL (Cai vd. 2018; Danish vd., 2017; Halıcıoğlu, 2009; Waheed vd., 2018), Granger nedensellik (Akhmat, 2014; Hagggar, 2012; Halıcıoğlu, 2009; Hossain, 2011; Lee ve Chong, 2016) ve eşbütünlüşme (Ang, 2007; Bilgili, 2012; Hagggar, 2012) yöntemlerini kullandıkları görülmektedir. Ayrıca Bilgili vd. (2016) ve Kuşkaya ve Bilgili (2020) Morlet dalgacık uyumu modelini kullanmışlardır.

Bu makale, yukarıda belirtilen ilgili literatürdeki bulguları gözlemledikten sonra, hidroelektrik enerjisi tüketiminin ABD'deki CO₂ emisyonları üzerindeki kısa, orta ve uzun vadeli etkilerini sinyal analizi ile inceleyerek ilgili literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

3. YÖNTEM

Hem finansal hem de ekonomik zaman serilerinde temel sinyal ayrıştırma tekniklerinden birisi Fourier Dönüşümleri (FD)' dir. FD zaman alanındaki bir sinyalin, içeriğinin analizine imkân veren bir tekniktir. FD' de, zaman alanındaki bir fonksiyonu, frekans alanında bir fonksiyona dönüştürülür (Graps, 1995). Kısaca, FD frekans-frekans (frequency-by-frequency) temelinde bir ayrışma olarak görülebilmektedir (Gençay, Selçuk ve Whitcher, 2002). Diğer taraftan, Fourier dönüşümünün birtakım kısıtları bulunmaktadır. Bu dönüşüm, bir sinyalin içerdiği frekansları gösterirken, hangi zaman diliminde hangi frekansların mevcut olduğu hakkında bilgi vermemektedir. Yani, FD belirli noktadaki zamana ait bilgiyi değil, bütün zaman dilimine ait bilgiyi vermektedir. Dolayısıyla, bu dönüşüm frekansı zamana göre değişmeyen sinyallerin analizinde başarılı bir yaklaşımdır (Arı vd., 2008). Başka bir ifadeyle, durağan olmayan zaman serilerinde, FD, etkin bir yöntem değildir (Gençay vd., 2002). Bu durum durağan olmayan zaman serilerinin analizi için farklı bir dönüşüm ihtiyacını gündeme getirmiştir. Bu nedenle çalışmada, ölçek tabanlı dönüşüm yöntemi olan “dalgacık analiz yöntemi” kullanılmıştır.

Dalgacık Dönüşümü (DD), FD ile karşılaştırıldığında daha yeni ve daha karmaşık bir yöntemdir. Bu dönüşüm, FD ile benzer matematiksel temele sahip olmasının yanı sıra ölçekleme adı verilen yeni bir özelliğe de sahiptir. DD hem frekans hem de zaman alanında eşzamanlı olarak zaman serilerini analiz eder. Durağan olmayan zaman serileri için en iyi tekniklerden birisi olan DD, frekansın, farklı frekans bantlarına ayrılması, zaman diliminde bölümlere ayrılması ve böylece kendi frekans içeriklerinin analiz edilmesine imkân tanıyan bir yöntemdir (Zhao, Jiang, Diao ve Qian, 2004). Dalgacık fonksiyonu (veya anne dalgacık fonksiyonu), ölçeklendirme fonksiyonunun doğrusal bir kombinasyonu olarak da ifade edilebilmektedir.

Bununla birlikte, $\omega \in \mathbb{R}$ and $m \in \mathbb{R}^+$, olmak şartıyla, her ölçeklenmiş ve dönüştürülmüş dalgacık fonksiyonu $\beta_{(m,\omega)}(t)$ anne dalgacığa göre aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$\beta_{(m,\omega)}(t) = \frac{1}{\sqrt{|m|}} \beta\left(\frac{t-\omega}{m}\right) \quad (1)$$

Burada $1/\sqrt{|m|}$ terimi dalgacığın birim varyansını belirleyen ve normalleşmeyi temsil eden faktördür. Anne dalgacığı temsil eden $\beta(\cdot)$ ise iki kontrol parametresi olan m (ölçek) ve ω (konum)'yi de içermektedir. Parametre ω , dönüşüm ya da konum parametresidir. Bu değişken, zaman alanında dalgacığın konumunu ve pozisyonunu kontrol etmektedir. Eşitlikteki m ise dalgacık genişliğini kontrol eden parametredir. Ayrıca dalgacığın pozisyonunu ve frekans alanında ki konumunu da gösterir. Frekans açısından değerlendirildiğinde, hızlı değişen detaylar daha düşük ölçeklerde, yani yüksek frekanslarda yakalanabilirken, daha yavaş değişen detaylar daha yüksek ölçeklerde, yani düşük frekansları yakalanabilmektedir. Bu durum frekans ve ölçek arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), dalgacık $\beta_{(m,\omega)}(t)$ ile ilgili olarak, $\ddot{x}(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 'nin incelenen zaman serisine belirli bir dalgacık, $\beta(\cdot)$, olarak aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$W_{\ddot{x}}(m, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{y}(t) \frac{1}{\sqrt{|m|}} \beta^*\left(\frac{t-\omega}{m}\right) dt \quad (2)$$

Burada $W_{\ddot{x}}(m, \omega)$ SDD' nü temsil etmektedir. Denklemdaki * karmaşık eşlenmeyi (complex conjugation) göstermektedir. Bir fonksiyonun SDD olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları taşıması gerekmektedir (Conraria ve Soares, 2013);

- $\beta(\cdot)$ ' nın integrali sıfırdır.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \beta(t) dt = 0, \quad (3)$$

- $\beta(\cdot)$ ' nın karesinin integrali 1'e eşittir,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\beta(t)|^2 dt = 1, \quad (4)$$

- Kabul edilebilirlik şartı

$$\ddot{y}_{\partial} = \int_0^{\infty} \frac{|\theta(\mathcal{N})|^2}{\mathcal{N}} d\mathcal{N} < \infty, \quad (5)$$

Yukarıda bahsedilen üç şartı dağlayan fonksiyon SDD olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan, küçük bir dalga olarak tanımlanan dalgacıklar genellikle aynı özelliklere sahip değildir. Bu bağlamda, dalgacıklar kendi özelliklerine göre farklı gruplara ayrılırlar. Dalgacık türlerinden birisi olan Morlet dalgacık dönüşümü hem hayali hem de gerçek kısımlara sahiptir. Böylelikle hem faz hem de genliği analiz etme imkânı sağlar. Morlet dalgacık fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$\lambda_{\varphi}(t) = \pi^{-1/4} (exp^{i\varphi t} - exp^{-\varphi^2/2}) exp^{-t^2/2} \quad (6)$$

Burada φ parametresi, Morlet dalgacığının $\lambda_{\varphi}(t)$ merkezi frekans parametresini göstermektedir. Ayrıca φ Gauss zarfı içindeki salınımların sayısını kontrol etmektedir. Böylece φ^3 'yü artırarak daha iyi frekans lokasyonu sağlamak

mümkündür (Addison, 2002). Denklemdaki $\exp^{-\varphi^2/2}$ terimi karmaşık sinüs dalgasının sıfır olmayan ortalamasını düzelteren, düzeltme parametresidir.

Burada φ için 6 değeri kabul edilebilirlik koşulunu sağlarken, λ ise eşitliğin Fourier periyodunu temsil etmektedir (Farge, 1992). Dalgacık dönüşümünden $\ddot{x}(t)$ aşağıdaki gibi yazmak mümkündür.

$$\ddot{x}(t) = (\mathbb{Y}_0)^{-1} \int_0^\infty \left[\int_{-\infty}^\infty W_{\ddot{x}}(\mathfrak{m}, \omega) \phi_{(\mathfrak{m}, \omega)}(t) d\omega \right] \frac{d\mathfrak{m}}{\mathfrak{m}^2} \quad (7)$$

İki zaman serisinin $x(t)$ ve $y(t)$ çapraz dalgacık gücü ilk olarak Hudgins vd. (1993) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$W_{xy}(\mathfrak{m}, \omega) = W_x(\mathfrak{m}, \omega) \overline{W_y(\mathfrak{m}, \omega)} \quad (8)$$

Burada, $W_x(\mathfrak{m}, \omega)$ ve $W_y(\mathfrak{m}, \omega)$, $W_{xy}(\mathfrak{m}, \omega)$ olarak $x(t)$ ve $y(t)$ 'nin zaman serilerinin SDD 'dir. Yani çapraz dalgacık gücüdür. Ayrıca denklem 15' de \mathfrak{m} ölçeği temsil etmektedir ve ω denklem 7'deki SDD formülünde görüldüğü gibi konum parametresidir. Çapraz dalgacık dönüşümleri, her iki zaman serisinde ve her bir ölçekte zaman serileri arasındaki yerel kovaryansı temsil eden yüksek ortak güce sahip alanları göstermektedir (Vacha ve Barunik, 2012).

Aguiar-Conraria, Magalhães ve Soares (2013), göre $W_x(\mathfrak{m}, \omega)$ ve $W_y(\mathfrak{m}, \omega)$ iki zaman serisinin dalgacık uyumunu (wavelet coherency) denklem 9'da ki gibi tanımlamaktadır:

$$R_{xy}(\mathfrak{m}, \omega) = \frac{|\mathcal{S}(W_{xy}(\mathfrak{m}, \omega))|}{|\mathcal{S}(|W_{xx}(\mathfrak{m}, \omega)|)^{1/2} |\mathcal{S}(|W_{yy}(\mathfrak{m}, \omega)|)^{1/2}} \quad (9)$$

Denklemden R_{xy} korelasyonu temsil etmektedir. Bu değer 0-1 arasında değişen bir parametredir. Eğer hem zaman hem de frekans alanında güçlü tutarlılık varsa korelasyon "1" e, eğer tutarlılık yok ise korelasyon "0" a eşit olacaktır. Ek olarak, \mathcal{S} gerekli olan düzeltme (smoothing) parametresini ifade etmektedir. Bu düzeltme olmaz ise, tutarlılık her zaman güçlü yani "1" olacaktır. Faz farkı analizi, örneğin korelasyon yönü (pozitif ve negatif korelasyon) ve öncül ve takip eden (lead or lag) ilişkisi gibi bileşenler arasındaki faz ilişkilerini tespit etmeye de imkân tanımaktadır. $x(t)$ ve $y(t)$ zaman serileri arasındaki faz farkı ($\xi_{x,y} \in [-\pi, \pi]$ ile) ilişkisi şu şekilde tanımlanabilmektedir:

$$\xi_{x,y}(\mathfrak{m}, \omega) = \frac{1}{\tan} \left(\frac{\mathcal{J}(W_{xy}(\mathfrak{m}, \omega))}{\mathfrak{N}(W_{xy}(\mathfrak{m}, \omega))} \right) \quad (10)$$

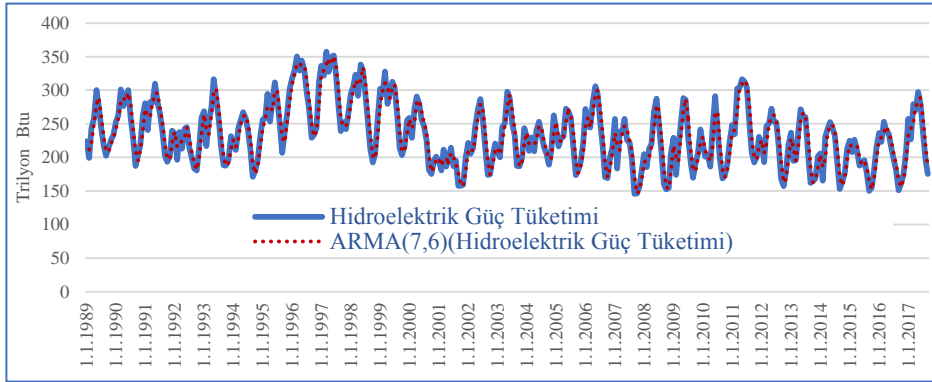
Yukarıdaki denklemde, $\mathcal{J}(W_{xy})$ ve $\mathfrak{N}(W_{xy})$ sırasıyla hayali ve gerçek bölümleri temsil etmektedirler. Eğer, $\xi_{xy} \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$ ise, seri fazda hareket edecek ve $x(t) \rightarrow y(t)$ 'ye öncülük edecektir. Eğer $\xi_{xy} \in \left(0, -\frac{\pi}{2}\right)$ ise, seri tekrar fazda hareket edecek ve bu durumda $y(t)$ öncü durumdadır. Eğer $\xi_{x,y} \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$ ise, değişkenler arasında anti-faz ilişkisi vardır, bu durumda seri

fazın dışına hareket edecektir ve $y(t)$ öncü durumdadır. Faz farkı π veya $-\pi$ olduğunda bu durum anti-faz ilişkisi olduğunu göstermektedir. Eğer $\xi_{x,y} \in (-\pi, -\frac{\pi}{2})$ ise anti-faz ilişkisi vardır ve $x(t)$ öncü konumdadır. Son olarak, faz farkı sıfırda ise bu durumda, $y(t)$ ve $x(t)$ birlikte hareket edeceklerdir.

4. VERİ SETİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKLER

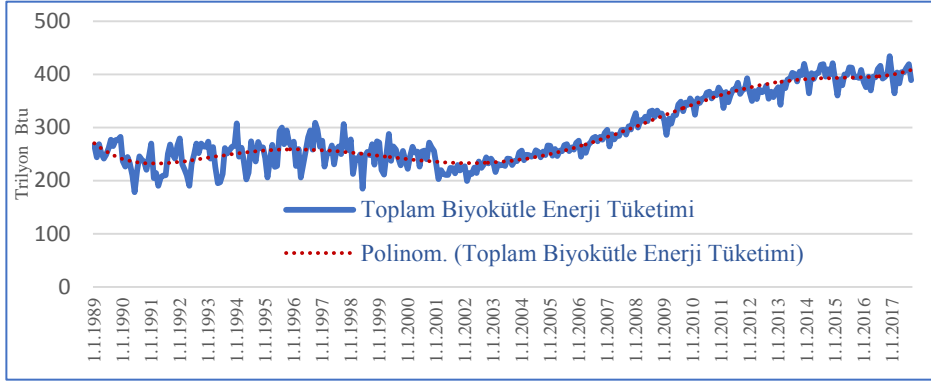
Analizin etkin bir şekilde yürütülebilmesi için, yüksek frekansa sahip değişkenlere sahip olan ABD, örneklem olarak seçilmiştir. Veri kısıtı dikkate alınarak, 1989:1-2017:8 dönemi analize dahil edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, ABD'ye ait değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ve 1989:1-2017:8 zaman aralığında ki değişimleri ele alınmıştır. Sırasıyla şekillerde; ABD'nin, hidroelektrik enerjisi tüketimi, toplam biyokütle enerjisi tüketimi, sanayi üretim endeksi, toplam fosil yakıt tüketimi, nükleer enerji tüketimi ve toplam karbondioksit emisyonuna ait trend grafikleri ile bu değişkenlerin denklemlerine yer verilmiştir. Denklemlerle birlikte anlamlılık katsayı olarak ifade edilen R^2 değerleri de yer almıştır. Daha sonra ABD enerji kaynaklarına ait özet tanımlayıcı istatistikler değerlendirilmiştir. Değişkenlere ait trend ve ARMA denklemleri Excel ve Eviews 9 ekonometri programlarından elde edilmiştir.

Grafik 1. ABD'nin Hidroelektrik Güç Tüketimine Ait Trend Grafiği

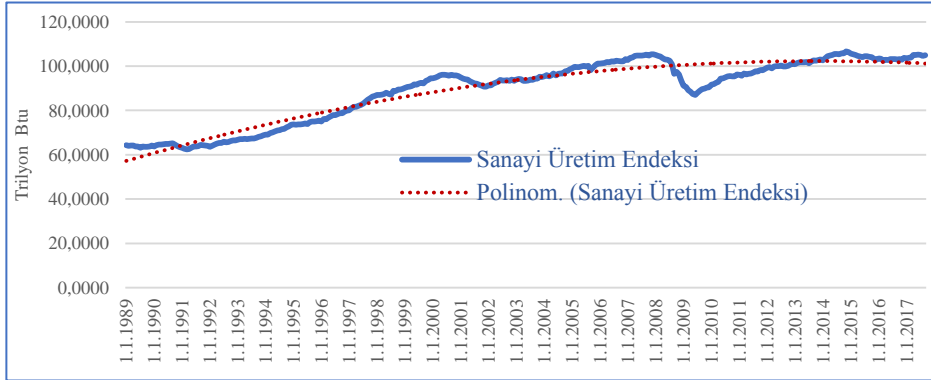


ABD'nin hidroelektrik güç tüketimine ait $R^2=0,851$ ve hidroelektrik güç tüketimine ait ARMA denklemi¹ “ $233.410 + 1.878 [AR (1)] - 0.872[AR (2)] - 1.004[AR (3)] + 0.866[AR (4)] + 1.009[AR (5)] - 1.868[AR (6)] + 0.867[AR (7)] - 1.024[MA (1)] - 0.0508[MA (2)] + 0.981[MA (3)] + 0.103[MA (4)] - 1.025[MA (5)] + 0.914[MA (6)]$ ” şeklindedir.

¹ ARMA parametrelerine ACF (Autocorrelation Function) ve PACF (Partial Autocorrelation Function) değerlerine bakılarak karar verilmektedir. Dolayısıyla ACF'de ki %95 güven aralığı dışında kalan katsayılar MA parametresinin alacağı değeri, PACF'de ki %95 güven aralığı dışında kalan katsayılar ise AR parametresinin alacağı değeri göstermektedir (Enders, 1995; Gujarati, 2003).

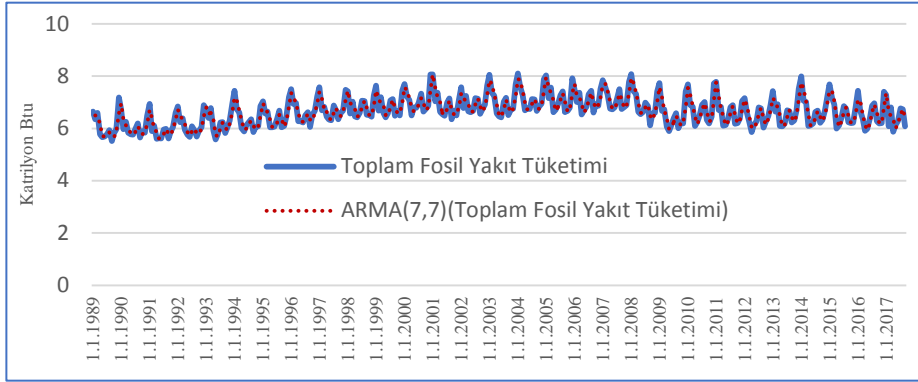
Grafik 2. ABD'nin Toplam Biyokütle Enerjisi Tüketimine Ait Trend Grafiği

ABD'nin biyokütle enerjisi tüketimine ait $R^2=0,911$ ve biyokütle enerjisi tüketimine ait denklem², “ $y = 2E-20x^6 - 5E-15x^5 + 5E-10x^4 - 2E-05x^3 + 0,7038x^2 - 10598x + 7E+07$ ” şeklindedir.

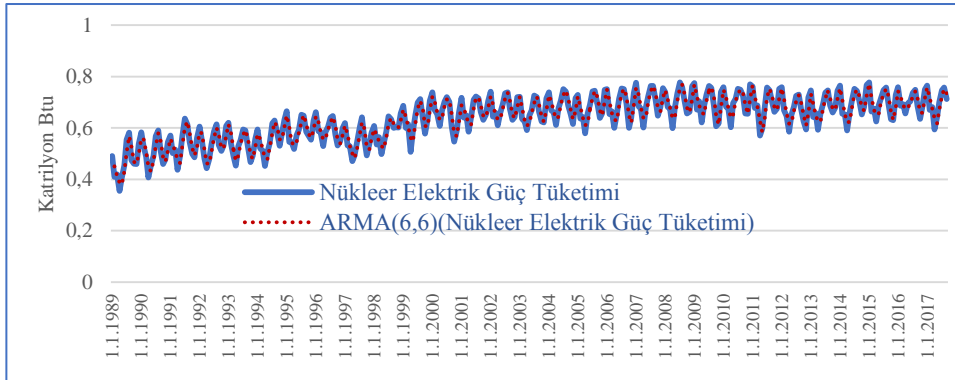
Grafik 3. ABD'nin Sanayi Üretim Endeksine Ait Trend Grafiği

ABD'nin sanayi üretim endeksine ait $R^2=0,913$ ve sanayi üretim endeksine ait denklem “ $y = -5E-07x^2 + 0,0454x - 841,98$ ” şeklindedir.

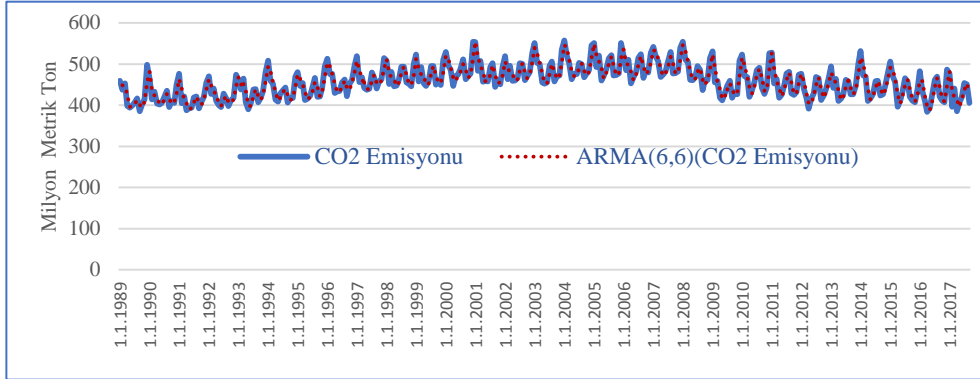
² Grafik 2 ve Grafik 3'te ki “y” parametreleri sırasıyla; ABD'nin toplam biyokütle enerji tüketimi ve ABD'nin sanayi üretim endeksini temsil etmektedir. Denklemde ki katsayıların hepsi ADF (Augmented Dickey-Fuller) ve PP (Philips-Perron) testlerine göre anlamlı çıkmıştır. Denklemlerde yer alan “x” parametresi, y değişkeninin kaçınıcı dereceden polinomial olduğunu gösteren parametredir. Bu bağlamda, Grafik 2'de yer alan y değişkeni altıncı dereceden polinomial iken Grafik 3'te ki y değişkeni ikinci dereceden polinomialdir.

Grafik 4. ABD'nin Toplam Fosil Yakıt Tüketimine Ait Trend Grafiği

ABD'nin toplam fosil yakıt tüketimine ait $R^2=0.849$ ve toplam fosil yakıt tüketimine ait ARMA denklemi “ $6.358+1.997[AR (1)]-0.997[AR (2)]-1.001[AR (3)] + 0.998[AR (4)] + 1.000[AR (5)]-1.996 [AR (6)] + 0.997 [AR (7)]-1.759 [MA (1)] + 0.727[MA (2)] + 1.055[MA (3)]-0.776[MA (4)]-1.030[MA (5)] + 1.739[MA (6)]-0.725[MA (7)]$ ” şeklindedir.

Grafik 5. ABD'nin Nükleer Elektrik Güç Tüketimine Ait Trend Grafiği

ABD'nin nükleer elektrik güç tüketimine ait $R^2=0.905$ ve nükleer elektrik güç tüketimine ait ARMA denklemi “ $0.593 + 0.850[AR (1)] + 0.308[AR (2)]-0.736[AR (3)] + 0.004[AR (4)] + 1.155[AR (5)]-0.584[AR (6)]-0.273[MA (1)]-0.357[MA (2)] + 0.532[MA (3)] + 0.291[MA (4)]-0.9291[MA (5)] + 0.104[MA (6)]$ ” şeklindedir.

Grafik 6. ABD'nin Toplam CO₂ Emisyonuna Ait Trend Grafiği

ABD'nin CO₂ emisyonuna ait $R^2=0.804$ ve CO₂ emisyonuna ait ARMA denklemi “430.140 + 0.651 [AR (1)] +0.360[AR (2)]-0.641[AR (3)]-0.091[AR (4)] + 1.101[AR (5)]-0.382[AR (6)] + 0.109[MA (1)]-0.495[MA (2)] + 0.353[MA (3)] + 0.510[MA (4)]-0.782[MA (5)]-0.318[MA (6)]” şeklindedir.

Grafik 1’de Grafik 6’ ya kadar analizde kullanılan değişkenler ele alındığında, değişkenlerin yüksek frekansa ve yüksek R² değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Bu durum değişkenlerin dalgacık uyumu analiz için uygun oldukları anlamına gelmektedir. Değişkenler ait özet tanımlayıcı istatistiklere Tablo³ 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. ABD'nin Enerji Kaynaklarına Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Tanımlayıcı İst.	Hidroelektrik Güç Tük.	Toplam Biyokütle Enerji Tük.	Toplam Yen. Enerji Tük.	Toplam Fosil Yakıt Tük.	Nükleer Elektrik Güç Tük.	Sanayi Üretim Endeksi	CO ₂ Emisyonu
Ortalama	234,27	290,45	595,42	6,65	0,63	89,18	458,35
Ortanca	230,56	267,03	551,69	6,63	0,64	93,90	458,32
Standart Sapma	45,93	64,26	129,16	0,55	0,08	14,14	38,75
En Küçük Değer	145,71	178,54	395,82	5,51	0,35	62,42	383,66
En Büyük Değer	357,38	434,35	1009,05	8,10	0,77	106,61	557,62
Gözlem Sayısı	345	345	345	345	345	345	345

³ Toplam yenilenebilir enerji tüketimi, hidroelektrik güç tüketimi ve toplam biyokütle enerji tüketimini içerdiği için Tablo 1’in yorumlanmasında hidroelektrik güç tüketimi ve toplam biyokütle enerji tüketimini değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

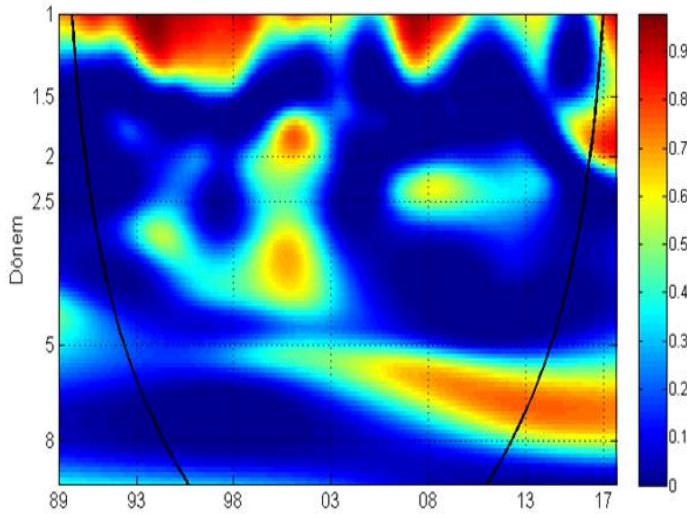
Tablo 2’ de yer aldığı üzere toplam yenilenebilir enerji tüketimi emisyonu değişkeni ortalama, ortanca, standart sapma, en küçük değer ve en büyük değer olarak en yüksek değere sahiptir. Bunu sırasıyla enerji kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonu ve sanayi üretim endeksi takip etmektedir.

5. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Analizde ABD ekonomisinin, 1989:1-2017:8 dönemine ait hidroelektrik enerjisi tüketimi ile enerji kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Bu amaçla, dalgacık ve dalgacık uyumu yöntemlerinden birisi olan Morlet Dalgacık Uyumu Modeli tercih edilmiştir. Analizde Matlab⁴ 9.1 ekonometri paket programı kullanılmıştır.

Bu bölümde Morlet Dalgacık Uyumu Modeli neticesinde elde edilen analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Öncelikle enerji tüketim verileri ile CO₂ emisyonu arasındaki dalgacık uyumu dikkate alınmış, ardından analizin güvenilirliği için kontrol değişkenlerin dahil edildiği dalgacık uyumu incelenmiştir. Dalgacık uyumu sonuçlarının tamamı sırasıyla, 1~3 ve 3~8 frekans bandında yorumlanmıştır.

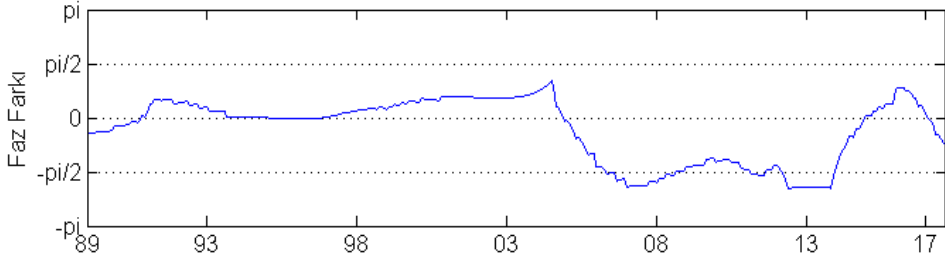
Şekil 1. Dalgacık Uyumu (Hidroelektrik, CO₂)



⁴ Matlab programında; lineer cebir, istatistik, optimizasyon, optimizasyon, fourier analizi gibi birçok matematiksel hesaplamaları etkili bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca Matlab optimizasyon sürecinde, Hessian matrisi istihdam ederek, ilgili tahminleri kuvvetle yakınsayacak şekilde gerçekleştirmektedir (Bu konuda daha ayrıntılı bilgi için bkz. Mathworks, 2019).

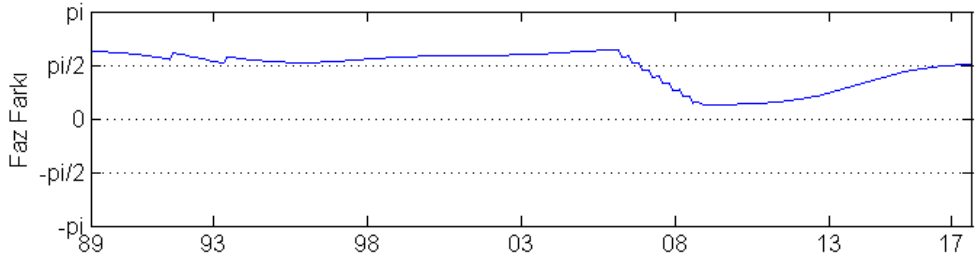
Şekil 1’de siyah eğri (kontur), ARMA (1,1) gösterimi vasıtasıyla tahmini %5’lik anlam düzeyini belirtmektedir. ARMA modeli bakımından AR (1) ve MA (1) terimleri, sırasıyla bir gecikmeli otoregresif modeli ve bir gecikmeli hareketli ortalamayı temsil etmektedir. Şekil 1’in yanında ki renk kod çubuğu, değişkenler arasındaki zayıf tutarlılıktan (mavi), güçlü tutarlılığa (kırmızıya) kadar olan aralığı göstermektedir.

Şekil 2. 1~3 Frekans Bandı



Şekil 2’de 1989:1’den, 2017:8’e kadar 1~3 frekans bandında ABD’nin hidroelektrik kullanımı ve toplam enerji ile ilişkili CO₂ emisyonu arasındaki faz farkı yer almaktadır.

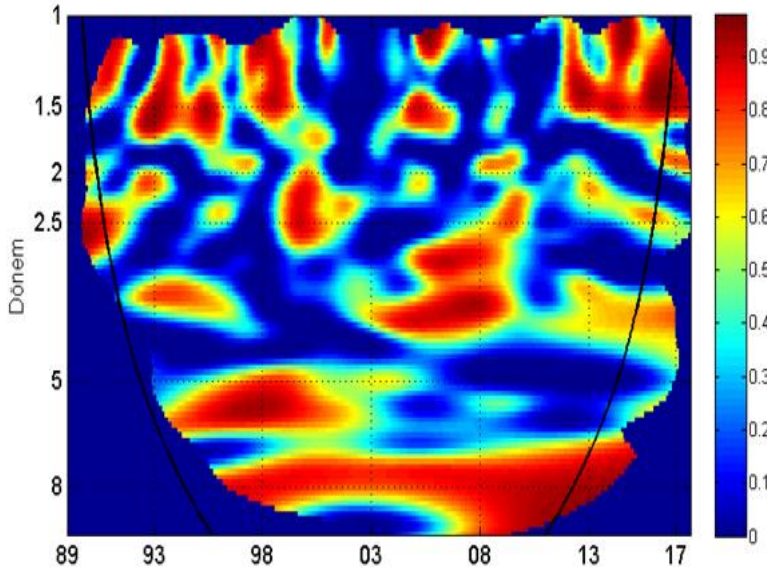
Şekil 3. 3~8 Frekans Bandı



Şekil 3’te 1989:1’den, 2017:8’e kadar 3~8 frekans bandında ABD’nin hidroelektrik kullanımı ve toplam enerji ile ilişkili CO₂ emisyonu arasındaki faz farkı yer almaktadır.

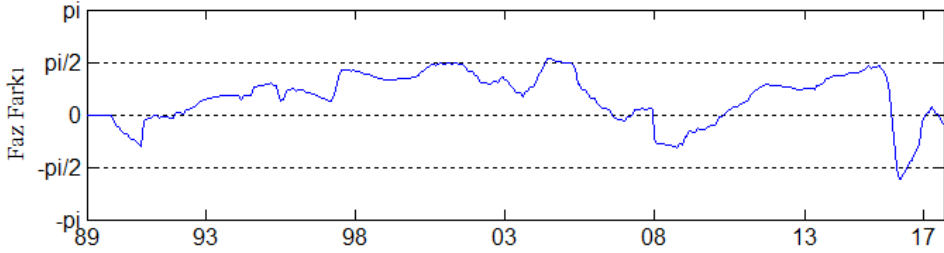
Şekil 1 dikkate alındığında, iki değişken arasındaki ilişkinin net olmadığı veya zayıf bir izlenime sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle kontrol değişkenlerin modele dahil edildiği kısmi dalgacık analizlerinin yapılmasının uygun olacağı ortaya çıkmıştır.

Şekil 4. Kısmi Dalgacık Uyumu (Hidroelektrik, CO₂ //TBiyokütle, TFosil, Nükleer, SÜE)



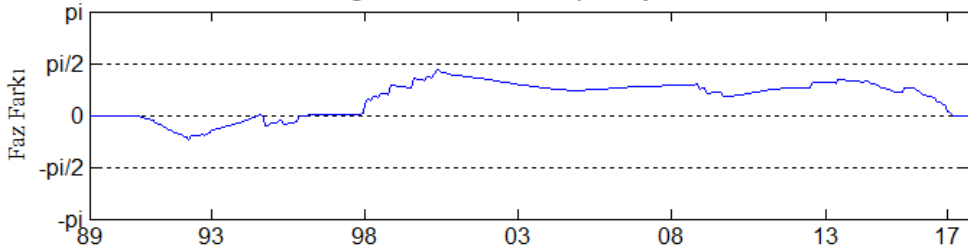
Şekil 4'te siyah eğri (kontur), ARMA (1,1) gösterimi vasıtasıyla tahminin %5'lik anlam düzeyini belirtmektedir. ARMA modeli bakımından AR (1) ve MA (1) terimleri, sırasıyla bir gecikmeli otoregresif modeli ve bir gecikmeli hareketli ortalamayı temsil etmektedir. Şekil 4'ün yanında ki renk kod çubuğu, değişkenler arasındaki zayıf tutarlılıktan (mavi), güçlü tutarlılığa (kırmızıya) kadar olan aralığı göstermektedir.

Şekil 4, Şekil 1'de ki modele kontrol değişkenlerin dahil edilmesiyle elde edilmiştir. Modele dahil edilen kontrol değişkenler sayesinde, hidroelektrik tüketimi ve toplam enerji ile bağlantılı CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi gösteren dalgacık uyumu yeniden incelenmiştir. Söz konusu kontrol değişkenler sırasıyla; toplam biyokütle (TBiyokütle), toplam fosil yakıt tüketimi (TFosil), nükleer enerji tüketimi (Nükleer) ve sanayi üretim endeksi (SÜE)'dir. Bu sayede, Şekil 4 ile daha spesifik dalgacık analizi elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4, iki değişken arasında 1~3 frekans aralığında; 1991-2002, 2004-2010 ve 2012-2016 dönemlerinde, 3~8 frekansında ise; 1992-2015 döneminde kuvvetli korelasyonun yer aldığını göstermektedir. Ancak bu iki değişken arasındaki korelasyonunun yönünü anlamak için (hangi değişkenin diğerine öncül olduğunu anlayabilmek için) aşağıdaki faz farkı analizlerinin takip edilmesi gerekmektedir.

Şekil 5. 1~3 Frekans Bandı

Şekil 5'te 1989:1'den, 2017:8'e kadar (TBiyokütle, TFosil, Nükleer, SÜE kontrol değişkenleri dalgacık modeline dâhil edildikten sonra) 1~3 frekans bandında ABD'nin hidroelektrik kullanımı ve toplam enerji ile ilişkili CO₂ emisyonu arasındaki faz farkı yer almaktadır.

Değişkenlerin pozitif korelasyona sahip olduğu faz aralığı dikkate alındığında hidroelektrik kullanımının; 1992-2002, 2004-2007 ve 2012-2016 dönemlerinde CO₂ emisyonunu artırdığı gözlemlenmektedir. Benzer şekilde CO₂ emisyonu; 1991:1-1991:12, 2008-2010 ve 2016:1-2016:12 dönemlerinde hidroelektrik kullanımını artırdığı tespit edilmiştir. Değişkenlerin negatif korelasyona sahip olduğu faz aralığı dikkate alındığında ise; hidroelektrik kullanımının 2015:1-2015:12 döneminde CO₂ emisyonunu azalttığı belirlenmiştir.

Şekil 6. 3~8 Frekans Bandı

Şekil 6'da 1989:1'den, 2017:8'e kadar (TBiyokütle, TFosil, Nükleer, SÜE kontrol değişkenleri dalgacık modeline dahil edildikten sonra) 3~8 frekans bandında ABD'nin hidroelektrik kullanımı ve toplam enerji ile ilişkili CO₂ emisyonu arasındaki faz farkı yer almaktadır. Değişkenlerin pozitif korelasyona sahip olduğu faz aralığı dikkate alındığında; hidroelektrik kullanımının, 1999-2015 döneminde CO₂ emisyonunu artırdığı gözlemlenmektedir. Diğer taraftan, CO₂ emisyonu; 1992-1995 döneminde de hidroelektrik kullanımını artırdığı anlaşılmaktadır. Ayrıca 1996-1998 döneminde hidroelektrik kullanımı ve CO₂ emisyonu birlikte artmaktadır.

SONUÇ

Günümüzün en önemli çevre sorunlarının başında küresel ısınma gelmektedir. Küresel ısınma kaynaklı tehdit, sanayileşme düzeyleriyle bağlantılı olarak yüksek sera gazı salınımına sahip gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkelerin ortak sorunu haline gelmiştir. Küresel ısınmanın en önemli belirleyicilerinden birisi de fosil yakıt kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonudur. Bu nedenle ülkeler, fosil yakıt kullanımına alternatif olabilecek, çevre dostu enerji kaynaklarını kullanmaya yönelmişlerdir.

Dolayısıyla, fosil yakıtlara ikame olabilecek enerji kaynaklarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin belirlemek önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu doğrultuda çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan hidroelektrik enerji kullanımının CO₂ üzerindeki etkisi Morlet dalgacık uyumu modeli ile araştırılmıştır. Morlet Dalgacık Uyumu Modeli ile hidroelektrik enerji kullanımı ve CO₂ emisyonu arasındaki mevcut olası tüm 'aynı yönde' ve 'tezat yönde' hareketlerin gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır. Dalgacık analiziyle, 1989:1-2017:8 dönemi ABD'nin hidroelektrik enerji kullanımı ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Analiz neticesinde, Hidroelektrik kullanımı, (TBiyokütle, TFosil, Nükleer ve SÜE kontrol değişken iken) 1~3 frekans bandında, 2015:1-2015:12 döneminde, CO₂ emisyonunu azaltmaktadır. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynaklı birincil enerji tüketimi içerisinde hidroelektrik enerji tüketiminin de payı yüksek olmasına karşın, CO₂ emisyonunu azaltmada aynı başarıyı elde edemediği görülmektedir. Bu sonucun muhtemel nedenine ulaşmak için, IPCC Danışmanı Éric Duchemin'in açıklaması takip edilebilir. Duchemin (Newscientist, 2018), hidroelektrik santrallerinin yüksek miktarda karbondioksit ve metan gazı üretebileceğini, hatta bazı durumlarda, bu miktarın fosil yakıtlarla çalışan santrallerden bile fazla sera gazı üretebileceğini ifade etmiştir. Ancak bu durum, hidroelektrik üretimi sağlayan barajlar arasında farklılık göstermektedir. Gerekli koşullar sağlandığında, bu kaynaktan da CO₂ emisyonu açısından, daha yüksek fayda sağlanabileceği öngörülmektedir.

Hem bu çalışmanın kullandığı dönem ve değişkenler hem de gelecek dönemler ve değişkenler için analiz sonuçları, literatürde bulunan diğer dinamik modellerle de sıranabilir. Örneğin; Markov Regime Switching (MS), Markov Regime Switching Vector Auto-regressions (MSVAR), threshold regresyon veya rejim değişiklikleri ile beraber koentegrasyon analizlerinin kullanılması, gelecekteki çalışmalar için araştırma konusu olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M. (2007), *Alternatif enerji kaynakları*, 2. Baskı, Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Addison, P. S. (2002), *The illustrated wavelet transform handbook introductory theory and application in science*. Engineering, Medicine and Finance, (1st Edition). Taylor&Francis Group, CRS Press.
- Aguiar-Conraria, L., Magalhães P.C. ve Soares, M.J. (2013), The nationalization of electoral cycles in the United States: a wavelet analysis. *Public Choice*, 156 (3-4), 387–408.
- Akhmat, G., K. Zaman, T. Shukui, D. İrfan ve M. M. Khan, (2014), Does energy consumption contribute to environmental pollutants? evidence from SAARC countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (9), 5940-5951.
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions energy consumption and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772-4778.
- Apergis, N., E. J. Payne, K. Menyah ve Rufael, W. Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth. *Ecological Economics*, 69, 2255-2260.
- Arı, N., Özen, Ş. ve Özen, Ö.H. (2008), *Dalgacık Teorisi (Wavelet)*. Ankara: Palme.
- Bhattacharjee, A. (2012). *Everything You Need to Know About The Types of Renewable Energy*, Brainmass Inc.
- Bilgili, F. (2012). The impact of biomass consumption on co2 emissions: cointegration analyses with regime shifts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5349-5354.
- Bilgili, F., İ. Öztürk, E. Koçak, Ü. Bulut, Y. Pamuk, E. Muğaloğlu ve Bağlıtaş, H.H. (2016). The influence of biomass energy consumption on CO2 emissions: a wavelet coherence approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (19), 19043-19061.
- Burrus, C.S., Gopinath, R.A. ve Guo, H. (1998). Introduction to wavelets and wavelet transforms a primer. New Jersey: Prentice Hall.
- Cai, Y., Sam, C.Y. ve Chang, T. (2018). Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 182, 1001-1011, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.035>
- Danish., Zhang, B., Wang, B., ve Wang, Z. (2017). Role of renewable energy and non-renewable energy consumption on EKC: Evidence from

- Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 156, 855- 864, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.203>
- EIA 2017, U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis, International <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/index.php> (Date accessed: 11.12.2017).
- Enders, W. (1995), *Applied Econometric Time Series*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- EPA (2019). U.S. Environmental protection agency, global greenhouse gas emissions data.<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- Farge, M. (1992). Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annual Reviews*, 24, 395-457.
- Gençay R., Selçuk, F. ve Whitcher, B. (2002). *An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics*, San Diego: Academic.
- Graps, A. (1995). *An introduction to wavelets*. IEEE Computational Science and Engineering, 2, 50-51.
- Gujarati, D. N. (2003). *Basic Econometrics*.4rd Edition. Mc Graw Hill, New York, USA.
- Gul, S., X. Zou, C. H. Hassan, M. Azam ve Zaman, K. (2015). Casual nexus between energy consumption and carbon dioxide emission for Malaysia using maximum entropy bootstrap approach. *Environmental Science Pollution Research*, 22 (24), 19773-19785.
- Halicioğlu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164.
- Hall, R. (1965). *EViews* (9). United Kingdom: IHS Markit Ltd, İnternet Adresi: <http://www.eviews.com/home.html>
- Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade, openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39, 6991-6999.
- Hudgins L., Friehe CA. ve Mayer ME. (1993). Wavelet transform and atmospheric turbulence. *Physical Review Letters*, 71 (20), 3279-3282.
- Karl, TR., Melillo, JM ve Peterson, TC. (2009). *Global climate change impacts in the United States: a state of knowledge report*. Cambridge: Cambridge University Press,

- Kuşkaya, S. ve Bilgili, F. (2020). The wind energy-greenhouse gas nexus: The wavelet-partial wavelet coherence model approach, *Journal of Cleaner Production*, 245 (3), 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118872>
- Lee, S. and Chang, W. O. (2016). Causal relationship of energy consumption, price and CO2 emissions in the us-building sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 220-226.
- Liaskas, K., Mavrotas, G., Mandaroke, M. ve Diakoulaki, D. (2000). Decomposition of industrial CO2 emissions: the case of European Union. *Energy Economics*, 22, 383-394.
- Little, J. and Moler C (1984). MATLAB (9.1). United States: MathWorks. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- Mathworks (2019). MATLAB for Artificial Intelligence <https://www.mathworks.com/>
- NewScientist, (2018), Hydroelectric power's dirty secret revealed, <https://www.newscientist.com/article/mg18524884-100-hydroelectric-powers-dirty-secret-revealed/>
- Ritchie, H. and Roser, M. (2018). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Vacha, L. ve Barunik, J. (2012). Co-movement of energy commodities revisited: evidence from wavelet coherence analysis. *Energy Economics*, 34 (1), 241-247.
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S. ve Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission, *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231- 4238, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
- WRI (2019). Worl Resources Institute, Greenhouse Gas Emissions Over 165 Years, <https://www.wri.org/resources/data-visualizations/greenhouse-gas-emissions-over-165-years>
- Zhao, G., Jiang, D., Diao, J. ve Qian, L. (2004). Application of wavelet time-frequency analysis on fault diagnosis for steam turbine, *In:5th International Conference of Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques*, France, CETIM.

EK A

Grafiksel Özet

Şekil A. Kısmi Dalgacık Uyumu (Hidroelektrik, CO₂, TBiyokütle, TFosil, Nükleer, SÜE)

