T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOWHY ALGORİTMASI İLE ENERJİ TÜKETİMİ VE GELİR ARASINDAKİ NEDENSEL İLİŞKİLERİ TEST EDİLMESİ

Bensu Desen KIVRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İstatistik Anabilim Dalı

İstatistik Programı

Danışman

Doç. Dr. Elif TUNA

Kasım, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOWHY ALGORİTMASI İLE ENERJİ TÜKETİMİ VE GELİR ARASINDAKİ NEDENSEL İLİŞKİLERİ TEST EDİLMESİ

Bensu Desen KIVRAK tarafından hazırlanan tez çalışması 27.11.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, İstatistik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Elif TUNA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Elif TUNA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Atıf Ahmet Evren, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Erhan Ustaoğlu, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Elif TUNA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “DoWhy Algoritması İle Enerji Tüketimi ve Gelir Arasındaki Nedensel İlişkileri Test Etme Tez Başlığı” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Bensu Desen KIVRAK

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında emeği geçen, katkı sağlayan ve bana destek olan tüm kişi ve kurumlara teşekkürlerimi sunarım.

Öncelikle, hayatımda her zaman yanımda olan ve bana desteğini hiç esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim. Onların sevgi, sabır ve anlayışları, bu zorlu süreçte bana büyük bir güç kaynağı oluşturmuştur. Beni her zaman cesaretlendiren, düşüncelerimi ve duygularımı anlayan ailem, bu çalışmanın tamamlanmasında en büyük motivasyon kaynağım olmuştur.

Ayrıca, bu tez sürecinde beni yönlendiren, rehberlik eden ve değerli bilgilerinden faydalandığım değerli tez danışmamım, hocam, Doç. Dr. Elif Tuna'ya en derin teşekkürlerimi sunarım. Kendisi sadece akademik bilgi ve deneyimiyle değil, aynı zamanda benim gelişimimi ve başarımı her zaman önemseyen bir danışman ve akademisyen olarak bana büyük bir yol gösterici olmuştur. Çalışmamın her aşamasında gösterdiği sabır, özveri ve değerli eleştiriler, bu çalışmamın kalitesini arttırmak adına çok kıymetli olmuştur. Sayın hocam Doç. Dr. Elif Tuna'nın desteği ve yönlendirmesi yalnızca akademik gelişimime değil, kişisel gelişimime de önemli katkılar sağlamıştır.

Bu süreçte, bana her türlü desteği sunan diğer akademisyenlere de teşekkür ederim. Onların katkıları ve paylaşımları, bu çalışmanın daha verimli ve anlamlı olmasına olanak sağlamıştır.

Son olarak, bu tez çalışmasının ortaya çıkmasını sağlayan akademik birikime, daha önce bu alanda çalışmalar yaparak bilime katkıda bulunan araştırmacılara ve bilim insanlarına şükranlarımı sunarım. Onların emekleri, bu çalışmanın sağlam temellere oturmasına yardımcı olmuştur.

Herkese teşekkürlerimi sunuyor, bu süreçte benimle olan ve destek veren tüm kişilere şükranlarımı iletmek istiyorum.

Bensu Desen KIVRAK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xi
ÖZET xii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Enerji ile Ekonomik Büyüme İlişkisine Giriş 1
1.2 Enerji - Ekonomik Büyüme Nedenselliğine İlişkin Kuramsal Çerçeveler .. 2
1.2.1 Büyüme Hipotezi 2
1.2.2 Koruma Hipotezi 2
1.2.3 Nötr Hipotez 2
1.2.4 Geri Bildirim Hipotezi 2
2 LİTERATÜR TARAMASI 4
2.1 Literatür Özeti 4
3 VERİ SETİ VE METODOLOJİ 11
3.1 Kullanılan Çalışma Verisi 11
3.2 Nedensel Çıkarımın Kuramsal Çerçevesi 11
3.2.1 Makine Öğrenmesi Bağlamında Nedensel Çıkarım 12
3.2.2 DoWhy Algoritması ve Temel Özellikler 14
3.2.3 Granger Nedensellik Analizi 16
4 AMPİRİK BULGULAR 19
4.1 Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel İlişkiler 19
4.1.1 DoWhy Kullanılarak Gerçekleştirilen Nedensellik Bulguları 20
4.1.2 Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular 22
4.1.3 Birim Kök Testine İlişkin Bulgular 23
4.1.4 Granger Nedensellik Testine İlişkin Bulgular 24

5 SONUÇ **30**
5.1 Sonuç.....30
KAYNAKÇA **33**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **36**

SİMGE LİSTESİ

X_t	Bağımlı Değişken
γ_t	Bağımsız Değişken
X_{t-i}	Bağımlı Değişkenin i. Gecikmeli Değeri
γ_{t-i}	Bağımsız Değişkenin i. Gecikmeli Değeri
α_i	X_{t-i}'nin X_t Üzerindeki Etkisi
b_i	γ_{t-i}'nin γ_t Üzerindeki Etkisi
c_i	X_{t-i}'nin γ_t Üzerindeki Etkisi
b_0,c_0	Eş Zamanlı Değişkenin Etkisi
$\varepsilon_1,\varepsilon_2$	Hata Terimi
Y_t	Bağımsız Değişken
Y_{t-i}	Bağımsız Değişkenin i. Gecikmeli Değeri
ΔY_t	Y_t'nin Birinci Farkı
α	Sabit Terim
β_t	Trend Terimi
γY_{t-1}	Y_{t-1}'in Durağanlığını Test Eden Değer
$\sum_{i=1}^{p} \delta_i \Delta Y_{t-i}$	Gecikmeli Fark Terimleri

KISALTMA LİSTESİ

ADF	Artırılmış Dickey-Fuller Testi (Augmented Dickey-Fuller Testi)
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
BIC	Bayesyen Bilgi Kriteri
BM	Birleşmiş Milletler
CE	Elektrik Tüketimi
DF	Dickey-Fuller Testi
FPE	Tahmini Ortalama Kare Hata
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GDP	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HQIC	Hannan-Quinn

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1 Gelişmekte Olan ve Az Gelişmiş Ülkelerde Nedensel İlişki Grafiği..... **22**

Şekil 4.1 Gelişmiş/Gelişmekte Olan/Az Gelişmiş Ülkeler ile GSYİH Arasındaki Korelasyon Matrisi..... **22**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi …….....**4**

Tablo 4.1 DoWhy Kullanılarak Gerçekleştirilen Nedensellik Bulguları ….....**20**

Tablo 4.2 Tespit Edilen Bulgular …….....**22**

Tablo 4.3 ADF Birim Kök Testi Sonuçları ……...…..**24**

Tablo 4.4 Gelişmiş Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri …….....**25**

Tablo 4.5 Gelişmekte Olan Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri …..…**26**

Tablo 4.6 Az Gelişmiş Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri ……**27**

Tablo 4.7 Gelişmiş Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları ……..**28**

Tablo 4.8 Gelişmekte Olan Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları…..**29**

Tablo 4.9 Az Gelişmiş Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları ……..**30**

Tablo 5.1 DoWhy Analizi ile Granger Nedensellik Analizi Karşılaştırması…..**31**

ÖZET

DoWhy Algoritması İle Enerji Tüketimi ve Gelir Arasındaki Nedensel İlişkileri Test Edilmesi

Bensu Desen KIVRAK

İstatistik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Elif TUNA

Bu çalışmada; gelişmiş, gelişmekte olan ve azgelişmiş ülke gruplarında 1974-2014 yılları arasındaki enerji harcaması ve ekonomik genişleme arasındaki nedensel bağın ortaya konması amaçlanmaktadır. Söz konusu ilişkinin doğru biçimde anlaşılması yalnızca enerji politikalarının etkin şekilde tasarlanması için değil, aynı zamanda ekonomik büyüme ile enerji kullanımı arasındaki karşılıklı etkileşimlerin aydınlatılması bakımından da kritik bir öneme sahiptir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji talebinin ekonomik büyümeye etkisi, kalkınma politikalarının temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, küresel ölçekte seçilen ülke örneklemi üzerinde yapılan analizler; enerji tüketimi ile büyüme arasındaki etkileşimi derinlemesine irdeleyerek farklı gelir gruplarındaki ülkelere yönelik stratejik politika önerilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Araştırmada iki ana değişken üzerinde durulmuştur: enerji tüketimi ve ekonomik genişleme. Bu değişkenler arasındaki nedensel bağın incelenmesi amacıyla, çağdaş bir makine öğrenmesi aracı olan DoWhy yöntemi tercih edilmiştir. DoWhy, yalnızca değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkinin varlığını göstermekle kalmayıp aynı zamanda ilişkinin yönünü ve etkisinin büyüklüğünü de ortaya çıkarabilen gelişmiş bir nedensel analiz yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada buna ek olarak, zaman serisi verileri için yaygın biçimde kullanılan Granger nedensellik testi de uygulanmıştır. Test, zaman serisi verilerindeki nedensellik yapısını

irdeleyerek DoWhy analizinde elde edilen sonuçların doğrulanmasına katkı sağlamıştır.

DoWhy analizinin ortaya koyduğu katsayılar, ülke grupları arasındaki nedensel ilişkinin hem yön hem de şiddet bakımından farklı olduğunu ve bunun yapısal özelliklerden kaynaklandığını göstermektedir. Analiz sonuçları gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketimi ile ekonomik büyümeninin birbirini karşılıklı olarak destekleyen bir ilişki içinde olduğunu, sanayi ve hizmet üretiminin hala önemli ölçüde enerji girdisine bağımlı olduğunu düşündürmektedir. Bu grupta enerji tüketiminden büyümeye giden etki oldukça güçlüdür, büyümeden enerjiye doğru ise daha zayıftır. Karşılıklı etkileşim devam etmekle birlikte katsayı farklı, büyümenin enerji talebini artırma kapasitesinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, büyümenin kısa vadede enerji altyapısına tam olarak yansımamasını, enerji arz kapasitesindeki kısıtları ve gelir artışının talebe dönüşmesindeki gecikmeleri akla getirmektedir. Az gelişmiş ülkelerde de ilişki çift yönlü ve pozitif olmakla birlikte büyüklükler farklıdır, enerji tüketiminin büyümeyi destekleyici etkisi burada da güçlüdür, ancak kişi başına düşen gelir artışının enerji tüketimine yansıması görece düşük düzeyde kalmaktadır. Bu desen, temel enerji altyapısının ve elektrik erişiminin sınırlı olduğu ülkelerde arz artışının ekonomik çıktılar üzerinde belirgin bir ivme yarattığını, buna karşılık gelir artışının enerji talebine geçişinin hem zamana yayıldığını hem de altyapı eksikleri nedeniyle kısıtlı kaldığını düşündürmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise her iki yönlü ilişkinin negatif çıkması, enerji yoğunluğunun düşmesi, ekonomik faaliyetlerinin hizmet ve teknoloji odaklı sektörlere kayması, enerji tüketimindeki artışın marjinal getirilerinin azalması ve büyümenin enerji talebini hafifletmesi gibi yapısal değişimlerle uyumludur. İstatistiksel açıdan bu sonuçlar, gelişmişlik düzeyine bağlı olarak enerji ve büyüme değişkenleri arasındaki ilişkinin biçim değiştirdiğini; düşük ve orta gelirli ülkelerde pozitif ve karşılıklı bağımlı bir yapıdan, yüksek gelirli ülkelerde ters yönlü ve sınırlayıcı bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir.

Bu çalışma, özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji harcaması ve ekonomik genişleme arasındaki etkileşimin ekonomik tahminler ile politika tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken kritik bir farktör olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Bulgular, enerji verimliliğini artırmaya ve yenilenebilir kaynakların payını genişletmeye yönelik stratejilerin, uzun vadeli kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir destek sağlayabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Harcama Miktarı, Kişi Başına Düşen Milli Gelir, Ekonomik Büyüme, Nedensellik Analizi, Makine Öğrenmesi, DoWhy, Elektrik Tüketimi, Gelişmiş Ekonomiler, Gelişmekte Olan Ekonomiler, Az Gelişmiş Ülkeler, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

ABSTRACT

Testing Casual Relationship Between Energy Consumption and Income With DoWhy Algorithm

Bensu Desen KIVRAK

Department of Statistics

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Elif TUNA

The present study explores how energy use and economic progress are causally connected within three groups of nations advanced, emerging and least developed-covering the years from 1974 to 2014. Gaining a precise understanding of this connection is essential not only for the formulation of sound energy policies but also for grasping the two-way interaction that links energy consumption with overall economic performance. In developing regions, changes in energy demand often shape the path of economic advancement and therefore represent a vital element of national development strategies.

To investigate these dynamics, a cross-national sample was examined to reveal how the interplay between energy use and growth differs by income category. The analysis contributes to the creation of policy perspectives tailored to the structural features of each economy.

Two main indicators are emphasized: energy consumption and economic expansion. The casual direction between them was assessed through a machine learning based inference framework known as DoWhy. Unlike conventional econometric tools, this approach not only detects associations but also quantifies both the strength and orientation of the casual effect. To ensure robustness, the well-

established Granger causality test for time series data was also applied, offering additional confirmation of the model outcomes.

Results indicate that both the direction and intensity of causality vary considerably among income levels because of underlying structural differences. For emerging economies, energy use and growth appear to reinforce one another: industry and services still depend heavily on energy inputs. The effect flowing from energy toward growth is strong, whereas the opposite path-from growth to energy consumption-is notably weaker. Despite the bidirectional nature of the relationship, coefficient differences suggest that ability of growth to raise energy demand remains constrained, possibly due to infrastructure bottlenecks, supply limitations or lags between rising income and actual consumption.

In low income nations, a similar two-way but uneven pattern emerges. Energy utilization significantly promotes output, yet gains in per capita income have only a mild effect on energy demand. This reflects conditions where basic infrastructure and electricity access are restricted-an expansion in energy supply can stimulate production quickly, but income-driven demand increases occur slowly and remain limited.

By contrast, high income economies display a negative bidirectional association, aligning with long term structural transformations such as declining energy intensity, the growing weight of service and technology sectors and the diminishing marginal benefits of additional energy use. Statistically, the findings imply that the energy-growth nexus evolves with economic maturity: shifting from mutual dependence.

Keywords: Energy Utilization, Economic Expansion, Causal Inference, Machine Learning, DoWhy, Developed Economies, Developing Economies

---

1
GİRİŞ

1.1 Enerji ile Ekonomik Büyüme İlişkisine Giriş

Enerji harcaması ve ekonomik genişleme arasındaki bağ, ekonomi literatüründe uzun süredir tartışılmaya devam eden temel başlıklardan birisidir. Bununla birlikte, söz konusu ilişkinin yönü konusunda araştırmacılar arasında ortak bir görüş bulunmamaktadır. Bazı çalışmalar nedenselliğin ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru işlediğini belirtirken bazıları enerji kullanımından büyümeye yöneldiğini göstermiş, bir kısmı ise iki değişken arasında anlamlı bir nedensel bağ tespit edememiştir. Öztürk(2010)[1], bulgular arasındaki bu farklılıkların büyük ölçüde kullanılan veri setlerinin kapsamı, değişkenlerin tanımlanma biçimi ve uygulanan ekonometrik yöntemlerdeki çeşitlilikten kaynaklandığını vurgulamaktadır.

Klasik ekonometrik yaklaşımlar, enerji kullanımı ile büyüme arasındaki ilişkinin yönünü ortaya koymada önemli katkı sağlamış olsa da son yıllarda, makine öğrenmesi temelli analiz teknikleri, araştırmalarda yaygın biçimde tercih edilen yöntemler arasına girmiştir. Söz konusu ilginin artmasının nedeni, klasik ekonometrik modellerin güvenilirliklerini sürdürebilmek için sapmasızlık, tutarlılık ve asimptotik etkinlik gibi katı varsayımlara sıkı biçimde bağlı olması yatmaktadır[2]. Makine öğrenmesi teknikleri ise bu varsayımlara doğrudan ihtiyaç duymaksızın, özellikle büyük ve karmaşık veri kümelerinde yüksek öngörü başarısı sergileyebilme potansiyeline sahiptir[2]. Bu nedenle, enerji-büyüme ilişkisine yönelik analizlerde, özellikle doğrusal olmayan veya karmaşık etkileşimlerin incelenmesinde makine öğrenmesi yaklaşımlarının geleneksel yöntemlere tamamlayıcı bir araç olarak dahil edilmesi giderek daha önemli hale gelmektedir.

1.2 Enerji - Ekonomik Büyüme Nedenselliğine İlişkin Kuramsal Çerçeveler

Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki karşılıklı bağını açıklamaya göre akademik araştırmalar, bu etkileşimin yönü ve doğasını anlamak için zamanla dört temel kuramsal yaklaşımın ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Literatürde bu yaklaşımlar büyüme hipotezi, koruma hipotezi, nötr hipotez ve geri bildirim hipotezi olarak adlandırılmaktadır[3].

1.2.1 Büyüme Hipotezi

Bu hipotez, enerji harcamasındaki yükselişin üretim potansiyelini genişleterek ekonomik genişlemeyi desteklediği görüşüne dayanır. Bilhassa sanayileşmiş ekonomilerde enerji, üretim faaliyetlerinin temel unsurlarından birisi olması sebebiyle, enerji arzındaki daralmalar ya da kesintiler büyüme üzerinden olumsuz sonuçlar doğurabilir.

1.2.2 Koruma Hipotezi

Bu hipotez, enerji tüketiminin asıl belirleyicisinin ekonomik büyüme olduğunu ancak bunun tersine bir etkinin bulunmadığını öne sürer. Başka bir ifadeyle, enerji kullanımındaki azalışın doğrudan büyüme hızını yavaşlatacağı varsayılmaz. Bu bakış açısı, enerji verimliliğinin yüksek olduğu ve ekonomik faaliyetlerin büyük ölçüde hizmet sektöründe yoğunlaştığı ülkelerde daha belirgin biçimde gözlenir.

1.2.3 Nötr Hipotez

Hipotez, enerji harcaması ile ekonomik genişleme arasındaki yönlü ya da anlamlı bir nedensellik bağının bulunmadığını savunur. Bu hipoteze göre, enerji kullanımındaki dalgalanmalar büyüme üzerinde doğrudan bir değişim yaratmaz, özellikle de enerjinin toplam üretim maliyetleri içindeki payının görece düşük olduğu ekonomilerde bu durum daha net biçimde gözlenebilir.

1.2.4 Geri Bildirim Hipotezi

Bu hipotez, enerji harcaması ile ekonomik gelişme arasındaki karşılıklı ve çift yönlü nedensellik bağı bulunduğunu savunmaktadır. Buna göre, ekonomik büyüme enerjiye olan talebi yükseltirken, artan enerji kullanımı da üretim kapasitesini

genişleterek büyümeyi besler. Bu karşılıklı etkileşim özellikle sanayileşme sürecindeki ya da gelişmekte olan ekonomilerde daha belirgin şekilde ortaya çıkar.

2
LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Literatür Özeti

Tablo 2.1 Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Kraft, J ve Kraft, A (1978)	ABD	1947-1974	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	GDP→EC (Koruma)
Akarca ve Long (1980)	ABD	1973-1978	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	Nötr
Yu ve Hwang (1984)	ABD	1947-1979	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	Nötr
Yu ve Choi (1985)	Güney Kore	1954-1976	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	Nötr
Erol ve Yu (1987)	Japonya, İtalya, Almanya, Kanada, Fransa ve İngiltere	1947-1983	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	Nötr GDP→EC(Koruma) EC→GDP (Büyüme) Nötr

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Nachane vd. (1988)	16 Ülke	1950-1985	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	GDP→EC (Geri Bildirim)
Abosedra ve Baghestani (1989)	ABD	1947-1987	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Hwang ve Gum (1991)	Tayvan	1961-1990	Sims Metodolojisini Dayalı Granger Nedensellik Testi	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Yu ve Jin (1992)	ABD	1974-1990	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	Nötr
Stern (1993)	ABD	1947-1990	VAR ve Granger Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme)
Cheng (1995)	ABD	1947-1990	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	Nötr
Masih ve Masih (1996)	Malezya, Filipinler, Singapur, Pakistan, Hindistan ve Endonezya	1955-1990	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	Nötr GDP↔EC (Geri Bildirim) EC→GDP (Büyüme) GDP→EC(Koruma)
Glasure ve Lee (1997)	Singapur ve Güney Kore	1961-1990	Eşbütünleşme, Hata Düzeltme Modeli ve Granger Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme) Nötr

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Cheng ve Lai (1997)	Tayvan	1955-1993	Eşbütünleşme ve Hsiao Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Cheng (1998)	Japonya	1952-1995	Eşbütünleşme ve Hsiao Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Cheng (1999)	Hindistan	1952-1995	Eşbütünleşme, Hata Düzeltme Modeli ve Hsiao Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Yang (2000)	Tayvan	1954-1997	Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Stern (2000)	ABD	1947-1994	Eşbütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme)
Soytaş vd (2001)	Türkiye	1960-1995	Eşbütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Asafu ve Adjaye (2000)	Filipinler, Tayland, Hindistan ve Endonezya	1971-1995	Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli	GDP↔EC (Geri Bildirim) EC→GDP (Büyüme)
Hondroyiannis vd. (2002)	Yunanistan	1960-1996	Hata Düzeltme Modeli	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Glasure (2002)	Güney Kore	1961-1990	Hata Düzeltme Modeli	GDP↔EC (Geri Bildirim)

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Fatai vd. (2002)	Yeni Zellanda	1960-1999	Granger Nedensellik Testi	Nötr
Altınay ve Karagöl (2004)	Türkiye	1950-2000	Hsiao Granger Nedensellik Testi	Nötr
Lee ve Chang (2005)	Tayvan	1955-2003	Eşbütünleşme	EC→GDP (Büyüme)
Lee (2005)	18 Gelişmekte Olan Ülke	1975-2001	Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli	EC→GDP (Büyüme)
Soytaş ve Sarı (2006)	Fransa, Kanada, İtalya, Japonya, ABD ve Almanya	1960-2004	Eş Bütünleşme, Hata Düzeltme Modeli ve Granger Nedensellik Testi	Nötr GDP↔EC (Geri Bildirim) EC→GDP (Büyüme) GDP→EC(Koruma)
Lee (2006)	11 Gelişmiş ülke, Almanya, İngiltere, İsveç, ABD, Belçika, Kanada, Hollanda, İsviçre, Fransa, İtalya ve Japonya	1960-2001	Granger Nedensellik Testi	Nötr GDP↔EC (Geri Bildirim) EC→GDP (Büyüme) GDP→EC(Koruma)
Mehrara (2007)	Petrol İhraç Eden Ülkeler	1971-2002	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Mahedevan vd. (2007)	Enerji İthal Eden 20 Ülke	1971-2002	Hata Düzeltme Modeli	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Lee ve Chang (2007)	18 Gelişmekte Olan Ülke ve 22 Gelişmiş Ülke	1971-2002 1965-2002	Panel VAR	GDP→EC(Koruma) EC→GDP (Büyüme)
Jobert ve Karanfil (2007)	Türkiye	1960-2003	Granger Nedensellik Testi	Nötr
Erbaykal (2007)	Türkiye	1970- 2003	ARDL Sınır Testi	EC→GDP (Büyüme, Kısa Dönem) Nötr (Uzun Dönem)
Karanfil (2008)	Türkiye	1970-2005	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	Nötr
Erdal vd. (2008)	Türkiye	1970-2006	Eş Bütünleşme ve Granger Nedensellik Testi	GDP→EC (Geri Bildirim)
Soytaş ve Sarı (2009)	Türkiye	1960-2000	Toda Yamamoto Nedensellik Testi	Nötr
Apergis ve Payne (2009)	Bağımsız Devletler Topluluğu (11 Ülke)	1991-2005	Eş Bütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli	EC→GDP (Büyüme, Kısa Dönem) GDP→EC(Koruma, Uzun Dönem)
Payne (2009)	ABD	1949-2006	Toda Yamamoto Nedensellik Testi	Nötr

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Odhiambo (2009)	Güney Afrika	1971-2006	Durağanlık Testi, Eş Bütünleşme Testi, Granger Nedensellik Testi	GDP↔ EC (Geri Bildirim)
Öztürk ve Acaravcı (2010)	Arnavutluk, Romanya, Bulgaristan ve Macaristan	1980-2006	ARDL Sınır Testi ve Eş Bütünleşme	Nötr
Tsani (2010)	Yunanistan	1960-2006	Toda Yamamoto Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme)
Sadorsky (2011)	8 Orta Doğu Ülkesi	1980- 2007	Pedroni Eşbütünleşme Testi, OLS, FMOLS, DOLS Testleri	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Akkemik ve Göksal (2012)	7 Ülke, 9 Ülke, 6 Ülke ve 57 Ülke	1980-2007	Hurlin ve Venet Panel Nedensellik Testi	Nötr GDP→EC(Koruma) EC→GDP (Büyüme) GDP↔EC (Geri Bildirim)
Anwar ve Nasreen (2014)	15 Asya Ülkesi	1980- 2011	Pedroni Eşbütünleşme Testi, DOLS Testi,VECM Dayalı Granger Nedensellik Testi	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Acaravcı vd. (2015)	Türkiye	1974- 2013	ARDL Eşbütünleşme Testi, Granger Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme)
Kalça vd. (2016)	Türkiye	1960- 2014	ARDL ve Eşbütünleşme Testi	EC→GDP (Büyüme)

Tablo 2.1 (Devamı) Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Üzerine Literatür Derlemesi

İlgili Çalışma	İncelenen Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Kullanılan Yöntem	Tespit Edilen İlişki
Faisal ve diğerleri (2017)	Belçika	1960- 2012	ARDL, Toda Yamamoto Nedensellik Testi	GDP→EC(Koruma)
Zhang vd. (2020)	Çin	2000-2019	Makine Öğrenmesi (Random Forest, SVM) ve Causal Inference	EC→GDP (Büyüme)
Nguyen ve Kim (2020)	Çin	1990-2019	Yapısal VAR Modeli ve Nonlinearity Test	EC→GDP (Büyüme)
Lee ve Kim (2021)	Güney Kore	1980-2018	Makine Öğrenmesi (XGBoost) ve Causal Inference	EC→GDP (Büyüme)
Mukhtarov (2022)	Azerbaycan	1992–2015	ARDL ve Toda Yamamoto Nedensellik Testi	EC→GDP (Büyüme)
Kangal vd. (2023)	Türkiye	2000-2021	Panel Veri Analizi, Granger Nedensellik Testi	GDP↔EC (Geri Bildirim)
Valencia (2024)	Ekvador	1965–2022	VAR, ARIMA, Granger nedensellik testi	EC→GDP (Büyüme)

3
VERİ SETİ VE METODOLOJİ

3.1 Kullanılan Çalışma Verisi

Bu analizde, Dünya Bankası'ndan (World Bank) verileri kullanılarak, Birleşmiş Milletler'in kalkınma sınıflandırmasına göre gelişmiş/gelişmekte olan/az gelişmiş gruplarına ayrılan ülkelerin, 1974-2014 yıllarını kapsayan elektrik tüketimi ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) serileri incelenmiştir. Analizin ilk aşamasında, makine öğrenmesine dayalı nedensellik inceleme yöntemlerinden DoWhy kullanılarak enerji tüketimi-büyüme ilişkisi değerlendirilmiştir. Devamında, ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki nedensel bağlantının sınanabilmesi için gerekli ön testler uygulanmış, verilerin durağanlık özelliklerine duyarlılığı nedeniyle Granger nedensellik testi öncesinde birim kök sınamaları gerçekleştirilmiştir.

3.2 Nedensel Çıkarımın Kuramsal Çerçevesi

Nedensellik analizine geçmeden evvel, nedensellik çıkarımının kuramsal arka planı, ihtiyaç duyulma nedenleri ve korelasyon ile olan kavramsal ayrımının açıklığa kavuşturulması önem taşımaktadır. Bilimsel araştırmalarda olgular yalnızca tekil varlıklar olarak değil, birbirleriyle kurdukları ilişkiler ve içinde bulundukları sistemin bütünü çerçevesinde anlam kazanır. Bu nedenle, herhangi bir olay ya da unsur diğer değişkenlerden tamamen bağımsız biçimde ele alındığında bilimsel olarak yeterli bir açıklama sunmaz. Özellikle korelasyon ile nedensel çıkarım kavramları sıkça karıştırılmaktadır; bu iki yaklaşım arasındaki ayrımın net biçimde ortaya konulması, yapılacak analizlerin doğru yorumlanabilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Korelasyon; değişkenlerin beraber ne yönde ve ne ölçüde değiştiğini gösteren bir araçtır fakat bu birlikte değişim, aralarında nedensel bir ilişki bulunduğunu göstermez. Bu sebeple korelasyon, tek başına nedensel bir bağın varlığını kanıtlamaz ve kimi zaman yanıltıcı yorumlara yol açabilir[4]. Diğer bir ifadeyle, değişkenler arasındaki paralellik tesadüfi olabileceği gibi, her iki değişkeni de eşzamanlı olarak etkileyebilen dış bir faktörün etkisinden de olabilir. Bu nedenle, gerçek nedensel ilişkilerin açığa çıkarılabilmesi için korelasyonun ötesine geçen daha ileri analitik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Nedensel çıkarım; değişkenin, başka değişken üzerindeki doğrudan etkisinin varlığını ve yönünü inceleyen bir yöntemdir. Diğer bir anlatımla, X'te meydana gelen değişimlerin Y'de sistematik bir farklılığa yol açıp açmadığını sorgular ve X'in Y üzerinden nedensel katkısını açığa çıkarmayı hedefler[5].

Bu çerçevede nedensellik yalnızca iki değişkenin birlikte hareket edip etmediğini yani basit korelasyon ilişkisini incelemekle sınırlı değildir. İlave olarak, olayların zaman içindeki dizilimini, karşı olgusal (counterfactual) analizleri ve dışsal faktörlerin kontrolünü içeren bir dizi ölçüte dayanır[6]. Özellikle sosyal bilimler ile ekonomi alanında yaygın biçimde başvurulan nedensel analizi yöntemleri, politika müdahalelerinin analiz edilmesi, yapay deneysel tasarımların oluşturulması ve gözleme dayalı verilerden tutarlı sonuçlara ulaşılması açısından önemli katkılar sağlar[7].

3.2.1 Makine Öğrenmesi Bağlamında Nedensel Çıkarım

Klasik makine öğrenmesi algoritmaları, esas olarak veri içindeki değişkenler arasında gözlemlenen istatistiki ilişkileri öğrenmeyi temel alır ve elde edilen bu ilişkiler temel alınarak, gelecekteki veri noktalarına yönelik tahminlerde bulunabilir. Bu yöntemler çoğunlukla değişkenler arasındaki korelasyonlardan yararlanarak sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi görevleri gerçekleştirebilir, bu yönüyle ise veri içindeki örüntüleri tanıma konusunda yüksek başarı sağlar. Ancak bu yaklaşımlar, veri setindeki nedensel yapıları hesaba katmamaları sebebiyle, politika değerlendirmeleri, karar destek mekanizmaları, sağlık müdahalelerin etkilerini değerlendirilmesi veya karşıt durum

(counterfactual) senaryoların incelenmesi gibi alanlarda sınırlı bir açıklama gücüne sahiptir[9].

Bu aşamada nedensel çıkarım yaklaşımları yalnızca değişkenler arasındaki korelasyonu değil aynı zamanda aralarındaki nedensel bağları ve müdahale senaryolarının olası sonuçlarını tahmin yetkinleriyle ön plana çıkar. Bu yaklaşımlar, gözlemsel verilerde bulunan istatistiksel bağlantıları temel alarak nedensel etkinin hem yönünü hem de büyüklüğünü ortaya çıkarmayı amaçlar[10]. Örneğin, uygulanan politikanın ekonomik sonuçlar üzerindeki doğrudan etkisini analiz etmek için sadece klasik regresyon modellerine başvurmak yeterli değildir. Bu noktada nedensel grafikler gibi kuramsal temele dayalı yöntemler önemli bir araç sunar[10].

Judea Pearl (2009) 'ün ortaya koyduğu yönlendirilmiş döngü bulunmayan grafikler (*Directed Acyclic Graphs – DAGs*), değişkenler arasındaki nedensel bağların açık biçimde modellenmesine olanak tanır ve bu sayede doğrudan ile dolaylı etkilerin birbirinden ayrıştırılmasını mümkün kılar. Bu grafik yapıları kullanılarak nedensel varsayımlar görsel bir şekilde ifade edilebilir ayrıca "back-door" ve "front-door" kriterleri gibi yöntemler aracılığıyla müdahalelerin etkileri daha isabetli biçimde tahmin edilebilir[11].

Son dönemlerde nedensel çıkarım yöntemlerinin makine öğrenmesi modelleriyle bir arada kullanılmasına yönelik dikkate değer bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu gelişme sayesinde DoWhy[11], EconML[11] ve CausalNex gibi açık kaynak kütüphaneler, araştırmacılara gözlemsel veri analizlerindeki nedensel etkilerin değerlendirilmesine ile birlikte karşıt durum (counterfactual) analizleri yapma olanağı sunmaktadır. Bu araçlar, kullanıcıların nedensel varsayımlarını açıkça ortaya konmasına, bu varsayımları doğrulamasına ve çeşitli nedensel etki tahminleyicilerini karşılaştırmalı olarak uygulamasına imkan tanır[11].

Nedensel çıkarım yaklaşımları özellikle ekonomi, sağlık, eğitim, sosyal politika ve enerji gibi çok boyutlu ve karmaşık sistemlerin anlaşılmasında giderek merkezi bir rol üstlenmektedir. Örneğin enerji ekonomisi kapsamında, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yalnızca korelasyona dayalı yöntemlerle ele

alınması, yanlış veya yanıltıcı politika sonuçlarına yol açabilir. Buna karşın, nedensel çıkarım tekniklerinin devreye sokulması, söz konusu ilişkinin yönü, şiddeti ve doğrusal olup olmadığı gibi temel sorulara daha güvenilir yanıtlar üretilmesine imkan verir [12]. Ayrıca bu yaklaşımlar, politika yapıcıların belirli müdahalelerin olası sonuçlarını önceden değerlendirmesine yardımcı olur ve daha isabetli kararlar almalarını destekler[13].

Öte yandan, nedensel çıkarım yöntemlerinin gözlemsel verilerde uygulanması titizlilik gerektirir. Varsayımların ihlali, modelin yanlış kurgulanması ya da ölçümden kaynaklanan yanlılıklar, ulaşılan nedensel sonuçların geçerliliğini ve güvenilirliğini azaltabilmektedir. Bu sebeple, gerçekleştirilen analizlerde kullanılan nedensel hipotezlerin açık bir biçimde ortaya konması ve bunların duyarlılık analizleri ile birlikte güçlendirilmesi önem taşımaktadır[14].

3.2.2 DoWhy Algoritması ve Temel Özellikler

DoWhy, gözlemsel verilerden nedensel etkileri hesaplamak için geliştirilmiş, matematiksel temellere dayalı ve açık kaynaklı Python algoritmasıdır. Araç; nedensel ilişkilerin modellenmesi, bu ilişkiler için etki tahminlerinin üretilmesi ve elde edilen sonuçların geçerlilik ve güvenilirlik testlerinin yapılması için kapsamlı bir analiz altyapısı sağlar[15].

DoWhy yaklaşımının temelinde, değişkenler arasındaki nedensel bağların açık biçimde tanımlandığı ve doğrusal olmayan yapıları da temsil edebilen yönlendirilmiş döngüsüz grafikler (*Directed Acyclic Graphs - DAG*) bulunur. Araştırmacı, çalışmanın hipotezini temel alarak bu grafik üzerinde bağımsız, bağımlı ve olası karıştırıcı (confounder) değişkenleri belirler. Böylece değişkenler arasındaki nedensel yönler görsel olarak netleştirilir ve gözlemsel verilerde hangi ilişkilerin nedensel incelemeye elverişli olduğu saptanabilir.

Bu aşamada, olasılıkla karıştırıcı rol oynayan değişkenlerin (counfounders) etkileri de modele dahil edilerek, etki tahminindeki yanlılıkların en aza indirilmesi amaçlanır. Bu tür bir yapılandırma, nedensel çıkarım sürecinin hem şeffaf hem de tekrarlanabilir şekilde yürütülmesine olanak tanır.

Model oluşturulduktan sonra DoWhy, tanımlanabilirlik (identifiability) analizini uygular. Bu adımda, belirlenen nedensel grafik yapısına dayanarak incelenen nedensel etkinin gözlemsel verilerden istatistiksel olarak anlamlı biçimde çıkarılıp çıkarılamayacağı sorgulanır. Tanımlanabilirlik, ilgili nedensel etkinin istatistiksel yöntemlerle tahmin edilebilir olmasını ifade eder ve bu aşamada gerekli varsayımların geçerliliği sağlanır.

DoWhy algoritması, tanımlanabilir bir nedensel etkinin tahmini için farklı istatistiksel ve makine öğrenmesi tabanlı teknikleri bir araya getirme esnekliğine sahiptir. En sık kullanılan yöntemler arasında regresyon tabanlı modeller, benzerlik puanı eşleştirme (propensity score matching), ters olasılık ağırlıklandırma (inverse probability weighting) ve çift sağlam tahminciler (doubly robust estimators) bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, ihtiyaç duyulduğunda random forest veya gradient boosting gibi gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları da uygulanabilir. Bu çeşitlendirilmiş yaklaşım, modelin veriye daha iyi uyum sağlamasına ve elde edilen sonuçların güvenilirliğinin yükselmesine katkı sunar.

DoWhy'nin dikkat çeken özelliklerinden biri, tahmin edilen nedensel etkinin sağlamlığını (robustness) farklı senaryolar altında ayrıntılı testlerle değerlendirme imkanı sunar. Bu aşamada, çeşitli varsayımlar ve koşullar değiştirildiğinde elde edilen sonuçların nasıl farklılaştığı sistematik olarak incelenir.

Gözlemsel verilerle yürütülen analizlerde, nedensel çıkarımın karşılaştığı en büyük zorluklardan biri karıştırıcı değişkenlerin (confounders) etkisidir. DoWhy algoritması bu tür karıştırıcı faktörleri hem grafik tabanlı modelleme aşamasında hem de istatistiksel control süreçlerinde dikkate alarak, nedensel ilişki tahminlerinin doğruluğunu artırır. Bunun yanı sıra, kullanılan yöntem analiz sürecinin şeffaf ve tekrarlanabilir bir biçimde yürütülmesine katkı sağlar.

Çalışmada, enerji harcaması ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel bağı incelemek amacıyla, karmaşık ilişkileri kurma, tahmin etme ve sağlamlığını değerlendirme amacıyla, karmaşık ilişkileri kurma, tahmin etme ve sağlamlığını değerlendirme konularında güçlü bir analitik çerçeve sunması nedeniyle DoWhy algoritması tercih edilmiştir[15]. Söz konusu yöntem, özellikle çok değişkenli

nedensel sistemlerin anlaşılmasında sunduğu esnek yapısı ve güvenilir test mekanizmaları ile öne çıkmaktadır.

3.2.3 Granger Nedensellik Analizi

Granger nedensellik testi, 1969 yılında Clive W. Granger tarafından geliştirilmiş olup iki temel amaca hizmet eder. İlk olarak, incelenen bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir nedensel ilişkinin bulunup bulunmadığını sorgular. İkinci olarak ise söz konusu ilişkinin hangi yönde ortaya çıktığını belirlemeye çalışır[16].

İki değişken arasında güçlü bir saptanabilir ancak bu durum onların mutlaka nedensel bir bağa sahip olduğu anlamına gelmez.

Granger Nedensellik Testi, bir değişkenin zaman içindeki mevcut değerlerinin, diğer bir değişkenin geçmiş dönem bilgileriyle açıklanıp açıklanamayacağını sorgulayan istatistiksel yöntemdir. Basitçe ifade etmek gerekirse, eğer X değişkeninin önceki dönemlerdeki değerleri Y değişkeninin bugünkü değerlerini anlamlı şekilde öngörebiliyorsa, istatistiksel olarak "X, Y'nin Granger nedeni olarak değerlendirilir."

Granger (1969)'ın ortaya koyduğu nedensellik testi, üç temel varsayıma dayanmaktadır.

i. Nedensellik, yalnızca geçmişteki ve mevcut dönemdeki olayların gelecekteki sonuçlar üzerinde etkili olabilmesi durumunda söz konusudur. Buna karşın, gelecekte meydana gelecek bir olayın geçmişi etkilemesi mümkün değildir. Dolayısıyla gerçek anlamda nedensellik, yalnızca geçmişin şimdiyi ya da geleceği etkilemesiyle sınırlıdır.

ii. Zaman serilerindeki nedensel ilişkinin, dönemler boyunca sabit kaldığı ve dolayısıyla durağan bir yapıya sahip olduğu varsayılır.

iii. Nedensellik analizi yalnızca stokastik süreçler için geçerlidir. Deterministik süreçler arasındaki nedensel ilişkilerin istatistiksel yöntemlerle ortaya konması mümkün değildir.

İki değişken arasındaki nedensel bağı temsil eden model, aşağıda sunulmuştur[17]:

$$X_1 + b_0\gamma_t = \sum_{i=1}^{n} a_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n} b_i \gamma_{t-i} + \varepsilon_1 \quad \textbf{(3.1)}$$

$$\gamma_1 + c_0 X_t = \sum_{i=1}^{n} c_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n} d_i \gamma_{t-i} + \varepsilon_2 \quad \textbf{(3.2)}$$

Modelde $b_0 = c_0 = 0$ koşulu sağlandığında, nedensellik ilişkisi aşağıdaki biçimde ifade edilir[17].

$$X_1 = \sum_{i=1}^{n} a_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n} b_i Y_{t-i} + \varepsilon_1 \quad \textbf{(3.3)}$$

$$Y_1 = \sum_{i=1}^{n} a_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n} b_i Y_{t-i} + \varepsilon_1 \quad \textbf{(3.4)}$$

Granger nedensellik analizine ait hipotezler aşağıda verilmiştir.

$H_0 : \alpha_i = 0 \rightarrow X,\ \mathrm{Y'}nin\ \mathrm{Granger}\ nedeni\ değildir.$
$H_1 : \alpha_i \neq 0 \rightarrow X,\ \mathrm{Y'}nin\ \mathrm{Granger}\ nedenidir.$

3.2.3.1 Durağanlık ve Birim Kök Sınamaları

Zaman serisi analizlerinde ilk adım, serilerin durağan olup olmadığının belirlenmesidir. Durağan olmayan seriler, yanıltıcı veya sahte regresyon sonuçlarına yol açabileceğinden, öncelikle bu serilerin birim kök içerip içermediği sınanmalıdır. Bu amaçla en sık başvurulan yöntemlerden biri, Dickey ve Fuller (1979, 1981)'in geliştirdiği Genişletilmiş Dickey-Fuller (*Augmented Dickey Fuller*

– *ADF*) testidir. ADF testi, klasik Dickey-Fuller (DF) testine otokorelasyon sorununu gidermek için gecikmeli fark terimleri eklenerek geliştirilmiş bir versiyondur.

Aşağıda sunulan regresyon modeli, ADF testinin uygulanmasında kullanılmaktadır:

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(3.5)}$$

Birim kök testlerinin dayandığı hipotezler aşağıda belirtilmiştir:

$H_0 : \rho = 1 \rightarrow Birim\ kök\ içermektedir,\ seri\ durağan\ değildir.$
$H_1 : \rho \neq 1 \rightarrow Birim\ kök\ içermemektedir,\ seri\ durağandır.$

4
AMPİRİK BULGULAR

4.1 Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel İlişkiler

Bu araştırmada, Birleşmiş Milletler'in gelişmişlik düzeyine göre yaptığı sınıflandırma esas alınarak ülkeler gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş olmak üzere üç ana gelir grubunda ele alınmıştır. Çalışmanın temel hedefi, elektrik harcaması ve ekonomik gelişim arasındaki nedensel bağının bu gelir gruplarına göre farklılık göstermesinin analitik olarak incelemektir.

Bu kapsamda, gelir gruplarına göre sınıflandırılan ülkelerde elektrik tüketimi ile GSYİH arasındaki nedensellik ilişki, modern nedensellik analizi yaklaşımlarından biri olan bir yazılım kütüphanesi aracılığıyla incelenmiştir. Analiz sonuçlarının güvenilirliğini pekiştirmek amacıyla, ek olarak Granger nedensellik testi de uygulanmıştır.

Yapılan analizlerde, sadece çift yönlü nedensel etkinin belirlenmesiyle sınırlı kalmamıştır. Her gelir grubunda enerji kullanımının mı kişi başına düşen milli geliri yönlendirdiği yoksa kişi başına düşen milli gelirin mi enerji kullanımını belirlediği veyahut değişkenler arasında anlamlı nedensel bir bağlantı olup olmadığını da sistematik olarak araştırılmıştır.

4.1.1 DoWhy Kullanılarak Gerçekleştirilen Nedensellik Bulguları

Tablo 4.1 DoWhy Kullanılarak Gerçekleştirilen Nedensellik Bulguları

Gelir Düzeyi	Açıklama	Etki Sayısı	Değerlendirme
Gelişmiş Ülkeler	EC→GDP	-3,14	Negatif ve güçlü etki
	GDP→EC	-0,063	Negatif fakat zayıf etki
Gelişmekte Olan Ülkeler	EC→GDP	2,84	Pozitif ve güçlü etki
	GDP→EC	0,289	Pozitif ancak zayıf etki
Az Gelişmiş Ülkeler	EC→GDP	2,11	Pozitif ve güçlü etki
	GDP→EC	0,374	Pozitif ancak zayıf etki

Gelişmiş ülkeler grubuna yönelik gerçekleştirilen nedensellik analizinde, enerji kullanımının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi -3,14 olarak hesaplanmış ve bu sonuç, elektrik harcamasında meydana gelen artışların ekonomik büyümeyi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilediğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, enerji harcamasındaki her bir birimlik yükseliş, ekonomik büyüme oranında ortalama 3,14 birimlik bir azalışla ilişkilidir. Elde edilen sonuç, gelişmiş ekonomilerde enerji verimliliğinin yüksek seviyelere ulaşması ve büyümenin enerji tüketimine olan bağımlılığının giderek azalması ile açıklanabilir[18].

Öte yandan, ekonomik büyümenin enerji harcaması üzerindeki etkisi -0,063 olarak tahmin edilmiştir. Bu katsayının yönü ve büyüklüğü birlikte değerlendirildiğinde, ekonomik büyümenin enerji talebini anlamlı ölçüde etkilemediğini, ilişkinin ise oldukça zayıf ve ters yönlü bir ilişkiye işaret etmektedir. Bu sonuç, gelişmiş ekonomilerde büyümenin daha çok bilgi odaklı sektörler, hizmetler ve dijitalleşme gibi enerji yoğunluğu düşük alanlarda gerçekleştiğini düşündürmektedir.

Gelişmekte olan ülkeler grubu analizlerinde, enerji harcamasının ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin ise 2,84 olduğunu göstermektedir. Bu değer, enerji harcamasındaki yükselişin büyümeyi hem pozitif yönde hem de istatistiksel açıdan

anlamlı biçimde desteklediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuç, sanayileşme sürecinin devam ettiği ve üretim faaliyetlerinin enerjiye yüksek derecede bağımlı olduğu ülke sınıfının yapısal özellikleriyle uyumlu olduğu görülmektedir[19].

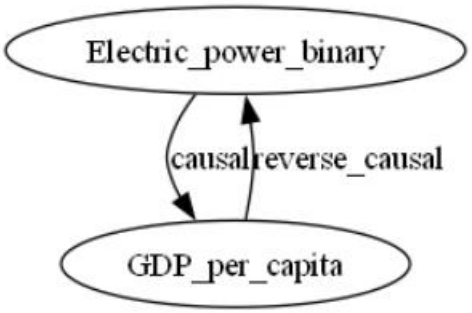
Ek olarak yapılan analizler, ekonomik büyümenin enerji harcamasına etkisinin 0,289 olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, pozitif yönde olmakla beraber oldukça sınırlı bir etkiye işaret etmektedir. Sonuçlar, ekonomik büyümenin enerji talebini artırdığını ancak bu artışın güçlü bir ivme yaratmadığını göstermektedir. Bu durum, büyümenin enerji altyapısına yeterince yansımadığı, enerji verimliliğinin görece düşük kaldığı ve altyapı yatırımlarının sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkeler için karakteristik bir tabloyu yansıtmaktadır.

Buna karşın, iki değişken arasındaki karşılıklı bir nedensel etki bulunması, geri bildirim hipotezi çerçevesinde yorumlanabilir. Ancak bu karşılıklı etkinin düzeyi, yapısal kısıtlar nedeniyle sınırlı kalmaktadır.

Az gelişmiş ülkeler grubuna yönelik yapılan analizler, enerji harcamasının büyüme üzerindeki etkisinin 2,11 olduğunu tahmin etmektedir. Bu pozitif katsayı, enerji tüketiminin bu ekonomilerde büyümenin temel itici unsurlarından biri olduğunu göstermektedir. Enerji altyapısının sınırlı olduğu bu ülkelerde, istihdama ve hizmet sektörüne doğrudan yansıdığı değerlendirilmektedir.

Buna karşın, büyümenin elektrik harcaması üzerindeki etkisi 0,374 olarak hesaplanmış olup, pozitif ve istatistiksel açıdan anlamlı olsa da sınırlı bir düzeydedir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin enerji talebini artırdığını ancak altyapı yetersizlikleri, düşük gelir seviyeleri ve enerjiye erişimindeki sınırlamalar nedeniyle bu artışın güçlü bir ivmeye dönüşemediğini ortaya koymaktadır.

Bu ülkelerde gözlenen karşılıklı etkileşim, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin geri bildirim hipotezine uygun bir yapı sergilediğini göstermektedir.



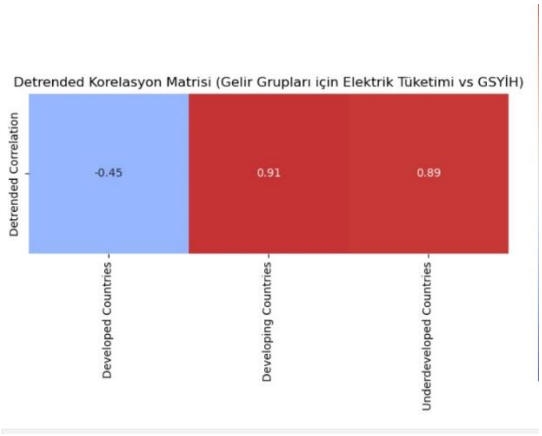
Şekil 4.1 Gelişmekte Olan ve Az Gelişmiş Ülkelerde Nedensel İlişki Grafiği

Tablo 4.2 Tespit Edilen Bulgular

Gelir Grubu	Nedensellik Bulgusu
Gelişmiş Ülkeler	Negatif Yönlü Nedensellik*
Gelişmekte Olan Ülkeler	GDP↔EC (Geri Bildirim Hipotezi)
Az Gelişmiş Ülkeler	GDP↔EC (Geri Bildirim Hipotezi)

*Enerji kullanımındaki artışın, ekonomik büyümeyi negatif etkilediği, ters yönlü nedensellik ilişkisine işaret etmektedir (Payne, 2010)

4.1.2 Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular



Şekil 4.1 Gelişmiş/Gelişmekte Olan/Az Gelişmiş Ülkeler ile GSYİH Arasındaki Korelasyon Matrisi

Yukarıdaki grafikte sunulan Korelasyon Matrisi gelir düzeylerine göre Gelişmiş, Gelişmekte Olan ve Az Gelişmiş olarak gruplandırılan ülke grupları için eğilimden arındırılmış korelasyon katsayılarını göstermektedir.

Gelişmiş Ülkeler ile ekonomik büyüme arasında -0,45 korelasyon bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerdeki elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında negatif yönlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu durum, gelişmiş ekonomilerde enerji verimliliğinin

yüksek olması, ekonomik büyümenin daha çok hizmet ve teknoloji gibi düşük enerji yoğunluklu sektörler üzerinden gerçekleşmesi ile açıklanabilmektedir. Dolayısıyla elektrik tüketimindeki değişimler, gelişmiş ülkelerde ekonomik büyümeyi sınırlı veya ters yönlü etkileyebilmektedir.

Gelişmekte Olan Ülkeler ile ekonomik büyüme arasında 0,91 korelasyon bulunmaktadır. Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında güçlü bir pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Bu sonuç, ekonomik büyümenin büyük ölçüde sanayi üretimi ve altyapı yatırımlarına dayandığını ve bu sektörlerin enerjiye yüksek derecede bağımlı olduğunu göstermektedir.

Az Gelişmiş Ülkeler ile ekonomik büyüme arasında 0,89 korelasyon bulunmaktadır. Gelişmekte Olan Ülkelerde olduğu gibi Az Gelişmiş Ülkelerdeki elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmaktadır. Az Gelişmiş Ülkelerde elektrik tüketimi artışı genellikle temel altyapı, sanayi gelişimi ve üretim kapasitesinin genişlemesi ile parallel ilerlemektedir.

4.1.3 Birim Kök Testine İlişkin Bulgular

Granger nedensellik analizinden önce, çalışmada kullanılan zaman serilerinin durağanlık özelliklerinin incelenmesi zorunludur. Bu amaçla, serilerin birim kök taşıyıp taşımadığını belirlemek amacıyla Dickey ve Fuller (1979)'in geliştirdiği Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmıştır.

Tablo 4.3 ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Gelir Sınıfı	İncelenen Değişken	ADF Test İstatistiği	p-Değeri
Gelişmiş Ülkeler	GDP	-3,3025	0,0147
	EC	-6,1975	0,0000
Gelişmekte Olan Ülkeler	GDP	-7,9278	0,0000
	EC	-8,4056	0,0000
Az Gelişmiş Ülkeler	GDP	-7,4386	0,0000
	EC	-7,8235	0,0000

Gelişmiş ülkelerde;

GDP p-değeri: 0,0147 < α: 0,05 $\rightarrow H_0$ reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

EC p-değeri: 0,0000 < α: 0,05 $\rightarrow H_0$ reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

Gelişmekte olan ülkelerde;

GDP p-değeri: 0,0000 < α: 0,05 →H_0 reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

EC p-değeri: 0,0000 < α: 0,05 →H_0 reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

Az gelişmiş ülkelerde;

GDP p-değeri: 0,0000 < α: 0,05 →H_0 reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

EC p-değeri: 0,0000 < α: 0,05 →H_0 reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.

4.1.4 Granger Nedensellik Testine İlişkin Bulgular

Tablo 4.4 Gelişmiş Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri

Gecikme Seçimi (AIC, BIC, FPE, HQIC): VAR Order Selection (* highlights the minimums)				
	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.93*	24.02*	2.482e+10*	23.97*
1	23.96	24.23	2.553e+10	24.05
2	23.98	24.43	2.616e+10	24.14
3	24.05	24.67	2.808e+10	24.26
4	24.16	24.96	3.193e+10	24.44
5	24.30	25.27	3.721e+10	24.63

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi, bilgi kriterleri açısından Gelişmiş Ülkeler için en düşük değer 0 gecikmede elde edilmiştir. Bu sonuç, teorik olarak en uygun modelin sıfır gecikmeli model olduğunu göstermektedir. Ancak Granger nedensellik testinin temel mantığı gereği sıfır gecikme düzeyinin kullanılması uygun değildir. Çünkü bu testin amacı, bir değişkenin geçmiş (gecikmeli) değerlerinin diğer bir değişken üzerindeki etkisini incelemektedir. Dolayısıyla, nedensellik ilişkisini test edebilmek için en az bir gecikme düzeyine ihtiyaç duyulmaktadır (Granger, 1969). Bu nedenle, bilgi kriterleri en düşük değeri sıfır

gecikmede göstermiş olsa da, yöntemsel gereklilikler nedeniyle testler bir gecikme düzeyi üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.5 Gelişmekte Olan Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri

Gecikme Seçimi (AIC, BIC, FPE, HQIC): VAR Order Selection (* highlights the minimums)				
	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.66	23.72	1.881e+10	23.68
1	22.13	22.32	4.095e+09	22.21
2	21.84	22.15	3.059e+09	21.96
3	21.59	22.02*	2.391e+09	21.77*
4	21.59	22.15	2.395e+09	21.81
5	21.58*	22.25	2.356e+09*	21.85

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, Gelişmekte Olan Ülkeler için gecikme sayısı 3, 4 ve 5 olduğunda bilgi kriterlerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle,

- AIC (Akaike Bilgi Kriteri) ile FPE (Tahmini Ortalama Hata) en düşük değeri 5.gecikme düzeyinde rapor ederken,
- BIC (Bayesyen Bilgi Kriteri) ve HQIC (Hannan-Quin Kriteri) ise en düşük değeri 3. gecikme düzeyinde vermektedir.

Bu durum, tüm kriterler birlikte değerlendirildiğinde, 3. ve 5. gecikme düzeylerinin her ikisinin de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, AIC ve FPE kriterlerinin 5. gecikmeyi desteklemesi, analizde bu düzeyin tercih edilmesini gerekçelendirmiştir. Dolayısıyla, Granger nedensellik testleri 5. gecikme düzeyi kullanılarak yürütülmüştür.

Tablo 4.6 Az Gelişmiş Ülkeler için Gecikme Seçimi Bilgi Kriterleri

Gecikme Seçimi (AIC, BIC, FPE, HQIC): VAR Order Selection (* highlights the minimums)				
	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.27	23.33	1.279e+10	23.30
1	21.50	21.68	2.166e+09	21.57
2	21.24	21.55	1.675e+09	21.36
3	20.98	21.41*	1.293e+09	21.15
4	20.98	21.53	1.295e+09	21.20
5	20.88*	21.55	1.169e+09*	21.14*

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, Az Gelişmiş Ülkeler için tüm bilgi kriterlerinin özellikle 3, 4 ve 5. Gecikme düzeylerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

- AIC, FPE ve HQIC kriterleri en düşük değeri 5. gecikme düzeyinde rapor ederken,
- BIC ise en küçük değeri 3. gecikme düzeyinde vermektedir.

Bu sonuçlar, özellikle 3 ve 5. gecikme düzeylerinin öne çıktığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, AIC, FPE ve HQIC'nin 5. gecikmeyi desteklemesi ve tahmin performansı ile testin güvenilirliği açısında daha uygun bulunması nedeniyle, Granger nedensellik analizinde bilgi kriterlerinin çoğunluğu tarafından önerilen 5. gecikme düzeyi tercih edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda Granger nedensellik analizine yönelik bulgular yer almakta olup, her gecikme düzeyine ilişkin sonuçlar ayrı ayrı ele alınmış, en uygun gecikme düzeyi belirlenerek buna dayalı nihai yorumlar ayrıca açıklanmıştır.

Tablo 4.7 Gelişmiş Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları

Gelir Grubu	Nedensel Yönü	Gecikme Düzeyi	p-Değeri
Gelişmiş Ülkeler	EC→GDP	1	0.0782
	GDP→EC	1	0.0426
	EC→GDP	2	0.0645
	GDP→EC	2	0.1175
	EC→GDP	3	0.0764
	GDP→EC	3	0.1556
	EC→GDP	4	0.1135
	GDP→EC	4	0.2490
	EC→GDP	5	0.0753
	GDP→EC	5	0.1152

Gelişmiş ülke grubunda yapılan Granger nedensellik testinde, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki her iki yönlü olarak incelenmiş ve analizler 1. gecikmeden 5. gecikmeye kadar farklı düzeyler için yürütülmüştür.

Her iki nedensel yön için farklı gecikme düzeylerinden elde edilen p-değerleri incelendiğinde, elektrik tüketiminden ekonomik büyümeye doğru olan etki tüm gecikme düzeylerinde %5 anlamlılık sınırında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Diğer taraftan, ekonomik büyümenin elektrik tüketimine olan etkisini değerlendiren sınamalarda yalnızca 1. gecikme düzeyinde anlamlı bir Granger nedenselliği gözlenmiş, diğer gecikme düzeylerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Bilgi kriterlerinin de en uygun gecikme sayısı olarak 1'i işaret etmesi nedeniyle, değerlendirmeler bu gecikme düzeyine ait sonuçlar üzerinden yapılmıştır. Bu nedenle, 1. gecikmeye ilişkin sonuçlar temel alınarak;

$$EC \rightarrow GDP\ p-değeri: 0,782 > 0,05 \rightarrow H_0\ reddedilemez.\ EC,\ GDP'nin\ Granger\ nedeni\ değildir.$$
$$\text{GDP} \rightarrow EC\ p-değeri: 0,0426 < 0,05 \rightarrow H_0\ reddedilir.\ GDP,\ EC'nin\ Granger\ nedenidir.$$

Bu bulgular, gelişmiş ülke grubunda kısa vadede yalnızca ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru anlamlı bir nedensellik mevcut olduğunu ancak bunun tersi yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki görülmediğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.8 Gelişmekte Olan Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları

Gelir Grubu	Nedensel Yönü	Gecikme Düzeyi	p-Değeri
Gelişmekte Olan Ülkeler	EC→GDP	1	0.0224
	GDP→EC	1	0.0131
	EC→GDP	2	0.0428
	GDP→EC	2	0.0236
	EC→GDP	3	0.0081
	GDP→EC	3	0.0072
	EC→GDP	4	0.0008
	GDP→EC	4	0.0001
	EC→GDP	5	0.0020
	GDP→EC	5	0.0004

Gelişmekte olan ülkeler için gerçekleştirilen Granger nedensellik testlerinde, her iki yönlü nedensellik de tüm gecikme düzeylerinde anlamlı çıkmıştır. Bu sonuç, bu ülke grubunda enerji harcaması ve büyüme arasında karşılıklı ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bilgi kriterlerinin de en uygun gecikmeyi 5 olarak belirlemesi üzerine, analizler 5. gecikme düzeyine ait bulgular dikkate alınarak yürütülmüştür. Bu nedenle, 5. Gecikme düzeyine ait bulgular referans alındığında;

$$EC \rightarrow GDP\ p-değeri: 0,0020 < 0,05 \rightarrow H_0\ reddedilir.\ EC,\ GDP'nin\ Granger\ nedenidir.$$
$$\text{GDP} \rightarrow EC\ p-değeri: 0,0004 < 0,05 \rightarrow H_0\ reddedilir.\ GDP,\ EC'nin\ Granger\ nedenidir.$$

Bu sonuçlar, gelişmekte olan ülke grubunda enerji harcaması ve büyüme arasında karşılıklı bir Granger nedensel ilişki bulunduğu ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 4.9 Az Gelişmiş Ülkelerde Granger Nedensellik Testi Bulguları

Gelir Grubu	Nedensel Yönü	Gecikme Düzeyi	p-Değeri
Az Gelişmiş Ülkeler	EC→GDP	1	0.0244
	GDP→EC	1	0.0080
	EC→GDP	2	0.0804
	GDP→EC	2	0.0263
	EC→GDP	3	0.0697
	GDP→EC	3	0.0239
	EC→GDP	4	0.0405
	GDP→EC	4	0.0050
	EC→GDP	5	0.0738
	GDP→EC	5	0.0098

Analiz sonuçlarına göre, 1. ve 4. gecikme düzeylerinde %5 anlamlılık düzeyinde çift yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Ancak 2, 3 ve 5. gecikme düzeylerinde yalnızca büyümeden elektrik tüketimine doğru anlamlı bir nedensellik saptanmış, ters yönde ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Bilgi kriterleri, en uygun gecikme sayısını 5 olarak önermektedir. Bu nedenle, 5 gecikme sonuçları dikkate alındığında;

$EC \rightarrow GDP\ p-değeri: 0,0738 > 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilemez. EC, GDP'nin Granger nedeni değildir.*
$\text{GDP} \rightarrow EC\ p-değeri: 0,0098 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. GDP, EC'nin Granger nedenidir.*

Analiz bulguları, kısa vadede az gelişmiş ülkelerde ekonomik büyümeden elektrik tüketimine yönelen ilişkinin anlamlı olduğunu; buna karşılık elektrik tüketiminden büyümeye doğru anlamlı bir nedensellik bulunmadığını ortaya çıkarmaktadır.

5
SONUÇ

5.1 Sonuç

Bu araştırmada, 1974-2014 dönemi için Dünya Bankası verilerinden yararlanılarak gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerden oluşan farklı gelir gruplarında elektrik tüketimi ile kişi başına düşen milli gelir arasındaki nedensellik ilişkisi analiz edilmiştir. İncelemede, makine öğrenmesine dayalı DoWhy yaklaşımı ile Granger nedensellik testi birlikte kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, her iki yöntemin de genel olarak birbirini tamamlayan ve destekleyen sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1 DoWhy Analizi ile Granger Nedensellik Analizi Karşılaştırması

Gelir Grubu	**DoWhy Yöntemi Bulgusu**	**Granger Nedensellik Testi Bulgusu**
Gelişmiş Ülkeler	Negatif Nedensellik*	GDP→EC (Koruma Hipotezi, Kısa Vade)
Gelişmekte Olan Ülkeler	GDP↔EC (Geri Bildirim Hipotezi)	GDP↔EC (Geri Bildirim Hipotezi, Uzun Vade)
Az Gelişmiş Ülkeler	GDP↔EC (Geri Bildirim Hipotezi)	GDP→EC (Koruma Hipotezi, Uzun Vade)

*Enerji kullanımındaki artışın, ekonomik büyümeyi negatif etkilediği ters yönlü nedensellik ilişkisine işaret etmektedir (Payne, 2010).

Gelişmiş ülke grubuna yönelik yapılan analizlerde DoWhy yaklaşımı, enerji harcama ve ekonomik genişleme arasındaki ilişkinin karşılıklı fakat negatif yönlü olduğunu ortaya çıkarmıştır. Buna göre, enerji kullanımındaki artış ekonomik büyüme hızını düşürürken, ekonomik genişlemede enerji talebinde sınırlayıcı bir etki yaratabilmektedir. Bu bulgu, Payne (2010) tarafından tanımlanan "negatif nedensellik" yaklaşımı ile tutarlıdır.

Buna karşın, Granger nedensellik sınaması yalnızca ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru anlamlı bir yön bağımlılığı saptamış ve böylece bu ülkelerde koruma hipotezinin öne çıktığını göstermiştir. Granger sonuçları, büyümenin enerji talebini etkilediğini fakat enerji tüketimindeki değişimlerin büyüme üzerinde doğrudan bir etki yaratmadığını ortaya koymaktadır.

Bu iki yöntemin farklı sonuçlar üretmesi, modelleme varsayımlarındaki ayrışmalar ve yöntemlerin yaklaşımlarından kaynaklanmış olabilir. Bulgular genel olarak, gelişmiş ekonomilerde enerji-büyüme bağının karmaşık ve tek yönlü bir nedensellikle açıklanamayacak kadar çok boyutlu olduğunu göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelere ilişkin bulgular, her iki yöntemin de çift yönlü bir nedensellik yani geri bildirim etkisini doğruladığını göstermektedir. Bu durum, elektrik tüketiminin ekonomik büyümeyi beslediği kadar, ekonomik genişlemenin de enerji talebini yükselttiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu ülkelerde karar vericilerin büyüme stratejileri ile enerji politikalarını birbirini tamamlayacak biçimde ve eş zamanlı olarak kurgulamaları kritik bir önem taşımaktadır.

Az gelişmiş ülke grubunda DoWhy analizi iki değişken arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisi saptarken, Granger testi yalnızca ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru anlamlı bir etki tespit etmiştir. Bu farklılık, makine öğrenmesine dayalı yaklaşımın daha dolaylı ve karmaşık etkileşimleri yakalayabilme kapasitesine, klasik istatistiksel yöntemlerin ise nedensel yönü belirlemede daha katı kısıtlar getirmesine bağlanabilir. Elde edilen sonuçlar, bu ülke grubunda büyümenin enerji talebini şekillendirdiğini, buna karşın enerji kullanımının ekonomik büyüme üzerinde tek başına güçlü bir itici unsur oluşturmadığını göstermektedir.

Genel olarak, bu tez çalışması enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki bağı iki farklı metodolojik yaklaşımla incelemiştir: modern makine öğrenmesi tabanlı DoWhy yöntemi ve klasik Granger nedensellik testi. Bu çift yönlü değerlendirme özellikle ülke gruplarının gelişmişlik düzeyine göre nedensel dinamiklerin farklılaştığını ortaya koymuştur. Böylece, enerji-büyüme ilişkisine dair politika tasarımlarının, ülkelerin yapısal ve kurumsal özellikleri dikkate alınarak geliştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bulgular, aynı zamanda, DoWhy gibi makine öğrenmesine dayalı araçların, geleneksel istatistiksel yöntemlerin

yakalayamadığı karmaşık ve çift yönlü etkileşimleri daha başarılı biçimde saptayabildiğini göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte yapılacak benzer araştırmalarda birden fazla yöntemin birlikte kullanılması, ilişkinin daha kapsamlı şekilde anlaşılmasına ve sonuçların güvenilirliğinin artmasına katkı sunacaktır. Çalışmadan elde edilen çıkarımlar, enerji politikalarının ekonomik büyümeyi destekleyecek biçimde uyarlanması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında yol gösterici olma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

[1] Öztürk, İ., 2010, Energy Consumption And Economic Growth: Literature Survey and Econometric Evidence. Energy Policy, s: 340-349

[2] Taştan, H., 2022, Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Ekonomik Analizlerde Kullanımı, s: 2

[3] Payne, E., 2008, Energy Consumption And Economic Growth: A Dynamic Casual Analysis, Energy Economics, s: 2

[4] Pearl, J. (2009). *Causality: Models, Reasoning, and Inference*, Cambridge University Press, s: 33-40

Angrist, J. D., and Pischke, J.-S., 2009, *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*, Princeton University Press., s: 10-20

[5] Granger, C.W.J. 1969, Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods, *Econometrica*, s: 424-438.

[6] Pearl, J., 2009, *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (2. baskı). Cambridge University Press., s: 3-4, 10-12, 70-72, 196-205, 203-205

Morgan, S. L., and Winship, C, 2015, Counterfactuals and Causal Inference: Methods and Principles for Social Research (2nd ed.). Cambridge University Press., s: 5-7, 22-25, 31-37, 68-74, 108-110

[7] Imbens, G. W., and Rubin, D. B., 2015, *Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences: An Introduction*, Cambridge University Press., s: 3-5

[8] Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A., 2016. *Deep Learning*, Cambridge, MA: MIT Press. S: 5

[9] Pearl, J. (2009). *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (2. baskı). Cambridge University Press., s: 484

Schölkopf, B., Locatello, F., Bauer, S., Ke, N. R., Kalchbrenner, N., Goyal, A., and Bengio, Y. (2021). Towards Causal Representation Learning. *arXiv preprint arXiv:2102.11107.*

[10] Pearl, J., 2009, *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (2. baskı). Cambridge University Press., s: 3-4, 30-31, 33-36, 70-72, 203-205

Imbens, G. W., and Rubin, D. B., 2015. *Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences: An Introduction,* Cambridge University Press, s: 1-8, 18-20, 61-65

Rubin, D. B., 2005, Causal Inference Using Potential Outcomes: Design, Modeling, Decisions, *Journal of the American Statistical Association*, s: 322–325.

[11] Pearl, J., 2009, *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (2. baskı). Cambridge University Press., s: 27-29, 33-36, 70-72, 79-88, 127-132, 151-152

Peters, J., Janzing, D., and Schölkopf, B., 2017, *Elements of Causal Inference: Foundations and Learning Algorithms,* The MIT Press, s: 5-7, 32-34, 92-98, 115-122

Sharma, A., Kiciman, E., Lohia, P., and Sorokina, D., 2020, *DoWhy: An End-to-End Library for Causal Inference,* Microsoft Research. Retrieved from https://github.com/py-why/dowhy

Battocchi, K., Foster, D., Oprescu, M., Syrgkanis, V., and Zeng, Q., 2021, *EconML: A Python Package for ML-Based Heterogeneous Treatment Effects Estimation,* Microsoft Research. Retrieved from https://github.com/microsoft/EconML

[12] Peters, J., Janzing, D., and Schölkopf, B., 2017, *Elements of Causal Inference: Foundations and Learning Algorithms*, Cambridge, MA: The MIT Press, s. 3–5, 15–17

Runge, J., Nowack, P., Kretschmer, M., Flaxman, S., and Sejdinovic, D, 2019, Inferring causation from time series in Earth system sciences. *Nature Communications,* https://doi.org/10.1038/s41467-019-10105-3

[13] Athey, S., and Imbens, G. W., 2017, The State of Applied Econometrics: Causality and Policy Evaluation, *Journal of Economic Perspectives*, s: 3–32. https://doi.org/10.1257/jep.31.2.3

[14] Imbens, G. W., and Rubin, D. B., 2015, *Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences: An Introduction*. Cambridge University Press., s: 1–4, 10–12

[15] Sharma, A., and Kiciman, E., 2020, *DoWhy: An End-to-End Library for Causal Inference*, arXiv preprint arXiv:2011.04216. Erişim: https://arxiv.org/abs/2011.04216

Sharma, A., Syrgkanis, V., Zhang, C., and Kiciman, E., 2021, *DoWhy: Addressing Challenges in Expressing and Validating Causal Assumptions*. arXiv preprint arXiv:2108.13518.

[16] Ali, A., and Güverek, M., 2019, *Türkiye'de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Granger Nedensellik Testi ile Analizi*. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, 469–481, https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusosbil/issue/47512/599426

[17] Granger, C. W. J., 1969, *Investigating Causal Relations By Econometric Models And Cross-Spectral Methods*. Econometrica, 424–438. https://doi.org/10.2307/1912791

[18] Gross, R., 2012, *Chapter 8: Energy for economic development: Achievements and prospects*. In Grubb, M., Jamasb, T., & Pollitt, M. (Eds.), *Delivering a low-carbon electricity system: Technologies, economics and policy*, Cambridge University Press., s: 188–203,

Stern, D. I., 2004, *The rise and fall of the environmental Kuznets curve*, World Development, https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004

[19] Payne, J. E., 2010, *Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth*. Journal of Economic Studies, s: 53–95, https://doi.org/10.1108/01443581011012261

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. 5. Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi / Testing Casual Relationship Between Energy Consumption and Income With DoWhy Algorithm