



TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ YOĞUNLUĞUNUN DİNAMİKLERİ: VAR ANALİZİ¹

Ali İrfan ÖZEREN²

Sefa ÖZBEK³

Mustafa NAİMOĞLU⁴

ÖZET

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de enerji, sürdürülebilir büyüme ve kalkınma açısından önemli görülmektedir. Enerjide dışa bağımlılığı olan Türkiye'nin sahip olduğu enerjiyi verimli kullanması gerekmektedir. Türkiye'de 1991 yılına göre 2019 yılında; toplam elektrik kullanımı %402, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıt payı %356, yenilenebilir enerji payı %468, biyoyakıt ve atık payı ise %8540 artış göstermiştir. Diğer taraftan Türkiye 2019 yılında gerçekleştirdiği 202.7 milyar dolarlık ithalatın yaklaşık %74'ünü enerji ithalatı olarak gerçekleştirmiştir. Enerjinin büyük bölümünün ithal edildiği Türkiye'de, hem cari açığın düşürülmesi hem de temiz bir çevre ile sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının elektrik enerjisi yoğunluğu üzerindeki dinamik ilişkisinin tespiti önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada Türkiye'de elektrik enerjisi yoğunluğunu belirleyen faktörler 1990-2019 dönemi yıllık verileri kullanılarak araştırılmıştır. Ampirik yöntem olarak Vektör Otoregresyon (VAR) analizinden faydalanılmıştır. Kömür, petrol, doğalgaz, hidro, biyoyakıt ve atık değişkenlerin kullanıldığı çalışmada ampirik bulgular, elektrik enerjisi yoğunluğunun en fazla hidro, biyoyakıt ve atıktan etkilendiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Yoğunluğu, Yenilenebilir Enerji, Yenilenemez Enerji, VAR Analizi, Türkiye.

¹ Bu çalışma daha önce herhangi bir yerde sunulmamıştır.

²Ar.Gör., Bingöl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, aliirfanozeren@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4099-7007

³Ar. Gör., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, sefaozbek@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-1043-2056

⁴Ar.Gör.Dr., Bingöl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, mustafanaimoglu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9684-159X.

Geliş Tarihi: 30.07.2021 / Kabul Tarihi: 14.12.2021 Çalışma Türü: Araştırma Makalesi

TURKEY'S DYNAMICS OF ELECTRIC POWER INTENSITY: VAR ANALYSIS

ABSTRACT

In Turkey, which is among the developing countries, energy is considered important in terms of sustainable growth and development. Turkey, which is dependent on foreign energy in energy, needs to use its energy efficiently. Compared to 1991, the total electricity use in Turkey increased by 402% in 2019, the share of fossil fuels used in electrical energy production increased by 356%, the share of renewable energy increased by 468%, and the share of biofuels and waste increased by 8540%. On the other hand, Turkey realized approximately 74% of its 202.7 billion dollars imports for 2019 as energy imports. In Turkey, where most of the energy is imported, renewable energy sources are of great importance for both reducing the current account deficit and achieving sustainable development with a clean environment. Therefore, it becomes important to determine the dynamic relationship of the energy sources used in electrical energy production in Turkey on the electrical energy density. In this study, the factors determining the electrical energy density in Turkey were investigated using annual data for the period 1990-2019. Vector Autoregression (VAR) analysis was used as an empirical method. In the study, in which coal, oil, natural gas, hydro, biofuel and waste variables were used, empirical findings revealed that the electrical energy density is mostly affected by hydro, biofuel and waste.

Key Words: Energy Intensity, Renewable Energy, Non-Renewable Energy, VAR Analysis, Turkey.

GİRİŞ

Sanayileşme, kentleşme ve iktisadi entegrasyonun artması gibi iktisadi ve sosyal olgular enerji talebini direkt olarak etkilemektedir. Bu durumda enerji açığı bulunan ülkelerin, makroekonomik denge açısından kırılganlıkları oluşabilmektedir (Ağır vd., 2020: 40). Diğer yandan Türkiye gibi petrol, doğalgaz vb. birincil enerji kaynakları açısından zengin olmayan ülkelerde, artan üretim kapasitesinin gerektirdiği girdi kalemleri dikkate alındığında, iktisadi dengesizlikler ortaya çıkabilmektedir. Bu duruma birincil enerji kaynak kullanımındaki yoğunluğun çevre üzerindeki olumsuz etkiler bırakma potansiyeli de ilave edildiğinde alternatif bir enerji politikası oluşturmanın zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Uygulanacak olan politikanın içeriğinin hem birincil enerji kaynaklarındaki yetersiz rezerv hem de çevresel etkilerin olumsuzluğu sebebiyle hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması yönünde olması gerektiği açıktır. Böylece hem üretim kapasitesinin gerektirdiği girdi miktarı büyük ölçüde ithalat yoluyla karşılandığından ekonomi üzerindeki dış ticaret kaynaklı kırılganlıklar giderilebilecek hem de birincil enerji kaynaklarının doğa üzerindeki olumsuzlukları azaltılarak çevreye dost bir kalkınma/büyüme mümkün hale gelecektir.

Türkiye’de 1990 yılına göre 2018 yılında yaklaşık GSYİH’si %242 (World Bank, 2021), nüfusu %53 (World Bank, 2021), elektrik tüketimi %435 (IEA, 2021), elektrik enerjisi yoğun kullanımı %56 (World Bank, 202; IEA, 2021) artmış ve elektrik enerjisi etkin kullanımında ise %36 oranında azalma olmuştur (IEA, 2021). Dolayısıyla Türkiye’nin nüfusu ve GSYİH’si büyürken elektrik tüketimi artmış; ancak beraberinde elektriğin yoğun kullanımı artmış ve tersine elektriğin etkin/verimli kullanımı azalmıştır. Ayrıca Türkiye’de 1991 yılına göre 2019 yılında elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıt payı %356 (kömür %425, doğalgaz %352 artarken petrol %78 azalmış), yenilenebilir enerji payı %468 (hidro %292 ve rüzgâr, güneş, jeotermal vd. %49638 artmış) ve biyoyakıt ve atık payı ise %8540 artış göstermiştir (IEA, 2021). Bu artış net enerji ithalatçısı olan Türkiye için büyük cari açıklara sebep olmaktadır. Çünkü Türkiye, 2019 yılında gerçekleştirdiği 202.7 milyar dolarlık ithalatın yaklaşık 150 milyar dolar (%74)’ünü enerji ithalatı olarak gerçekleştirmiştir (Gürler vd., 2020: 94). Dolayısıyla Türkiye enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olduğu için bu elektrik kullanım artışları sürdürülebilir enerji, fosil yakıt kaynaklarının yakın gelecekte tükenmesi, elektriğin araçlarda ve taşımacılık alanında payının giderek artış göstermesi gibi sebeplerden dolayı elektrik enerjisi yoğunluğunun altındaki dinamikleri belirlemek uygulanacak politikalar için hayati önem taşıyacaktır. Bu amaçla bu çalışma Türkiye’de elektrik enerjisi yoğun kullanımının hangi enerji kaynağından daha fazla etkilendiğini belirlemek adına önem arz edecektir. Bu çalışmada 1990-2019 dönemi verileri kullanılarak Türkiye ekonomisinde enerji yoğunluğunun dinamikleri araştırılmaktadır. Takip eden bölümde konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara değinilmektedir. 2. bölümde ise veri seti ve yöntem tanıtılarak, ampirik bulgulara yer verilmektedir. Son bölümde ise ampirik bulgular ışığında değerlendirmeler yapılarak çalışma sonlandırılmaktadır.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde enerji kaynaklarının elektrik enerjisi yoğun kullanımı üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle konu ile ilgili dolaylı çalışmalara yoğunlaşılmıştır. Literatürde kavram açısından incelendiğinde elektrik enerjisi yoğunluğu, toplam elektrik enerji kullanımı/çıktı(GSYİH) ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Dolayısıyla Türkiye gibi dışa bağımlı ve elektriğin günümüzde daha fazla kullanılması adına enerji yoğunluğunun azalması farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Bunlardan bazıları;

- Aynı çıktı için daha az enerji kullanıldığında
- Aynı enerjiyle daha fazla çıktı elde edildiğinde

- Enerji kullanımını arttırdığında çıktıda daha fazla artış yaşandığında
- Enerji kullanımını azalırken çıktıda daha az azalış meydana gelmesi

gibi durumlarda enerji yoğun kullanımı azaltılabilecektir. Dolayısıyla yukarıdaki durumlar dikkate alınarak enerji yoğunluğu ile ilgili literatür araştırması yapılacaktır.

Topal ve Arslan (2008) Türkiye için biyokütle enerjisini önemini araştırmışlardır. Bulgulara göre Türkiye için sürdürülebilirlik, kolay bulunabilirlik ve çevre üzerinde olumsuz etkiye sebep olmama gibi avantajlarından dolayı biyokütle enerjisinin önem kazandığı ve bu önemin giderek artacağı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Karayılmaz vd.(2011), Kaplıhan (2014), Gençoğlu (2002)'de biyokütle enerjisinin Türkiye'nin enerji kaynakları arasında kullanımının fosil yakıtlara göre hem çevre kalitesi açısından hem de dışa bağımlılığı küçük de olsa azaltılmasına yardımcı olmasından dolayı avantajlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ağır ve Kar (2010)'da Türkiye için elektrik tüketimi ile gelişmişlik düzeyi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bulgulara göre küresel ısınmayla birlikte ülkelerin enerji kaynaklarının nasıl daha az yoğun kullanılabilceği gündeme gelmiş ve Türkiye için yerli enerji kaynaklarının etkin/verimli bir şekilde kullanılmasının elektrik üretim maliyetini azaltacağı ve dolayısıyla enerjinin etkinliği/verimliliğini artıracığı, bu durumun ise enerjinin yoğun kullanımını azaltacağı gözlemlenmiştir.

Dinçer (2011) çalışmasında, Türkiye için güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelini iktisadi analiz ve AB ülkeleriyle karşılaştırmalı bir değerlendirme çerçevesinde araştırmıştır. Yılda 110 gün süre gibi yüksek bir enerji potansiyeline sahip olan Türkiye için gerekli yatırımların yapılması halinde, güneş enerjisinden yılda metrekare başına ortalama 1,100 kWh'lık elektrik enerjisi üretebilme potansiyelini gerçekleştirilmesi ekonomik, çevre ve enerji yoğunluğu için dikkate alınması gereken bir durum olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (2012)'de, Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik enerjisi üretimi açısından önemini araştırmıştır. Ortaya çıkan bulgulara göre Türkiye için, hidro kaynak potansiyelinin %41,3 gibi düşük bir oranının kullanıldığı ve bu oranın artırılması gerektiği, elektrik üretimi için uygun olan 640 MW kurulu güce sahip jeotermal enerjinin devreye sokulması ve bu kaynağın konut sektöründe ısınma amacı ile kullanılması sonucu ithal edilen doğalgaz ihtiyacının azalacağını ve bu durumun hem ülke ekonomisi hem de enerjinin yoğun kullanımını azaltacağı için çok önemli olduğunu elde etmiştir.

Adaçay (2014) çalışmasında Türkiye için enerjiyi kalkınma açısından incelemiştir. Çalışmada hidroelektrik santrallerin inşa süreleri daha uzun olsa da ekonomik ömürlerinin termik santrallerden daha uzun olduğunu belirterek yenilenebilir enerji kaynağının önemine değinmiştir. Ayrıca termik santrallerin genelde fosil yakıtlarla çalıştığı ve enerji alanında dışa bağımlı ülkeler için enerji fiyatlarında yaşanan artışın yenilenebilir enerji gibi birçok avantaja sahip alternatif enerji kaynaklarına yönlendirdiğini elde etmiştir.

Özsoy (2015)'te Türkiye için düşük karbon ekonomisinin imkânını araştırdığı çalışmasında fosil kaynakların ülke içerisinde yeterli hacimde üretilmediği için ithal edilmesi gerektiğini bunun ise cari işlemler açığının en önemli sebeplerinden biri olduğunu belirtmiştir. Bulgulara göre enerji sektörünün yenilenebilir enerji kaynakları yoluyla karbonsuzlaştırılması hem ekonominin dış kaynaklara bağımlılığını azaltarak enerji maliyetlerinde azalma hem de CO₂ salınımını azaltarak çevresel tahribatların önüne geçmek gibi olumlu katkıları olacaktır.

Şenel ve Koç (2015) çalışmasında Türkiye için rüzgâr enerjisinin durumunu araştırmıştır. Rüzgâr tribünlerinin termik ve hidrolik gibi enerji santrallerine göre daha avantajlı olduğu, 1 KWh maliyetinin

yaklaşık 5-6 cent olan rüzgâr tribünlerinde maliyetin zamanla daha da düşeceği ve yakın zamanda teknolojik gelişmelerin rüzgâr tribünlerini daha etkin/verimli, daha az maliyetli ve diğer enerji kaynaklarına göre daha güvenilir olacağını belirtmiştir. Dolayısıyla bu rüzgâr enerjisi kaynağının enerji kaynakları arasında payının artırılması birçok avantajları beraberinde getirecektir.

Özen vd. (2015)'te Türkiye için elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin önemini araştırmıştır. Bulgulara göre Türkiye rüzgâr enerjisi olarak 48.000 MW potansiyele sahiptir. Dolayısıyla Türkiye için 775 KWh bir varil petrole eşdeğerken 48.000 MW'lık rüzgâr enerjisi 61935 varil petrole eşdeğerdir. Bir varil petrol(08.04.2015 tarihinde) yaklaşık 58 ABD doları iken rüzgâr enerji potansiyeli yaklaşık 3,6 milyar ABD dolarına eşdeğerdir. Dolayısıyla bu potansiyelin kullanılması Türkiye için enerji maliyetlerinde 3,6 milyar ABD doları tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Bilim (2016) çalışmasında Türkiye için elektrik enerjisi üretiminde dışa bağımlılığı azaltıcı politikaları araştırmıştır. Bulgulara göre Türkiye elektrik enerjisi için ihtiyaç duyulan enerjinin çoğunu %58 oranında dışa bağımlı olunan doğalgazdan karşılamaktadır. Dışa bağımlılığı azaltmak için yerli kaynakların çok önemli fırsatlar sunduğu kısa vade de Türkiye için kömür, nükleer ve hidroelektrik santrallerinin artırılması ve uzun vade de ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması hem sürdürülebilir enerji için hem de enerji maliyetlerini azaltmak için çok önemli olduğu sonucunu elde etmiştir.

Dulkadiroğlu (2017)'de Türkiye'de elektrik üretimini sera gazı emisyonları açısından incelerken sera gazları içerisinde en büyük paya karbondioksit(CO₂)'nin sahip olduğunu ve bunun en büyük sebebinin enerji üretiminde fosil yakıtların yer aldığını, enerjide yüksek oranda dışa bağımlı olan Türkiye için fosil yakıt kaynak kullanımının artışının sera gazı emisyonunu artıracığı ve hem çevresel hem de enerji maliyetlerinde olumsuzlukların yaşanacağını belirtmiştir.

Taşkın ve Yılmaz (2018) çalışmasında Türkiye için elektrik üretiminde doğal gazın yeri ve önemini araştırdıkları çalışmalarında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik enerjisi bakımından önemli bir potansiyeli olduğunu belirtmişlerdir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları doğa için fosil yakıt kaynaklarına nazaran daha az zararlı, daha temiz ve daha sürdürülebilir olduğundan kullanımı önem arz etmektedir.

Sağbaşı ve Başbuğ (2018) çalışmasında 1990-2004 yılları arasındaki dönemde, kömüre göre daha az emisyon veren doğalgazın elektrik üretiminde kullanımının artmasına bağlı olarak, elektrik sektörü CO₂ yoğunluğunda (kgCO₂/kW-saat) genel bir azalma olduğunu elde etmiştir.

Dikmen (2019)'da Türkiye için güneş ve rüzgâr enerjisinin önemini araştırmıştır. Bulgular göstermiştir ki Türkiye' de 2017 yılında güneş ve rüzgâr enerjisinin sera gazı emisyonlarını ve çevre maliyetlerini azalttığı, enerji kaynağı rüzgâr olan termik santrallerin kömür kullanan santrallere göre 1 MWh elektrik üretimi başına 977,84 kg CO₂-eş (185,1 €) daha az sera gazı (çevre maliyeti) çıkardığı, güneş PV elektrik santrallerinde ise kömür kullanan termik santrallere göre 1 MWh elektrik üretimi başına 923,25 kgCO₂-eş(69,5 €) daha az sera gazı(çevre maliyeti) çıkardığı sonucunu elde etmiştir.

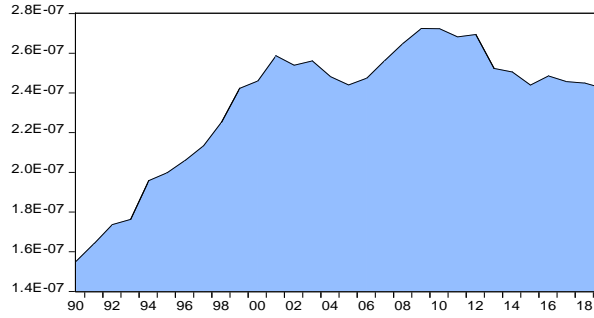
Naimoğlu ve Akal (2021) çalışmasında yükselen ekonomiler için 1990-2018 döneminde talep yanlı olarak enerji etkinliğini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Bulgular enerji etkinliğini/verimliliğini artırmak ve enerji yoğunluğunu azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara kıyasla çok daha önemli fırsatlar sunduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Naimoğlu (2021) Almanya için Özbek ve Naimoğlu (2021) ise Türkiye için yenilenebilir enerji kullanımının enerji yoğunluğunu azaltmanın yanında dışa bağımlılığı azaltma, sürdürülebilir ve güvenilir enerjiye sahip olma ve çevre kalitesinin artmasında yenilenebilir enerji kullanımının fosil yakıtlara göre çok daha önemli fırsatlar sunduğunu gösteren kanıtlara ulaşmıştır.

2. EKONOMETRİK ANALİZ

2.1. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Bu bölümde elektrik enerjisi yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan değişkenlere ve ampirik yönteme ait bilgiler verilmektedir. Çalışmada bağımlı değişken elektrik enerjisi yoğunluğu (LE), birim çıktı başına kullanılan elektrik enerji miktarının logaritmasıdır. Diğer bir ifadeyle, $LE = \text{Log}(\text{Toplam yurtiçi elektrik arzı (GWh)/GDP(2010 US\$ sabit fiyatlarıyla)})$ olarak alınmıştır. Şekil 1, 1990-2019 döneminde arasında Türkiye için enerji yoğunluğu eğilimini göstermektedir. Türkiye' nin hassas ve kırılğan dalgalanmalara sahip olması elektrik enerjisi yoğunluğunun enerji kaynaklarına ve diğer faktörlere karşı ne kadar çok duyarlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 1. Türkiye Elektrik Enerjisi Yoğunluk Grafiği 1990-2019 (Ktoe/GSYİH)



Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), www.iea.org

Türkiye için enerji yoğunluğunun dinamiklerinin incelendiği bu çalışmada, Türkiye için 1990-2019 dönemi yıllık verilerden yararlanılmaktadır. Söz konusu değişkenlere ait bilgiler, Tablo 1'de açıklanmaktadır.

Tablo 1. Değişkenlerin Tanımlanması

Değişkenler	Açıklama	Kaynak
LE	Log(Toplam yurtiçi elektrik arzı (GWh) / GDP (2010 ABD dolar sabit fiyatlarla))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Dünya Bankası (WDI), 1990-2019
LC	Log(Kömürden elektrik üretimi (GWh))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 1990-2019
LO	Log(Petrol ürünlerinden elektrik üretimi (GWh))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 1990-2019
LN	Log(Doğalgazdan elektrik üretimi (GWh))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 1990-2019
LH	Log(Hidroden elektrik üretimi (GWh))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 1990-2019
LB	Log(Biyoyakıtlar ve atıklardan elektrik üretimi (GWh))	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 1990-2019

İktisat teorilerinde değişkenler arasında karmaşık ilişkiler bulunabilmektedir. Bu karmaşıklığı gidermek için söz konusu ilişkilerin tespitinde eşanlı denklem sistemlerinden yararlanılmaktadır. Test edilen değişkenlerden hangisinin içsel (dışsal) olacağı bilgisi, model kurma aşamasında önemli olmaktadır. Bu güçlüğü aşmak ve belirsizlikleri ortadan kaldırmak için eşanlı denklem sistemlerinde, yapısal model üzerinde bazı kısıtlamalar yapılmaktadır (Adrian ve Darnell, 1990: 114-116). Vektör otoregresif modeller (VAR) ile bu sorunlar ortadan kalkmaktadır. VAR analizinde kurulan modelde değişkenler için içsel-dışsal ayrımını yapmaya gerek duyulmamaktadır. VAR modellerinde bağımlı

değişkenlerin gecikmelerinin de mevcut olması, geleceğe yönelik güçlü tahminlerin yapılmasını mümkün hale getirmektedir (Kumar vd., 1995: 365).

VAR Modelinde iki değişkenli standart form:

$$y_t = a_1 + \sum_{i=1}^p b_{1i}y_{t-i} + \sum_{i=1}^p b_{2i}x_{t-i} + u_{1t} \quad (1)$$

$$x_t = c_1 + \sum_{i=1}^p d_{1i}y_{t-i} + \sum_{i=1}^p d_{2i}x_{t-i} + u_{2t} \quad (2)$$

biçiminde formülize edilmektedir. Bu formülasyonda, u ile sıfır ortalamalı, kendi gecikmeli değerleriyle olan ortak varyansları sıfır, varyansı sabit, normal dağılan rassal hata terimlerini gösterilmektedir. p ise gecikme uzunluğunu ifade etmektedir. VAR modellerinin en önemli avantajlarından birisi değişkenlerin gecikme uzunluklarının artırılması yoluyla otokorelasyon probleminin çözülebilesidir. Bu kolaylığı sağlayan ise, değişkenlerin kendi gecikmeli değerleri ile ilişkisiz olması varsayımdır. Ayrıca u hata terimi, modelin sağ tarafındaki değişkenlerle ilişkisizdir. Yukarıdaki eşitliğin sağında sadece içsel değişkenlerin gecikmeli değerleri yer aldığı için eşanlılık sorunu oluşmamaktadır. Böylece geleneksel en küçük kareler yöntemi ile modeldeki denklem sistemi ya da her bir denklem öngörülebilmektedir (Özgen ve Güloğlu, 2004: 96). Bu çalışmada, ilk olarak öncelikle uygun gecikme uzunluğu elde edilecektir. Bunun için Akaike bilgi kriterinden yararlanılacaktır. Sonrasında modeli doğru bir şekilde tespit etmek amacıyla varyans ayrıştırmasından faydalanılarak en içsel değişken elde edilecektir. Doğru model elde edildikten sonra etki-tepki fonksiyonları elde edilecektir (Karaca, 2017: 232).

2.2.ANALİZ BULGULARI

Bu kısımda ilk olarak analize dahil edilen değişkenlere ait birim kök sınaması yapılmaktadır. Sonrasında VAR modeli kurularak, varyans ayrıştırması ve etki-tepki fonksiyonları elde edilmektedir. Ekonometrik analizlerde birim kök süreç göz önüne alınmaması (ya da durağan olmayan bir serinin durağan kabul edilmesi), sahte regresyon problemine yol açabilmektedir (Granger ve Newbold, 1974). Dolayısıyla analiz edilecek modeldeki bir serinin durağanlığının araştırılması önem arz etmektedir. Bir X serisinin sabit aritmetik ortalamaya, sabit varyansa ve kovaryansa sahip olması birim kök süreç içermediğini göstermektedir. Diğer bir deyişle söz konusu seri durağandır denilmektedir (Gujarati, 1999: 740). Çalışmada, literatürde en yaygın test olan Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) birim kök testi ve Philips-Perron (PP) birim kök testinden faydalanılacaktır. Her iki testte de sıfır hipotezi birim kök sürecin varlığı üzerine kurulmaktadır.

Tablo 2. Birim Kök Test Bulguları

	<i>Değişkenler</i>	Düzyer Değerleri		Birinci Farkları	
		<i>ADF</i>	<i>PP</i>	<i>ADF</i>	<i>PP</i>
Test İstatistiği (sabitli)	LE	-2.409769	-4.140107*	-1.613004	-3.657484**
	LC	-0.096442	0.038628	-5.806569*	-5.807477*
	LO	-0.631812	-0.365598	-4.607473*	-4.476973*
	LN	-2.205336	-2.161073	-0.575310	-2.961212***
	LH	-1.341412	-0.978988	-6.303222*	-7.502891*
	LB	-9.144083*	-6.556148*	-24.57480*	-22.91698*
Kritik Değerler	% 1	-3.67932	-3.67932	-3.699871	-3.6891
	% 5	-2.96776	-2.96776	-2.976263	-2.9718
	% 10	-2.62298	-2.62298	-2.627420	-2.6251

Test İstatistiği (sabitli ve trendli)	LE	-1.504326	-1.512651	-5.287097*	-5.306708*
	LC	-2.137744	-2.137744	-5.739010*	-5.791859*
	LO	-2.037161	-1.659234	-4.891118*	-7.554118*
	LN	1.705045	1.992589	-4.061730**	-3.892585**
	LH	-3.173814	-3.189840	-6.171542*	-7.436451*
	LB	-12.81695*	-8.278704*	-23.03415*	-22.95460*
Kritik Değerler	%1	-4.30982	-4.30982	-4.339330	-4.3239
	%5	-3.57424	-3.57424	-3.587527	-3.5806
	%10	-3.22172	-3.22172	-3.22923	-3.2253

Not: ***, **, * işaretleri sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. ADF ve PP için verilen kritik değerler McKinnon (1996) değerleridir. Maksimum gecikme sayısı ADF birim kök testinde 4 olarak alınmıştır. Optimum gecikme sayısı Schwarz Bilgi Kriterine göre belirlenmiş ve optimum gecikme sayıları parantez içinde belirtilmiştir. Barlett çekirdek tahmincisiyle PP testinin uzun dönem varyansı belirlenmiştir. Newey-West metodu aracılığıyla bant genişliği elde edilmiştir.

Tablo 2 sonuçları incelendiğinde, biyoyakıt ve atık(LB) hariç söz konusu diğer değişkenlerin birinci farklarında durağan hale geldiği görülmektedir. Diğer bir deyişle; elektrik enerjisi yoğunluğu (LE), Kömür kullanımı (LC), petrol kullanımı (LO), doğalgaz kullanımı (LN), hidro kullanımı (LH) değişkenlerinin I(1) olduğu sonucuna ulaşılırken; biyoyakıt ve atık (LB) değişkeni ise I(0) olduğu sonucu elde edilmiştir. VAR metodunun uygulanabilmesi için modelde ilgili değişkenlerin durağan hallerinin yer alması gerekmektedir. Ek Tablo 4’te VAR modeli için uygun gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla uygun VAR modelinin VAR(1) olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. VAR modelinin geçerliliğini ortaya koymak için 4 adet tanı testi yapılması gerekmektedir (Akpolat ve Altıntaş, 2013: 122). Ek Grafik 2’de VAR(1) modelinin istikrarlı olduğu sonucu elde edilmektedir. Diğer taraftan VAR(1) modelinde otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olup olmadığı Ek Tablo 5’te; modelin hata terimlerinin normal dağılıp dağılmadığı ise Ek Tablo 6’da ortaya konulmaktadır. Söz konusu tablolarda, modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, modelin hata terimlerinin normal dağılım gösterdiği sonucu elde edilmiştir.

VAR modelinden etki-tepki fonksiyonları ile varyans ayrıştırması sonuçlarının elde edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem Cholesky ayrıştırmasıdır. Ancak bu yöntemde elde edilen bulgular değişkenlerin modeldeki sıralamasından etkilenmektedir. Çünkü ilk sıradaki değişken sistemdeki diğer değişkenlere verilen eş zamanlı şoklardan etkilenmezken, son sıradaki değişken diğer değişkenlere verilen şoklardan eş zamanlı olarak da etkilenmektedir(Tarı, 2014: 468; Uysal vd., 2015: 72-74). Uygulamada etkin sonuçlara ulaşabilmek için genellikle değişkenlerin en dışsaldan en içsele doğru sıralanmasına çalışılmaktadır. Değişkenlerin en dışsaldan en içsele doğru sıralanmasında ise ekonomi teorisinden Granger nedensellik analiziyle belirlenen nedensellik ilişkilerinden ya da varyans ayrıştırmasından yararlanılmaktadır (Karaca, 2017: 232).

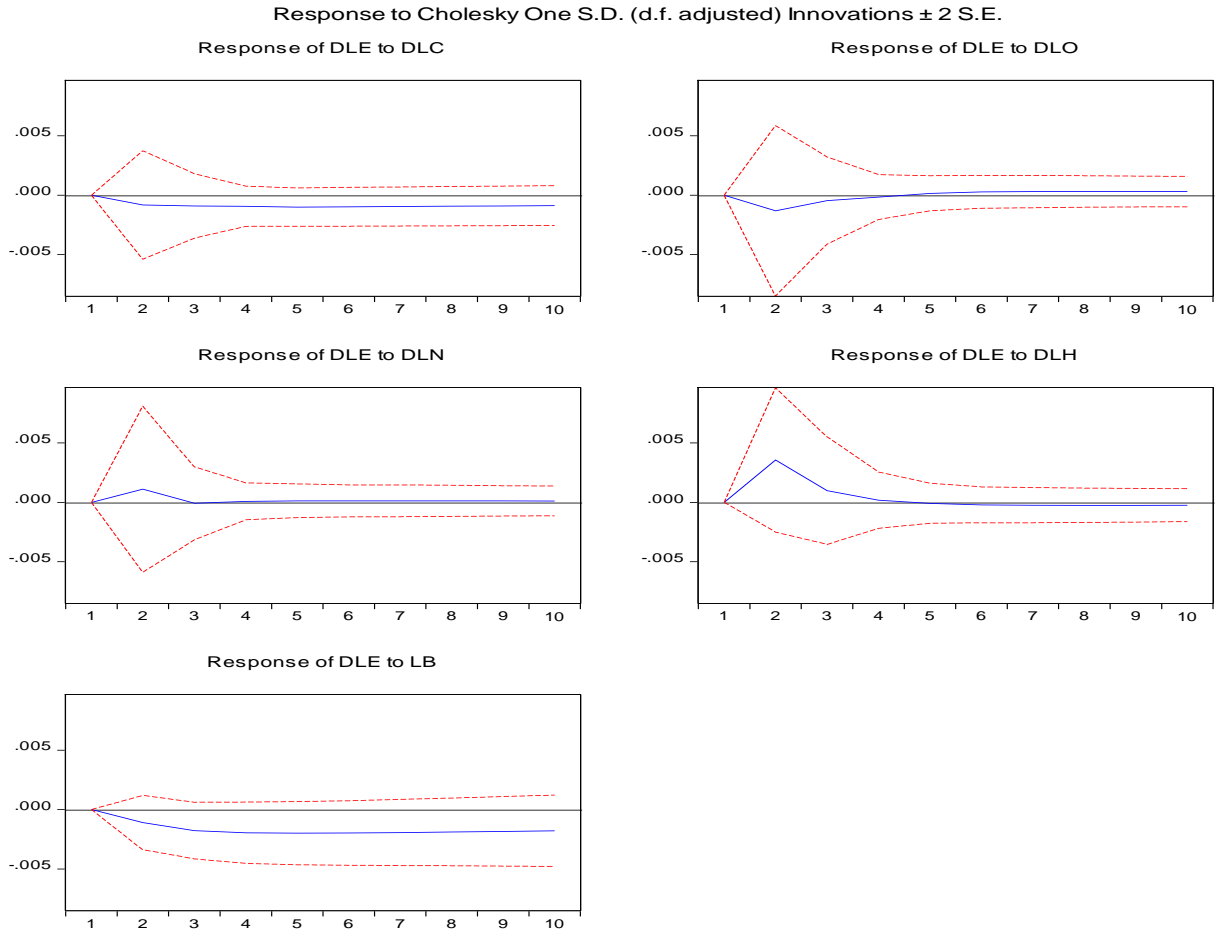
Tablo 3. LE Varyans Ayrıştırması

Dönem	LE	LB	LH	LC	LO	LN
1	100.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	92.83027	0.493427	5.199508	0.278068	0.700184	0.498539
3	91.02929	1.715522	5.417870	0.592500	0.759553	0.485268
4	89.36322	3.166929	5.317704	0.920353	0.754224	0.477565
5	87.66196	4.608340	5.216024	1.290534	0.748646	0.474491
6	86.03178	5.973290	5.135491	1.626261	0.762440	0.470738
7	84.51569	7.237851	5.066294	1.930313	0.781924	0.467924
8	83.11800	8.400814	5.005216	2.207793	0.802920	0.465260
9	81.83416	9.467927	4.950598	2.461206	0.823355	0.462758
10	80.65545	10.44698	4.901065	2.693401	0.842641	0.460465

Tablo 3 sonuçları incelendiğinde, birinci periyotta elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin tamamının kendisi tarafından açıklandığı görülmektedir. Bu sonuç, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin modeldeki en içsel değişken olduğunu ortaya koymaktadır. Biyoyakıt ve atık (LB) değişkeni, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin varyansını 10 dönem sonunda yaklaşık % 10'unu; hidro(LH) değişkeni, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin varyansını 10 dönem sonunda yaklaşık %5'ini; kömür (LC) değişkeni, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin varyansını 10 dönem sonunda yaklaşık %2,70'ini; petrol (LO) değişkeni, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin varyansını 10 dönem sonunda yaklaşık %0.85'ini ve doğalgaz (LN) değişkeninin ise elektrik enerjisi yoğunluğu değişkeninin varyansını 10 dönem sonunda yaklaşık %0.46 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu sonuçlar, 10 dönem sonunda, elektrik enerjisi yoğunluğu (LE)'deki değişimleri en çok biyoyakıt ve atık (LB) ve hidro (LH) değişkenlerinin açıkladığı, doğalgaz (LN) değişkeninin ise en az seviyede açıkladığı tespit edilmiştir.

Elektrik enerjisi yoğunluğu (LE) değişkeninin varyans ayrıştırmasının ardından, Grafik 1'de etki-tepki fonksiyonları gösterilmektedir. Grafik 1'de yer alan kırmızı renkli alt ve üstteki kesikli çizgiler, bir standart hatalık güven aralığını, orta kısımda bulunan mavi çizgiler ise, etki-tepki fonksiyonunu ifade etmektedir. Mavi çizgilerin, sıfır çizgilerini en az bir defa kesmesi, söz konusu fonksiyonun istatistiki olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, mavi çizgi ile gösterilen etki-tepki fonksiyonlarının sıfır çizgisini en az bir defa kesmesi, söz konusu değişkenler ile kurulan VAR sisteminin durağan olduğunu ortaya koymaktadır.

Grafik 1: Genelleştirilmiş Etki ve Tepki Fonksiyonları



Grafik 1 incelendiğinde, kömür (LC), petrol (LO), doğalgaz (LN), biyoyakıt ve atık (LB) değişkeninde meydana gelen bir standart sapmalık şoka elektrik enerjisi yoğunluğunun (LE) tepkisi istatistiksel olarak anlamsızdır. Hidro (LH) değişkeninde meydana gelen bir standart sapmalık şoka elektrik enerjisi yoğunluğu (LE)'nin tepkisi ilk periyotta artış sonrasında ise azalış yönündedir. Söz konusu tepki zamanla sönümlenmektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye gelişmekte olan ülkeler arasında önemli bir yere sahiptir. Bunun en önemli sebeplerinden biri yüksek büyüme potansiyelidir. Ancak Türkiye bu büyümeyi dışarıdan ithal ettiği enerjiyle gerçekleştirebilmektedir. Türkiye'nin artan teknoloji, nüfus vb. faktörler ile enerji ihtiyacı artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına karşılık kendi enerjisini büyük oranda üretemeyen Türkiye'de enerji ithalatı zorunlu görülmektedir. Böylece zamanla artan enerji ihtiyacıyla ithal edilen enerji miktarı da artmaktadır. Bu durum Türkiye için cari ve enerji açığı gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Türkiye için artan enerji ihtiyacı her zaman sürdürülebilir enerji, alternatif enerji kaynaklarını artırma, toplam enerji kullanımında yenilenebilir enerji kaynağı payını yükseltme, enerji yoğun kullanımını azaltma ve enerjinin etkin/verimli kullanılması gerekliliklerini beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada Türkiye için 1990-2019 döneminde elektrik enerjisi yoğunluğu(tersine verimliliği/etkinliği) enerji kaynakları ile birlikte araştırılmıştır. Kullanılan modelde enerji yoğunluğu ve hidrolik, kömür, petrol, doğalgaz, biyoyakıt ve atık enerji kaynakları kullanılmıştır. Yöntem olarak vektör otoregresyonun kullanıldığı çalışmada bulgular Türkiye için ilgili dönem de elektrik enerjisi yoğunluğunun fosil yakıtlardan çok hidrolik, biyoyakıt ve atık enerji kaynaklarından daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Dolayısıyla günümüz teknolojisiyle beraber enerji üretimi yapılırken kullanılan enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerji gibi alternatif enerji kaynakları payı artan bir ivme kazanmıştır. Bu durum enerji konusunda dışa bağımlı Türkiye gibi ülkeler de sürdürülebilir ve güvenilir enerji için yenilenebilir enerjinin önemini ortaya koymakta ve önemli fırsatlar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

ADAÇAY, F. R. (2014), Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 87-103.

ADRİAN, C., DARNELL, A. (1990), *Dictionary of Econometrics*, England: Edward Elgar Publications.

AĞIR, H., KAR, M. (2010), "Türkiye'de Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi İlişkisi: Yatay Kesit Analizi." *Sosyoekonomi*, 6(12), 149-175.

AĞIR, H., ÖZBEK, S. ve TÜRKMEN, S. (2020), "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri: Ampirik Bir Tahmin". *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 6(4), 39-48.

AKPOLAT, A.G., ALTINTAŞ, N. (2013), "Enerji Tüketimi İle Reel Gsyih Arasındaki Eşbütünleşme ve Nedensellik İlişkisi: 1961-2010 Dönemi", *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 8(2), 115-127.

BİLİM, N. (2016), "Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimindeki dışa bağımlılığın azaltılması için uygulanması gereken politikalar" *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 145-154.

DİKMEN, A. Ç. (2019), "Türkiye'de Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları ve Çevre Maliyetinin Azalmasına Katkıları", *Electronic Turkish Studies*, 14(2), 275-293.

DİNÇER, F. (2011), “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme”, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 14(1), 8-17.

DULKADİROĞLU, H. (2018), “Türkiye’de Elektrik Üretimine Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.

GENÇOĞLU, M. T. (2002), “Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi” *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 57-64.

GRANGER, C.W.J., NEWBOLD, P. (1974), “Spurious Regressions in Econometrics, *Journal of Econometrics*, 2, 111-120.

GUJARATİ, D. (1999), Temel Ekonometri, Literatür yayıncılık, (Çevirenler: Ümit ŞENESEN, Gülay Günlük ŞENESEN), İstanbul.

GÜRLER, A. Z., BUDAK, D. B., AYYILDIZ, B. ve KAPLAN, U. E.(2020), Enerji Ekonomisi, Nobel Akademik Yayıncılık.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). (2021), Data and statistics, <www.iea.org>, 06/02/2020.

KAPLUHAN, E. (2014), “Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30), 97-125.

KARACA, O. (2017), “Türkiye’de Para ve Maliye Politikalarının Görelî Etkinliği: Var Analizi” *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(13), 227-240.

KARAYILMAZLAR, S. SARAÇOĞLU, N., ÇABUK, Y. ve KURT R. (2011), “Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 63-75.

KEATING, J.W. (1990), “Identifying VAR Models under Rational Expectations”, *Journal of Monetary Economics*, 25, 453-476.

KUMAR, V. LEONE, R. P. and GASKINS, J. N. (1995), “Aggregate and Disaggregate Sector Forecasting Using Consumer Confidence Measures”, *International Journal of Forecasting*, 11(3), 361-377.

NAİMOĞLU, M. (2021), “Fourier Yaklaşımıyla Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Enerji Kayıplarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Almanya Örneği”, *Journal of Economics and Research*, 2(1), 59-68.

NAİMOĞLU, M., AKAL, M. (2021), “Yükselen Ekonomilerde Enerji Etkinliğini Talep Yanlı Etkileyen Faktörler”, *Sosyoekonomi*, 29(49), 455-481.

ÖZBEK, Ö., NAİMOĞLU, M. (2021), “Enerji Verimliliğinin Dinamikleri: Var Analizi İle Türkiye Üzerine Ampirik Bir Tahmin. *19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 314-326.

ÖZEN, A., ŞAŞMAZ, M. Ü., BAHTİYAR, E. (2015), “Türkiye’de Yeşil Ekonomi Açısından Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Rüzgâr Enerjisi”, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2015(1), 85-93.

ÖZGEN, F.B., GÜLOĞLU, B. (2004), “Türkiye’de İç Borçların İktisadi Etkilerinin VAR Tekniğiyle Analizi”, *METU Studies in Development*, 31, 93-114.

ÖZSOY, C. E. (2015), “Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye’nin karbon ayak izi.” *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198-215.

SAĞBAŞ, A., BAŞBUĞ, B. (2018), “Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Enerji Verimliliği Uygulamaları: Türkiye Değerlendirmesi.” *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 43-50.

ŞENEL, M. C., ERDEM, K. O. Ç. (2015), “Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu-Genel değerlendirme.” *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.

TARI, R. (2014), *Ekonometri*, Gözden geçirilmiş 9. Baskı, Umuttepe yayınları, No:32.

TAŞKIN, E., YILMAZ, M. (2018), “Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminde Doğal Gazın Yeri ve Enerji Ekonomisi Açısından Önemi. In International Geography Symposium on The 30th Anniversary Of TUCAUM (ss.3-6).

TOPAL, M., ARSLAN, E. I. (2008), “Biyokütle enerjisi ve Türkiye”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17-19.

UYSAL, D., YILMAZ, K. ve TAŞ, T. (2015), “Enerji ithalatı ve Cari açık ilişkisi: Türkiye Örneği”, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 63-78.

WORLD BANK, (2021), *World development indicators online database*. <<https://databank.worldbank.org/source/world-developmentindicators>>, (Erişim Tarihi: 06 Şubat 2021).

YILMAZ, M. (2012), “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.

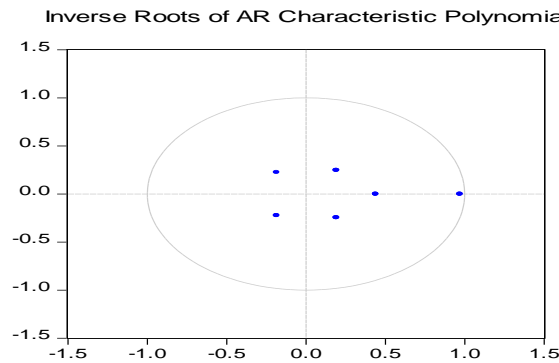
EKLER

Ek Tablo 4. VAR Modelinin Gecikme Sayısının Tespiti

Gecikme Sayısı	LOGL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	195.2624	NA	3.29e-14	-14.01944	-13.73148*	-13.93381
1	251.0097	82.58855*	8.18e-15*	-15.48220	-13.46645	-14.88281*
2	292.6015	43.13228	8.47e-15	-15.89641*	-12.15288	-14.78326

Ek Tablo 4’te LR, FPE ve HQ bilgi kriterlerinin, uygun gecikme uzunluğunu bir olarak belirlendiği elde edilmektedir. Dolayısıyla VAR modeli için uygun gecikme uzunluğu (otokorelasyon içermeyen model) bir gecikme uzunluğunda elde edilmiştir. Yani uygun VAR modeli VAR(1)’dir.

Ek Grafik 2. AR Karakteristik Polinomunun Ters Kökleri



Ek Grafik 2 sonuçlarına göre, AR karakteristik polinomunun ters köklerinin tamamı birim çemberin içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla, VAR(1) modelinin istikrarlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Ek Tablo 5. Otokorelasyon ve Değişen Varyans Testi Sonuçları

Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi		
<i>LRE Test İstatistiği</i>	<i>Gecikme Uzunluğu</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
1.281638	1	0.2110
White Değişen Varyans Testi		
<i>Ki-Kare</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
265.8580	252	0.2624

Ek Tablo 5 incelendiğinde kurulan VAR modelinin, hem değişen varyans problemi hem de otokorelasyon sorunu içermediği sonucu elde edilmektedir.

Ek Tablo 6. Jarque-Bera Normallik Testi

<i>Denklem</i>	<i>Jarque-Bera</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
1	0.504764	2	0.7769
2	1.314965	2	0.5182
3	0.707036	2	0.7022
4	0.474314	2	0.7889
5	1.906453	2	0.3855
6	0.405091	2	0.8166
Model	5.312623	12	0.9467

Ek Tablo 6'da ise Jarque-Bera normallik testi yapılmıştır. H_0 hipotezi, modelin hata terimleri normal dağılım göstermektedir biçiminde kurulmaktadır. Olasılık değerinin, 0.40 olduğu tespit edilmekte ve sıfır hipotezinin reddedilemediği sonucuna ulaşılmaktadır. Dolayısıyla modelin hata terimlerinin normal dağılım gösterdiği elde edilmektedir.