T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE FİRMA SAHİPLİK YAPISININ ENERJİ YOĞUNLUĞUNA ETKİSİ

DAVUT KAZAZ

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. AHMET ATAKİŞİ

EDİRNE 2025

Tezin Adı: Türkiye İmalat Sanayinde Firma Sahiplik Yapısının Enerji Yoğunluğuna Etkisi

Hazırlayan: Davut KAZAZ

ÖZET

Enerji hayatın her alanında olduğu gibi ekonominin de temel faktörlerinden birisidir. Üretilen her mal ve hizmetin temelinde enerji yatmaktadır. Bu nedenle, enerji kullanımı ve yoğunluğu yalnızca makroekonomik göstergeler açısından değil, aynı zamanda mikro düzeyde firmaların üretim yapısı açısından da önem taşımaktadır.

Bu çalışma, Türkiye imalat sanayinde firma sahiplik yapısının enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini 2003-2015 dönemi için firma düzeyindeki mikro verilerle analiz etmektedir. Çalışma Türk imalat sanayinde faaliyet gösteren firmaları ele alarak imalat sanayinde enerji yoğunluğu belirleyicilerini tespit edip özellikle doğrudan yabancı yatırımların enerji yoğunluğuna etkisini analiz etmektedir. Sonuçlar, emek verimliliğindeki yüzde birlik bir artışın enerji yoğunluğunu yüzde 1,85, sermaye değişkeninde yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunu yüzde 0,50 ve toplam faktör verimliliği değişkenindeki yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunda yüzde 0,55 oranında bir düşüşe neden olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca yabancı sermayeye sahip firmaların enerji yoğunluğunu yüzde 0,11 düşürdüğünü ortaya koymaktadır. Çalışmada yabancı yatırımların etkisi, yatırım yapılan firmaların ölçeğine göre incelenmiştir. Yabancı sermayenin yatırım yaptığı firmanın ölçeğine göre etkisini daha net ölçebilmek için modele küçük yabancı, orta yabancı ve büyük yabancı firma kukla değişkenleri eklenmiştir. Elde edilen bulgular, firmanın ölçeği arttıkça enerji yoğunluğunun azaldığını

göstermiştir. Dolayısıyla çalışma, yabancıların bir firmaya yatırım yaptıklarında beraberlerinde enerji yoğunluğunu düşürücü ve verim artırıcı teknolojilerini getirdikleri ortaya koymaktadır. Ayrıca firmanın ölçeği artıkça bu etkinin de artığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji yoğunluğu, Enerji verimliliği, Firma sahiplik yapısı, Doğrudan yabancı yatırımlar, Panel veri analizi, Türkiye imalat sanayi.

Thesis Name: The Impact of Ownership Structure on Energy Intensity in the Turkish Manufacturing Industry

Prepared by: Davut KAZAZ

ABSTRACT

Energy is one of the fundamental factors of the economy, as it is in all aspects of life. Every good and service produced is ultimately based on energy. Therefore, energy use and intensity are important not only in terms of macroeconomic indicators but also with respect to the production structure of firms at the micro level.

The aim of this study is to analyze the impact of firm ownership structure on energy intensity in the Turkish manufacturing industry by using firm-level micro data for the period 2003–2015. By focusing on firms operating in the Turkish manufacturing sector, the study identifies the determinants of energy intensity and particularly investigates the effect of foreign direct investment on energy intensity. The results indicate that a one percent increase in labor productivity reduces energy intensity by 1.85 percent, a one percent increase in capital decreases energy intensity by 0.50 percent, and a one percent increase in total factor productivity lowers energy intensity by 0.55 percent. In addition, it is found that foreign-owned firms reduce energy intensity by 0.11 percent.

The study further examines the effect of foreign investment according to the scale of the invested firms. To capture this effect more precisely, dummy variables for small, medium, and large foreign-owned firms are included in the model. The findings show that as firm size increases, energy intensity decreases. Thus, the study demonstrates that when

foreign investors enter a firm, they bring technologies that reduce energy intensity and enhance efficiency. Moreover, it is observed that this effect strengthens as the scale of the firm increases.

Keywords: Energy intensity, Energy efficiency, Firm ownership structure, Foreign direct investment, Panel data analysis, Turkish manufacturing industry.

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim, hayatımın en yoğun, zorlu ama en öğretici ve keyifli dönemi oldu. Bu süreçte sabırlı çalışmanın önemini ve bilginin peşinden gitmenin değerini deneyimleyerek öğrendim. Öncelikle, her aşamada akademik birikimi, yapıcı eleştirileri, sabrı ve vizyonuyla yolumu aydınlatan danışmanım Prof. Dr. Ahmet ATAKİŞİ'ye, tez izleme komitemdeki hocalarıma, mikro verilerine erişim desteği için TÜİK Başkanlığı ve ilgili personeline, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'ne, İktisat Anabilim Dalı'nın tüm öğretim üyeleri ve idari personeline teşekkür ederim.

Çalışma azmi, dürüstlük ve bilgiye saygı gibi temel değerleri bana kazandırarak görünmez bir temel inşa eden ve her durumda yanımda olan anneme, babama ve kardeşime ne kadar teşekkür etsem azdır. En büyük teşekkür ise, bu uzun yolculuğun her anında sabrı, desteği, fedakârlığı ve umut veren varlığıyla sürecin gerçek taşıyıcısı olan sevgili eşim Adjera Alitoska Kazaz'adır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ vii
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
KISALTMALAR xiii
Giriş 1
1. ENERJİ 5
1.1. Enerji Tanımı 5
1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması 6
1.2.1. Fiziksel Forma Göre 7
1.2.2. Kökenine Göre 7
1.2.3. Ekonomik Özelliğine Göre 7
1.2.4. Dönüşüm Aşamasına Göre 8
1.3. Enerji Tarihi ve Gelişimi 8
1.3.1. Sanayi Öncesi Enerji Kaynakları 9
1.3.2. Sanayi Devrimi Sonrası Enerji Kaynakları 11
1.3.3. Gelecekteki Potansiyel Enerji Kaynakları 15
2. ÇEVRE KİRLİLİĞİ VE ULUSLARARASI ANLAŞMALAR BAĞLAMINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ROLÜ 18
2.1. Çevre Sorunlarının Ortaya Çıkış Süreci 18
2.1.1. Çevre Kirliliği Çeşitleri 21
2.2. Sürdürülebilir Kalkınma 22
2.3. İklim Değişikliği ile İlgili Uluslararası Belge ve Antlaşmalar 23
2.3.1. BM İnsan Çevresi Konferansı (Stockholm, 1972) 24
2.3.2. Brundtland Raporu ve Sürdürülebilir Kalkınma (1987) 24
2.3.3. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Kurulması (1988) 24
2.3.4. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 25
2.3.5. Kyoto Protokolü 25

2.3.6. Bali Eylem Planı 26
2.3.7. Kopenhag Uzlaşması 26
2.3.8. Cancun Uzlaşması 26
2.4. Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarrufu 29
2.4.1. Ekonomik Büyüme 31
2.4.2. Nüfus Artışı 31
2.4.3. Kentleşme ve Yaşam Tarzı Değişiklikleri 31
2.4.4. Teknolojik Yayılım ve Ulaşım 32
2.5. Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu 32
3. TÜRKİYE EKONOMİSİ, ENERJİ VE SANAYİ SEKTÖRLERİNİN ROLÜ 36
3.1. Türkiye İmalat Sektörü 44
3.2. Türkiye İmalat Sanayinde Enerji 47
3.3. İmalat Sanayinde Yabancı yatırımların Enerji Üzerine etkisi 54
4. LİTERATÜR 62
5. Veriler ve Yöntem 69
5.1. Veriler 69
5.2. Birim Kök Testi 70
5.2. Panel Veri Analizi Sabit Etkiler ve Tesadüfi Etkiler Modelleri 71
5.3. Sabit Etkiler Modeli 72
5.4. Tek Yönlü Sabit Etkiler Modeli 74
5.5. Çift Yönlü Sabit Etkiler Modeli 74
5.6. Tesadüfi Etkiler Modeli 75
5.7. Driscoll-Kraay Standart Hatalar Modeli 76
5.8. Hausman Testi 77
5.9. White Testi 78
5.10. Breusch – Pagan / Cook – Weisberg Testi 79
5.11. Variance Inflation Factors (VIF) Testi 79
BULGULAR 80
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 87
KAYNAKÇA 92

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu ve Dışa Bağımlılık Oranlarının Avrupa Ülkeleriyle Kıyaslanması 38
Tablo 2. İmalat Sanayi Sektörü (NACE Rev. 2) Kısaltmaları 45
Tablo 3. Sektörlere Göre Toplan Enerji Tüketimi (Bin TEP) 1990-2021 48
Tablo 4. 2003-2023 Türkiye'ye Gelen DYY'lerin Yoğunlaştığı Sektörler 54
Tablo 5. Değişkenlerin Açılımı 70
Tablo 6. Özet İstatistikler 81
Tablo 7. Birim Kök Testi (Fisher Type) 82
Tablo 8. Sağlamlık Testleri 82
Tablo 9. Regresyon Sonuçları 84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Dünya Enerji Tüketimi 30
Şekil 2. Türkiye-Birincil Enerji Tüketimi (mtp) 37
Şekil 3. Avrupa Ülkelerinin Enerji Yoğunluk Seviyeleri 39
Şekil 4. Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu 2010-2019 40
Şekil 5. Türkiye, Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, Yunanistan ve Avrupa Birliği; Enerji yoğunluğu 42
Şekil 6. Toplam enerji kullanımının ekonomik faaliyetlere dağılımı (2023) 43
Şekil 7. Yıllara Göre İmalat Sanayi Trendi (2003-2015) 44
Şekil 8. Kaynağa Göre Birincil Enerji Tüketimi: Türkiye 1980-2019 49
Şekil 9. Toplam Enerji Harcamaları İlk 5 (2003-2015) 50
Şekil 10. Türkiye'nin Genel Enerji Yoğunluğu (2003-2015) 51
Şekil 11. İmalat Sanayi Sektörü NACE Rev. 2'ye Göre Enerji Yoğunluğunda İlk 5 Sektör 52
Şekil 12. Türkiye Sanayi Sektörünü Enerji Yoğ. (2003-2008 ve 2009-2015 Enerji Yoğunluğu ortalamaları) 53
Şekil 13. İmalat Sanayinde Yabancı Firmaların Enerji Harcamaları İlk 5 Sektörü (2003-2015) 56
Şekil 14. İmalat Sanayinde Yerli Firmaların Enerji Harcamaları İlk 5 Sektörü (2003-2015) 57
Şekil 15. İmalat Sanayinde Yabancı Firmaların Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015) 58
Şekil 16. İmalat Sanayinde Yerli Firmaların Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015) 59
Şekil 17. Yüzde 50 ve Daha Fazla Yabancı Yatırımcısı Olan Şirketlerin Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015) 60

Şekil 18. Yüzde 50 ve Daha Az Yabancı Yatırımcısı Olan Şirketlerin Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015) 61

KISALTMALAR

ARDL : Otoregresif Gecikmesi Dağıtılmış Model (Autoregressive Distributed Lag)

BG : Breusch-Godfrey Testi

BM : Birleşmiş Milletler

CO2 : Karbondioksit

COP : Taraflar Konferansı (Conference of the Parties)

CSP : Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power)

ÇUŞ : Çok Uluslu Şirket

DK : Driscoll-Kraay Standart Hatalar Yöntemi

DYY : Doğrudan Yabancı Yatırımlar

EKK : En Küçük Kareler (Ordinary Least Squares - OLS)

Eurostat : Avrupa İstatistik Ofisi (Statistical Office of the European Union)

FE : Sabit Etkiler (Fixed Effects)

GSYİH : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

H_0 : Sıfır Hipotezi (Null Hypothesis)

H_1 : Alternatif Hipotez (Alternative Hypothesis)

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)

IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)

ITER : Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktör (International Thermonuclear Experimental Reactor)

JB : Jarque-Bera Testi

LM : Lagrange Çarpanı (Lagrange Multiplier)

LMDİ : Logaritmik Ortalama Divisia Endeksi (Logarithmic Mean Divisia Index)

LPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas)

MEPS : Minimum Enerji Performans Standartları (Minimum Energy Performance Standards)

MTEP : Milyon Ton Eşdeğeri Petrol

NACE : Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne)

OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)

PPP : Satın Alma Gücü Paritesi (Purchasing Power Parity)

PV : Fotovoltaik (Photovoltaic)

R^2 : R-kare (Belirlilik Katsayısı)

RE : Rassal Etkiler (Random Effects)

STIRPAT : Nüfus, Refah ve Teknolojinin Çevresel Etkilerinin Stokastik Etkileri (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology)

TEP : Ton Eşdeğeri Petrol

TOE : Ton Petrol Eşdeğeri (Ton of Oil Equivalent)

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UNCTAD : Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Trade and Development)

UNEP : Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)

UNFCCC : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change)

VIF : Varyans Büyütme Faktörü (Variance Inflation Factor)

WCED : Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission on Environment and Development)

YSHİ : Yıllık Sanayi ve Hizmet İstatistikleri

χ^2 : Ki-Kare İstatistiği (Chi-Squared Statistic)

GİRİŞ

Enerji yaşamın temel yapıtaşlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Canlıların temel gereksinimlerinden en komplike işlevlerine her şey enerjiye bağlı olarak gerçekleşmektedir. İnsanlar, tarihin ilk çağlarından günümüze farklı enerji kaynaklarını kullanmışlar ve medeniyetler inşa etmişlerdir. Medeniyetlerin gelişmesi, büyümesi hatta yıkılması enerji kaynaklarına olan erişimleri ve onları kullanma becerileri ile doğru orantılı bir şekilde gelişmiştir. Dolayısıyla insanlık sürekli yeni enerji kaynaklarını keşfetmek için çaba sarfetmiştir. Ancak Sanayi devrimi ile birlikte tarihte eşi benzeri görülmemiş bir gelişim kaydedilmiş, buhar makinalarının yaygınlaşması fosil yakıtlar çağını başlatan en önemli olaylardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönemden itibaren hızla artan üretim ve gelişen teknoloji, nüfus ve talepteki yükselişi beraberinde getirmiş ve süreç daha fazla üretim, ileri teknolojik gelişmeler ile artan enerji kullanımıyla devam etmiştir.

Enerji, üretilen her mal ve hizmetin temel girdilerinden birisi olarak ekonominin de temel unsurlarından birisidir. Günümüzde en yaygın kullanılan yakıt türü olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Üretimden sosyal hayata her alanda temel enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtlar, üretimde kullanılan ve ekonomik büyümeyi arttıran yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağının fazla kullanımı doğaya ciddi zararlar vermektedir. Sanayi devrimi ile ivme kazanan sanayileşme ve tüketime dayalı toplum yapısı fosil yakıtlarının nedeniyle çevresel bozulmanın hızlı bir şekilde artması ciddi bir sorun oluşturmuştur. Fosil yakıtları kullanılarak yapılan üretim ve dolayısıyla elde edilen ekonomik büyümenin maliyeti doğal afetler, su kirliliği, hava kirliliği ve iklim değişikliği şeklinde geri dönmektedir.

Karbondioksit emisyonları, iklim değişimine sebep olan küresel ısınma sorununun en büyük ve önemli kaynağıdır. Hükümetler İklim Değişikliği Paneli 'ne göre,

insan kaynaklı olan küresel ısınma sorununun hızlı bir şekilde arttığı ve her on yıl 0,20 derece artışa sebebiyet vermektedir. Bu sorunu en iyi ifade eden parametrelerden bir tanesi sanayi öncesi döneminde günümüze yaklaşık 1 derecelik bir artışın ortaya çıkmasıdır. Fosil yakıtlarını çoğunlukta enerji kaynağı olarak elektrik üretimi, imalat sanayisi, ulaşım işletmesi ve ısıtma gibi faaliyetlerde kullanılmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, küresel karbondioksit emisyonlarının önemli bir bölümü enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanmaktadır (IEA, 2023). Yoğun enerji kullanımı ve enerjinin verimsiz bir şekilde tüketilmesi sadece çevresel açıdan bir sorun teşkil etmemektedir. Özellikle enerji kaynaklarına erişimi kısıtlı olan ve dolayısıyla enerji konusunda dışa bağlı ülkeler adına da büyük bir sorundur. Enerjide dışa bağımlı ülkelerin ekonomileri, enerji fiyat değişimlerine, arz yolarında yaşanılacak problemlere hatta ülkeler arası olası sorunların yaratacağı olumsuzluklara karşı savunmasız bir durumdadır. Dolayısıyla enerjinin verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması çok önemli bir konudur.

Enerji verimliliği, bu olumsuzluklara karşı mücadele konusunda çok önemli bir kavramdır. Ancak enerji verimliliği hesaplanması ve ölçülmesi farklı yöntemler ile olabilir. Ancak bir birim birim gayri safi yurtiçin hasıla (GSYH) üretiminde tüketilen enerji miktarı olarak tanımlanan enerji yoğunluğu, ekonomik anlamda verimliliğin ölçülmesinin en işlevsel yolarınındandır. Enerji yoğunluğunun düşmesi, üretim miktarını azaltmadan enerji harcamasının azaltılmasını ifade etmekte ve ekonomik performansı olumsuz etkilemeden enerji tasarrufu sağlamayı mümkün kılmaktadır. (Patterson, 1996). Enerji yoğunluğunun azaltılmasıyla, enerji maliyetlerini düşürüp rekabet gücünü artırmanın yanı sıra, enerji arz güvenliğini de güçlendirmekte ve sera gazı emisyonlarını sınırlandırmasıyla çevreyi korumaktadır (Rudenko ve Tanasov, 2020).

Bu bağlamda, enerji yoğunluğunun iyileştirilmesi adına üretilen çıktı sayısını olumsuz etkilemeden enerji kullanımını azaltılması gerekmektedir. İmalat sektöründe

enerji verimliliğinin hesaplamasında genellikle enerji yoğunluğu bir araç olarak kullanılmaktadır (Dasgupta ve Roy, 2017).

Türkiye gibi, enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı ve hızlı sanayileşen gelişmekte olan ülkeler için bu konu daha da stratejik bir önem taşımaktadır. Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 2005'ten itibaren neredeyse kesintisiz bir yükseliş sergileyerek orta 2000'lerde yaklaşık 85–90 Mtep düzeyinden 2023'te 157–158 Mtep bandına ulaşmış böylece sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışıyla birlikte enerji talebi iki katına yaklaşmış, büyüme hızındaki dönemsel yavaşlamalara rağmen uzun vadeli artış eğilimi korunmuştur (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

Artan nüfus, kentleşme ve sanayi üretimindeki genişleme, Türkiye'nin enerji talebini sürekli olarak artırmakta ve bu durum cari açık üzerinde önemli bir baskı unsuru oluşturmaktadır (Aydoğan ve Vardar, 2020). Bu nedenle, ekonomik büyümeyi enerji tüketimindeki artıştan ayrıştırmayı hedefleyen politikalar, ülkenin makroekonomik istikrarı ve sürdürülebilir geleceği için hayati derecede önemlidir.

Literatürde enerji yoğunluğunu etkileyen faktörler teknolojik gelişme, ekonomik yapı, enerji fiyatları ve politika müdahaleleri gibi başlıklar altında incelenmiştir. Ancak bu faktörlerin firma düzeyindeki yansımaları ve özellikle firma sahiplik yapısının bu süreçteki rolü, üzerinde daha fazla durulması gereken bir alandır. Doğrudan yabancı yatırımlar (DYY), ev sahibi ülkeye yalnızca sermaye değil, aynı zamanda ileri teknoloji, yönetimsel beceriler ve yeni üretim süreçleri de getirme potansiyeline sahiptir. Bu durum, yabancı sermayeli firmaların yerli firmalara kıyasla daha verimli teknolojiler kullanarak enerji yoğunluğunu azaltabileceği beklentisini doğurmaktadır (Elliott ve diğ. 2013). Diğer yandan, "Kirlilik Cenneti Hipotezi" olarak bilinen görüş, gelişmiş ülkelerdeki sıkı çevre regülasyonlarından kaçınmak isteyen çok uluslu şirketlerin, daha esnek standartlara sahip gelişmekte olan ülkelerde enerji-yoğun ve kirletici endüstrilere yönelebileceğini öne sürmektedir (Cole ve Elliott, 2003).

Bu tez, Türkiye imalat sanayisindeki firmaların sahiplik yapısının enerji yoğunluğuna etkisini ampirik olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede, Türkiye'ye yönelik DYY'lerin çevresel performans üzerindeki net etkisinin ortaya konulması ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik etkin politikaların tasarlanmasına bilimsel bir zemin sunulması hedeflenmektedir.

Çalışma toplamda beş ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde enerji tanımı ve önemine yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde enerji kullanımından kaynaklanan çevre kirliliği ve enerji yoğunluğu kavramının önemi ele alınmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde Türkiye sanayi sektörü ve enerji ekonomisi arasındaki bağlantı incelenmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde, konu ile ilgili literatüre yer verilmiştir. Çalışmanın beşinci ve sonuncu bölümünde ise metodoloji ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

I. BÖLÜM

1. ENERJİ

1.1. Enerji Tanımı

Enerji en temel tabirle iş yapabilme yeteneğidir (Çengel ve Boles, 2019). Termodinamik bilimi enerjiyi maddenin hareketti veya iş yapabilme yeteneği olarak tanımlamaktadır. Dolayısıyla üretimden tüketime, gündelik yaşantımızın her alanında yapılan her eylem enerji temelinde gerçekleşmektedir. Kelime kökenine baktığımız zaman enerji yunanca kökenli bir kelime olup "en" (iç) ve "ergon" (iş) kelimelerinin birleşiminden oluşmakta ve "içsel iş" anlamına gelmektedir. Zamanla sosyal bir nitelik kazanmış ve iş, üretme kabiliyeti, güç, kudret ve kuvvet gibi anlamlar almıştır (Smil, 2017).

Canlılar yaptıkları her işte, her hareket ve eylemde enerjiye ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla enerji hayatın var olması adına en temel unsurların başında yer almaktadır. Canlılar enerji gereksinimlerini besinlerden elde ederler. Bu besinlerin de toprakta yetişmesinden işlenmesine, kısacası her aşamada oluşabilmesi için enerjiye ihtiyaç vardır (Özdil ve diğ., 2012).

Bu bağlamda üretilen her malın temel girdisi enerjidir. İnsanlığın var olması ve ihtiyaçlarını karşılaması bakımından enerji temel girdilerden biridir. Ekonomik pencereden bakıldığında da enerjinin üretilen her malın temel girdisini oluşturduğunu görülmektedir. Dolayısıyla enerji insanlığın başlangıcından beri önemli bir konu olmuştur. Gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun toplumlar yaşamlarını devam ettirebilmeleri

açısından enerjiye bağımlı durumdadır. En ilkel toplumlardan en ileri sanayi ve teknolojik gelişimleri yakalamış toplumlara kadar enerji hayatın temel bir olgusudur. Tarihsel süreci incelediğimiz zaman enerji kaynaklarının sürekli değişime uğradığı görülmektedir. Bu kaynaklardan kimisi teknolojik gelişim sonucunda bulunmuşken kimisi de tesadüf eseri bulunmuştur. Elde edilen yüksek teknolojik gelişmeye rağmen hala alternatif enerji kaynakları aranmaktadır (Akova, 2016).

1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Enerji temel olarak kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kinetik enerji maddenin hareket durumunda olduğunda sahip olduğu enerjidir. Potansiyel enerji ise madde duran haldeyken içinde var olan ya da depolanmış enerjidir (Knight, 2016). Her madde belirli miktarda enerji içerir. Eğer bu enerji harekete geçmemişse, "potansiyel enerji" olarak tanımlanır. Bir fiziksel veya kimyasal işlemle bu enerji açığa çıkarıldığında "kinetik enerji" (iş yapan enerji) elde edilir. Örneğin, barajda tutulan suyun yüksekten düşürülerek türbinleri çalıştırması potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümüdür. Ancak her potansiyel enerjinin ekonomik anlamda kullanılması mümkün değildir; bu nedenle sadece bazı kaynaklardan enerji üretimi mümkündür. Enerji kaynaklarının sistematik biçimde sınıflandırılması, yalnızca terminolojik bir gereklilik değil, aynı zamanda enerji üretimi, tüketimi, dağıtımı ve çevresel etkilerinin analizi açısından stratejik bir araçtır. Fiziksel özelliklerden ekonomik niteliğe, kaynağın kökeninden dönüşüm aşamasına kadar yapılan çok boyutlu bu sınıflandırmalar, enerji politikalarının rasyonel temellere oturtulmasına olanak sağlar. Başka bir ifadeyle, enerji iş yapma yeteneğidir. Üretim süreçlerinde enerji, ister insan emeği isterse makineler yoluyla olsun, temel bir girdidir (Doğanay ve Coşkun, 2023).

Enerji kaynakları çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılabilir. Enerji kaynaklarını sınıflandırmakta genel tutum yenilenebilir olmayan ve yenilenebilir enerji kaynakları şeklindedir. Ancak enerji kaynaklarını belirli özeliklerine göre sınıflandırmak daha detaylı

bir bakış açısı kazanmamıza yardımcı olacaktır. Bu doğrultuda enerji kaynaklarını, fiziksel formuna göre, kökenine göre, ekonomik özelliğine göre ve son olarak dönüşüm aşamasına göre sınıflandırılmıştır.

1.2.1. Fiziksel Forma Göre

Enerji kaynakları, fiziksel formlarına göre sınıflandırılabilir. Katı yakıtlar arasında kömür, linyit, turba, odun ve diğer biyokütle formları bulunur. Sıvı yakıtlar, ham petrol ve türevlerini (benzin, dizel, akaryakıt) ve biyoyakıtları (biyoetanol, biyodizel) içerir. Gaz yakıtlar ise doğal gaz, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve biyogazı kapsar. Bu farklı yakıt türlerinin enerji yoğunluğu, depolama kolaylığı ve çevresel etkileri farklılık gösterir, bu da onların enerji üretimi ve taşımacılığında farklı amaçlarla kullanılmasını belirler (Speight, 2015).

1.2.2. Kökenine Göre

Organik enerji kaynakları, biyolojik kökene sahip, karbon bazlı bileşiklerden oluşur. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) ve biyokütle (odun, bitkisel atıklar) bu kategoriye girer. Yanmaları sonucunda karbondioksit gibi sera gazları açığa çıkarırlar. İnorganik enerji kaynakları ise canlı kökenli olmayan kaynaklardır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve nükleer enerji bu gruba dahildir. Bu kaynaklar, işletme sırasında doğrudan karbon emisyonu üretmemeleri nedeniyle "temiz enerji" olarak da adlandırılırlar (ancak nükleer atık gibi farklı çevresel sorunları olabilir) (Schobert, 2013).

1.2.3. Ekonomik Özelliğine Göre

Ticari enerji kaynakları, piyasada alınıp satılan ve genellikle ulusal ve uluslararası düzeyde ticareti yapılan enerji türleridir. Petrol, doğal gaz, kömür, uranyum

ve büyük ölçekli santrallerde üretilen elektrik bu kategoriye girer. Ticari olmayan enerji kaynakları ise genellikle yerel düzeyde, piyasa dışı mekanizmalarla toplanan ve tüketilen kaynaklardır. Özellikle kırsal bölgelerde kullanılan odun, tezek ve tarımsal atıklar bu gruba örnektir. Kalkınma düzeyi arttıkça, ticari olmayan enerjinin toplam tüketimdeki payı azalma eğilimi gösterir (Kaygusuz, 2007).

1.2.4. Dönüşüm Aşamasına Göre

Birincil enerji kaynakları, doğada bulunduğu haliyle, herhangi bir dönüşüme uğramadan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Kömür, ham petrol, doğal gaz, rüzgar, güneş ışınımı ve uranyum gibi kaynaklar bu gruba girer. İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının çeşitli dönüştürme süreçlerinden geçirilerek elde edilen kullanıma hazır enerji formlarıdır. Örneğin, kömürün yakıldığı bir termik santralde üretilen elektrik veya ham petrolün rafinasyonu sonucu elde edilen benzin, ikincil enerji kaynaklarına en yaygın örneklerdir (Ulusoy ve Gökçöl, 2005).

1.3. Enerji Tarihi ve Gelişimi

Tarihin ilk dönemlerinde insanlar beden güçlerini gerekeli iş ve eylemlerini gerçekleştirmek adına enerji kaynağı olarak kullanmışlardır. Ardından evcilleştirilen hayvanlar da bu bağlamda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ateşin bulunması ve tarımın yapılmaya başlanmasıyla insanlık farklı bir döneme geçiş yapmıştır. Ancak sanayi devrimi ile gelen teknolojik gelişmeler yeni enerji (yakıt) kaynakları aramaya itmiş ve fosil yakıtların kullanımı bu dönem ile hızla artmaya başlanmıştır. Özellikle fosil yakıtların buharlı makinelerde kullanılması bu kaynaklara olan talebi hızla artırmıştır. Sonrasında ise dinamo teknolojisinin gelişmesi ile maddelerden elde edilen enerjinin

elektrik enerjisine dönüşümü mümkün kılınmış ve yepyeni bir enerji talebi oluşmuştur (Burke, 2007).

İnsanlığın yükseliş ve gelişim süreci, büyük ölçüde enerjiden optimal şekilde yararlanma ve onu kontrol etme becerisine dayanmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması, daha karmaşık toplumların ve daha yüksek yaşam standartlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Enerji kavramı tarih boyunca gelişim göstermiştir. Bu doğrultuda enerjinin tarihsel sürecini sanayi devrimi öncesi ve sanayi devrimi sonrası olarak ele alınmaktadır.

1.3.1. Sanayi Öncesi Enerji Kaynakları

Ateş, insanlık tarihinin bilinen ilk ve en büyük değişim getiren enerji kullanım biçimi olarak kabul edilmektedir. Ateşin kontrollü kullanımına dair arkeolojik kanıtlar, tahmini olarak 1 milyon ila 400.000 yıl öncesine dayanmaktadır. Ateş sıcaklık ve yakıt kaynağı arasında gerçekleşen, bunun sonucunda ısı ve ışık üreten bir kimyasal reaksiyon olarak tanımlanmaktadır. Meydana gelen bu kimyasal reaksiyon oksidasyon (yanma) olarak tabir edilmekle birlikte aslında bir meyvenin çürümesi veya bir demirin paslanması ile temelde aynı kimyasal reaksiyondur. Buradaki temel ayrım reaksiyonun gerçekleşme hızıdır. Ateşin kontrolü, ilk insanlara sadece yırtıcılardan korunma, ısınma ve ışık kaynağı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda beslenme alışkanlıklarını kökten değiştirmiştir. Yiyeceklerin pişirilmesi, sindirimi kolaylaştırmış, besin değerini artırmış ve gıdalardaki patojenleri yok etmiştir. Bu durum, daha küçük bir sindirim sistemine ve daha büyük bir beyin yapısına evrimsel olarak olanak tanıyan temel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Wrangham, 2009).

Ateşin ilkel kullanımından sonra toplumlar yavaş yavaş farklı kullanım yöntemleri ve farklı kaynaklardan yararlanmaya başlamışlardır. Barut, bunlardan bir tanesi olarak 9. yüzyılda Tang Hanedanlığı döneminde Çinli simyacıların, potasyum nitrat, kükürt ve odun kömürü karışımıyla ölümsüzlük iksiri ararken tesadüfen bulduğu

tahmin edilmektedir. Başlangıçta havai fişekler ve sinyalizasyon için kullanılan barut, zamanla askeri teknolojide devrim yaratarak ateşli silahların ve topların geliştirilmesinde kullanılmış ve küresel güç dengelerini değiştirmiştir (Needham, 1986).

Ateşin bulunması, insanlığın değerli madenleri işlemesine olanak sağlamış ve toplumlar metalurji alanında devrimsel gelişmeler yaşamışlardır. Tarihsel kayıtlara bakıldığında, MÖ 5000'li yıllardan itibaren Mezopotamya, Mısır ve Anadolu'da bakır gibi metallerin ateş yardımıyla yüksek sıcaklıklarda eritilip kalıplara dökülerek alet, silah ve süs eşyası yapımında kullanıldığı görülmektedir (Tylecote, 1992). Ateşin bir enerji kaynağı olarak üretim aşamasında kullanılmasının ilk örneklerinden biri olan değerli metallerin eritilip döküm kalıpları sayesinde ürün üretmek, kok kömürünün bulunuşundan sonra daha da kolaylaşıp hızlanmıştır. Ateşin keşfi, insanlık tarihinde önemli gelişmelere ön ayak olmuştur. Bunlar madenleri işleyip kullanma fırsatı, seramik üretimi, silah yapımı ve nihayetinde buhar gücünü kullanmanın temelini oluşturmuştur (Burke, 2007).

Hayvanların evcilleştirilmeye başlanması, en az ateşin bulunması kadar tarihte öenmli bir dönüm noktasını oluşturmaktadır. Hayvanların evcilleştirilmesi ve insanlığın yararına kullanılmaya başlanması, tahmini olarak M.Ö. 11.000 ila M.Ö. 8000 yılları arasında, Neolitik Devrim ile birlikte başlamıştır. (Diamond, 1997). M.Ö. 3500-3000 yıllarında Mezopotamya'da (Sümer uygarlığı) sabanın icat edildiği ve kullanıldığı tahmin edilmektedir. Sabanın icadından sonra hayvan gücü sayesinde, insan gücüyle işlenmesi zor olan sert topraklar ve bitki örtüsü işlenerek tarıma elverişli hale getirilmiştir. Dolayısıyla hayvan gücü, yerleşik hayata geçen insanların tarımsal üretimini artırarak gıda fazlası yaratmalarını ve daha karmaşık toplumlar kurmalarını sağlamıştır (White Jr., 1962).

Hayvan gücünün kullanımı tarımsal faaliyetlerin yanı sıra ulaşım, avcılık ve savaşta da çok önemli bir rol teşkil etmektedir. Atların M.Ö 4000'li yıllarda evcilleştirilmeye başlandığı düşünülmektedir. Bu tarihten itibaren tarih sahnesinde çok

önemli değişiklikler olmuştur. Hayvanların temel enerji kaynağı olarak kullanılması, insan emeğinin verimliliğini katlayarak bir "artı değer" yaratmış ve sosyal hiyerarşilerin oluşmasına zemin hazırlamıştır (Smil, 2017).

Ayrıca erken dönem enerji kaynaklarında baktığımızda rüzgâr ve su enerjisinden yararlanıldığını görülmektedir. İlk olarak Mısırlıların M.Ö. 5000-4000 yılları arasında Nil nehri üzerinde ilkel yelkenli tekneler yapıp ulaşım ve ticaret faaliyetlerini gerçekleştirdikleri düşünülmektedir (Smil, 2017). İlk olarak M.Ö. 1. yüzyılda Yunan ve Roma mühendisleri tarafından geliştirilmiş ve Orta Çağ boyunca Avrupa'da yaygın olarak kullanılmıştır. Su enerjisinden yararlanmak, demirci körüklerini çalıştırmak, tekstil atölyelerinde makineleri döndürmek, tahıl öğütmek ve zeytin ezmek gibi çok sayıda endüstriyel süreçte temel güç kaynağı olmuştur (White Jr., 1962).

Ardından yel değirmenlerinin keşfedilmesi rüzgâr enerjisini çok daha efektif bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak İran da 7. yy. da keşfedilmesi sonrasında özellikle 12. yy. da Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yel değirmenleri ev su çarkları Sanayi Devrimi öncesi dönemin en önemli güç kaynaklarıydı. Özellikle su çarkları, Sanayi Devrimi'nin ilk fabrikalarına güç veren teknolojinin de temelini oluşturmuştur (Hills, 1996).

1.3.2. Sanayi Devrimi Sonrası Enerji Kaynakları

İnsanlık tarihinde yaşanmış en büyük gelişmelerin başında sanayi devrimi gelmektedir. Sanayi devrimi ile insan ve hayvan gücüne dayalı üretimden makine gücünün dayalı üretim tarzına geçiş yaşanmıştır 18. yüzyılda James Watt'ın verimli hale getirdiği buhar motoru, Sanayi Devrimi'nin temeli olarak kabul edilir. Kömürle çalışan bu motorlar, suyun ısıtılarak buhara dönüştürülmesi ve bu buharın basıncının pistonları hareket ettirmesi prensibine dayanır. Yaşanan gelişmeler seri üretimin önünü açmış, aynı zamanda

lokomotiflere ve buharlı gemilere güç vererek ulaşımda bir devrim yaşanmasına olanak sağlamıştır (Berktaş ve Dimli Oraklıbel, 2021).

Sanayi devriminin yaratığı değişim ilk olarak tekstil sektöründe görülmüştür. Buhar gücüyle çalışan iplik eğirme makineleri ve dokuma tezgâhları sayesinde insan ve hayvan gücüne dayalı atölye sistemine göre çok daha verimli ve hızlı bir üretim olanağı sağlamıştır (Allen, 2009).

Buhar makinelerinin temel çalışma prensibi yakıt olarak kömürün kullanılmasına ve ortaya çıkan ısı enerjisi ile su kazanlarında suların ısıtılıp ortaya çıkan buharın makineleri çalıştırmak adına kullanılmasıdır. Dolayısıyla yeni üretim sisteminde kömür ve demir ana etken madde olarak karşımıza çıkmaktadır. Kömür ve demire artan talep madencilik faaliyetlerini de beraberinde artırmıştır. Artan maden faaliyetleri neticesinde madencilik alanında yenilikler ve yeni teknolojiler de gelişmeye başlanmıştır. Buhar motorları, maden ocaklarında biriken yeraltı sularını dışarı pompalamak için kullanılarak daha derinlere inilmesini sağlamıştır (Yergin, 2008).

Elektriğin icadı ve kullanımı da sanayi devrimi ile gelen en önemli gelişmelerin başında gelmektedir. 19. yüzyılın sonlarına doğru Michael Faraday'in elektromanyetik indüksiyonu keşfi ve ampul, elektrik santrali, dağıtım şebekesi gibi buluşlar ile elektrik, yeni bir enerji formu olarak ortaya çıkmıştır.

Elektrik, enerjinin üretildiği yerden çok uzaklara kolayca taşınabilmesine olanak sağlamıştır. Enerjinin dağıtımının kolaylaştırılması sanayi üretimini daha da artırdığı gibi aynı zamanda aydınlatma, motor gücü ve iletişim gibi sayısız farklı alanlarda gelişmelere önayak olmuştur (Nye, 1990). Artan üretim ve yaşanan teknolojik gelişmeler enerji kaynağı olarak farklı kaynakların aranmasına neden olmuştur. 1859'da Edwin Drake'in Pensilvanya'da ilk ticari petrol kuyusunu açmasıyla petrol çağının kapılarını aralamıştır

(Yergin, 2008). Bu gelişmeler neticesinde fosil yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğal gaz olarak sınıflandırmaktadır.

Kömür, milyonlarca yıl önce bataklıklarda biriken bitki kalıntılarının jeolojik ısı ve basınç altında dönüşmesiyle oluşan katı bir fosil yakıttır. Sanayi Devrimi'nin birincil yakıtı olan kömür, buhar makinelerine, demir-çelik üretimine ve daha sonra elektrik santrallerine güç vermiştir. Petrol ise, denizlerde yaşamış mikroorganizmaların (planktonlar) kalıntılarının milyonlarca yıl boyunca yer altında başkalaşmasıyla oluşan sıvı bir fosil yakıttır. 20. yüzyılda içten yanmalı motorun yaygınlaşmasıyla kömürün yerini alarak dünyanın en önemli enerji kaynağı haline gelmiştir. Özellikle ulaştırma sektörünün neredeyse tamamen bağımlı olduğu petrol, aynı zamanda plastik, gübre, ilaç gibi sayısız kimyasal ürünün de hammaddesidir (Yergin, 2008).

Son olarak doğal gaz genellikle metan gazından oluşan ve çoğunlukla petrol yataklarının yakınında bulunan gaz halinde bir fosil yakıttır. Özellikle elektrik üretimi, sanayi ve konut ısıtmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Speight, 2019).

Tüm bu gelişmelerin neticesinde özellikle 1960'lı yıllarda endüstriyel faaliyetlerin ve hızla artan fosil yakıt kullanımının büyük ölçüde çevrenin kirlenmesine sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda hem yeni enerji kaynakları bulmak hem de daha çevre dostu enerji kaynaklarını kullanmak daha önemli hale gelmiştir. Fosil yakıtlar dışında kullanılan enerji kaynakları nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nükleer enerji, uranyum gibi ağır bir atom çekirdeğinin nötron bombardımanıyla parçalanarak çok büyük miktarda enerji açığa çıkarması prensibine dayanır. Bu enerji, nükleer santrallerde suyu buharlaştırmak ve elektrik üretmek için kullanılır. Nükleer enerji, işletme sırasında sera gazı emisyonu üretmez ve küçük bir miktar yakıttan devasa miktarda enerji sağlayabilir. Ancak, nükleer reaksiyon sonucunda ortaya çıkan radyoaktif

atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesi, nükleer tesislerin güvenliği ve olası kazalardan kaynaklanabilecek olumsuz durumlar bu enerji kaynağının yüksek riskli bir enerji kaynağı olarak tanımlanmasını da beraberinde getirmektedir (Lovering ve diğ., 2016).

Alternatif ve çevre kirliliği yaratmayan enerji kaynakları arayışında yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem teşkil etmektedir. Yenilenebilir enerji, doğal olarak yenilenen ve böylece kaynakların tükenmesini önleyen bir enerji türü olarak tanımlanır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları şu şekilde sınıflandırılır: güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, dalga ve hidroelektrik enerji kaynaklarıdır.

Güneş enerjisi, Güneş'ten gelen ışınımın enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilmekte olup iki temel teknolojiye dayanmaktadır. Bunlardan ilki Fotovoltaik (PV) panellerdir. Bu paneller güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. İkincisi de yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemin temel çalışma prensibi aynalar kullanarak güneş ışığını tek bir noktaya odaklamak ve bu noktadaki yüksek ısı ile suyun ısıtılıp buharlaşmasına dayanmaktadır. Meydana gelen buhar, buhar türbinleri aracılığıyla elektrik üretir. Güneş enerjisi, tükenmez bir kaynaktır ve teknolojisi hızla gelişip ucuzlamaktadır (Twidell ve Weir, 2015).

İlk olarak tarihte yel değirmenleri ile kullanılan rüzgâr enerjisi modern dönemde rüzgar türbinlerine evrilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin çalışma prensibi temel olarak rüzgâr enerjisini kullanarak pervanelerin dönemsine dayanmaktadır. Dönme hareketi bir dişli kutusu aracılığıyla hızlandırılarak bir jeneratöre aktarılır ve elektrik üretilir. Rüzgâr enerjisi, son yirmi yılda maliyetleri en hızlı düşen ve en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından başında gelmektedir (Lund, 2014).

Biyokütle enerjisi, bitkiler, tarımsal atıklar, orman artıkları ve hayvansal gübre gibi organik maddelerin yakılarak veya kimyasal süreçlerden geçirilerek enerjiye

dönüştürülmesidir. Biyoyakıtlar (biyoetanol, biyodizel) ise genellikle mısır, şeker kamışı veya yağlı tohumlu bitkilerden üretilen ve ulaştırma sektöründe kullanılan sıvı yakıtlardır (Schobert, 2013).

Jeotermal enerji, yerkabuğunun derinliklerinde biriken ısının kullanılması olarak tanımlanır. Bu ısı genellikle sıcak su veya buhar şeklinde yeryüzüne salınır ve daha sonra doğrudan ısıtma (konutlar ve seralar) veya buhar türbinleri aracılığıyla elektrik üretimi için kullanılır. Bu enerji kaynağının güvenilirliği ve tutarlılığı son derece önemlidir. Ancak, potansiyeli yüksek alanlar genellikle tektonik fay hatları gibi belirli jeolojik bölgelerle sınırlıdır (Tester ve diğ., 2012).

Hidroelektrik enerji, uygun akarsu kaynaklarına barajlar inşa edilerek suyun toplanması ve biriktirilen suyun potansiyel enerjisinin, su kanalları aracılığıyla türbinlere yönlendirilerek kinetik enerjiye ve ardından jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Farinotti ve diğ., 2019). Diğer yandan Gelgit enerjisi, Ay ve Güneş'in kütle çekim kuvvetlerinin neden olduğu deniz seviyesindeki periyodik yükselme ve alçalmalardan (gelgit) faydalanır. Gelgit potansiyeli yüksek koylarda kurulan baraj benzeri yapılarla su tutulur ve seviye farkından yararlanılarak türbinler aracılığıyla elektrik üretilir. Gelgitler son derece öngörülebilir olduğu için güvenilir bir enerji kaynağıdır, ancak kurulum maliyetleri çok yüksektir ve uygun coğrafi konum sayısı oldukça sınırlıdır (Neill ve Hashemi, 2018).

1.3.3. Gelecekteki Potansiyel Enerji Kaynakları

Tarih boyunca olduğu gibi insanlık sürekli gelişmekte ve geliştirdikçe de yeni enerji kaynakları aramaktadır. Özellikle sürdürülebilir bir gelecek adına hem daha verimli hem de daha temiz enerji kaynakları bir hayli önem arz etmektedir. Gelecekte potansiyel olarak enerji kaynağı olarak kullanılabilecek bazı enerji türleri bulunmaktadır. Bunlardan

başlıcaları, uzay tabanlı güneş enerjisi, dördüncü nesil nükleer reaktörler, fizyon enerjisi, yapay fotosentez ve güneş yakıtlarıdır.

1.3.3.1. Uzay Tabanlı Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi günümüzde en fazla kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Ancak güneş enerjisi kullanımının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin günün 24 saati boyunca kullanılamaması ve kurulması gerek yerlerin oluşturduğu birtakım dezavantajlar bulunmaktadır. Bu nedenle yörüngeye yerleştirilecek olan uydular sayesinde güneş enerjisi panellerini gece-gündüz ve atmosferik koşullardan etkilenmeden güneş enerjisinden yararlanacaktır. Uzay tabanlı güneş enerjisi, olarak adlandırılan bu sistemler en basit tanımıyla toplanan güneş enerjisi mikrodalga veya lazer ışınları şeklinde Dünya'daki alıcı istasyonlara gönderme konseptidir. Teorik olarak devasa miktarda temiz enerji sağlama potansiyeline sahip olsa da fırlatma maliyetlerinin yüksekliği, enerji iletimindeki verimlilik ve güvenlik sorunları gibi büyük teknolojik ve ekonomik engelleri bulunmaktadır (Mankins, 2014).

1.3.3.2. Dördüncü Nesil Nükleer Reaktörler

Dördüncü nesil nükleer reaktörler, güvenlik, sürdürülebilirlik ve ekonomik performans açısından mevcut teknolojileri aşmayı amaçlayan bir dizi gelişmiş reaktör tasarımını temsil eder. Bu sistemler, sodyum soğutmalı hızlı reaktörler, erimiş tuz reaktörleri ve çok yüksek sıcaklıkta gaz soğutmalı reaktörler gibi kavramları içerir. Bu tasarımların temel amacı, yakıt kullanımını artırmak, nükleer atıkların hacmini ve radyoaktif toksisitesini azaltmak ve pasif güvenlik özelliklerini mümkün kılmaktır. Bu reaktörlerin birçoğunun mevcut nükleer atıkları yakıt olarak kullanma potansiyeline sahip olduğu ve böylece uzun vadeli atık yönetimi çözümlerine katkıda bulunabileceği unutulmamalıdır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin çoğu hala araştırma ve geliştirme

aşamasındadır. Aşağıdaki makale, konuyla ilgili literatüre kapsamlı bir genel bakış sunacaktır (Generation IV International Forum, 2014).

1.3.3.3. Füzyon Enerjisi

Füzyon enerjisi süreci, Güneş ve diğer yıldızlara güç veren süreci taklit eder. Bu süreçte, döteryum ve trityum gibi hafif atom çekirdekleri, aşırı sıcaklık ve basınç altında bir füzyon sürecinden geçer. Bu, daha ağır bir çekirdeğin, genellikle helyumun oluşmasına ve önemli miktarda enerjinin salınmasına neden olur. Füzyon, yakıtının deniz suyundan elde edilebilmesi, uzun ömürlü radyoaktif atık olmaması ve zincirleme reaksiyon riski olmaması nedeniyle sıklıkla "nihai temiz enerji kaynağı" olarak kabul edilir. Bununla birlikte, sürekli füzyon reaksiyonları için gerekli olan aşırı koşulların sağlanması ve sürdürülmesi, özellikle plazmanın hapsedilmesi, önemli bir bilimsel ve mühendislik zorluğu olmaya devam etmektedir. Uluslararası ITER projesi, bu alandaki en önemli girişimdir (Freidberg, 2015).

1.3.3.4. Yapay Fotosentez ve Güneş Yakıtları

Güneş ışığını, suyu ve karbondioksiti doğrudan hidrojen veya metanol gibi kimyasal yakıtlara dönüştürerek bitkilerdeki doğal fotosentez sürecini taklit etmeyi amaçlayan yapay fotosentez alanı, nispeten yeni bir araştırma alanıdır. Bu teknoloji başarıyla geliştirilirse, yenilenebilir enerji üretiminde çığır açan bir çözüm sunarken, aynı zamanda atmosferdeki karbondioksit azaltımına da katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Yapay fotosentezin potansiyeli, güneş enerjisini depolanabilir ve taşınabilir bir forma dönüştürmesi nedeniyle önemlidir. Bununla birlikte, verimlilik ve maliyetle ilgili sorunlar hala temel engeller olmaya devam etmekte ve bu alan hala temel araştırma aşamasındadır (Lewis ve Nocera, 2006).

2. ÇEVRE KİRLİLİĞİ VE ULUSLARARASI ANLAŞMALAR BAĞLAMINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ROLÜ

Çevre kavramı oldukça geniş, kapsayıcı bir kavramdır ve sadece canlıları değil, cansız varlıkları da içinde barındırır. Çevre, tüm bu unsurların var olduğu ortak bir alanıdır. (Alagöz ve Yılmaz, 2001: 147). Aynı zamanda çevre, biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel boyutlar dahil olmak üzere birçok yönü barındırır. Çevre, bu unsurlar arasındaki hassas denge ile tanımlanır ve çevre kalitesindeki bozulma olumsuz etkilere sebep olabilir (Sürücü, 1995: 168)

İnsanlık diğer tüm canlı türeleri gibi yaşamını sürdürmesi için çevreye bağımlıdır. Ne var ki tüm canlılardan farklı olarak insanlar özellikle teknolojik gelişmeler sayesinde hemen hemen her ortama uyum sağlayıp hayatlarını devam ettirebilirler. Ancak, insanlığın yaşam kalitesini iyileştirme çabaları, kasıtlı veya kasıtsız olarak çevre üzerinde zararlı etkilere yol açarak istenmeyen sonuçlar doğurmuştur.

2.1. Çevre Sorunlarının Ortaya Çıkış Süreci

Son yıllarda, küreselleşme olgusu dünya ekonomisi alanında kapsamlı bir tartışma konusu haline gelmiştir. Küreselleşmeyi, genel olarak ülkeler arasındaki ekonomik ve sosyal ilişkilerin genişlemesi ve buna eşlik eden hızlanan siyasi gelişmeler olarak anlaşılabilir. Diğer bir deyişle, küreselleşme, ulusal ekonomilerin küresel bir sisteme entegre olduğu süreç olarak tanımlanabilir. Bu süreçte sermaye ve mal piyasalarının ulusal sınırların ötesine yayılması, sanayi devrimleriyle başlamıştır. Bu gelişme, teknolojik ilerlemelerle kolaylaşmış ve piyasaların daha açık ve birbirine bağlı hale gelmesine yol açmıştır. (Okur Dinçsoy, 2020)

Çevresel sorunların temelini, insan faaliyetleri ve endüstriyel gelişmenin oluşturduğu genel kabul gören kanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevresel sorunların başlıca nedenleri, Sanayi Devrimi'nin ardından yaşanan nüfus artışı, doğal kaynakların kontrolsüz tüketimi ve teknolojik faaliyetlerdir (Smith ve Verheyden, 2007).

Sanayi devriminden bu yana yaşanan gelişimler tarihte eşi benzeri olamayan teknolojik gelişim ve nüfus artışına neden olmuştur. Gelinen bu noktada oluşan talebi karşılamak adına daha fazla üretim yapılmaya başlanmış ve de daha fazla üretim yapabilmek adına daha fazla talep yaratılmaya başlanmıştır. Oluşan bu düzende üretim ve tüketim temelinde doğal kaynaklar pervasızca kullanılmış ve tahrip edilmiştir. Başlarda çevrenin kendi kendini iyileştirdiği ve oluşan kirliliği temizleme kapasitesine sahip olduğu fikri yaygın olarak kabul edilmekteydi. Çevre ve doğal kaynaklar ekonomik anlamda sıfır maliyetli, ücretsiz mallar olarak kabul edilmesi çevreye verilen zararı hızla artırdı ve doğanın kendini iyileştirebilme kapasitesini aşarak geri dönüşü olmayan tahribatlara neden olduğu görülmektedir (Uçar, 1991: 40).

Ekonomik büyümenin yaygın tanımı, insan ihtiyaçlarını karşılamak ve sosyal refahı artırmak için mal ve hizmet üretimindeki artıştır. Enerji, üretimin vazgeçilmez bir bileşenidir ve ekonomik kalkınmanın temelini oluşturur. Bir ülkenin ekonomisi büyüdükçe enerji, mal ve hizmetlere olan talebinin de arttığı, ekonomide kabul görmüş bir gerçektir. Artan talebi karşılamak için yeni endüstrilerin ortaya çıkması, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki yakın ilişkiyi göstermektedir. Enerji, ekonomik rolünün ötesinde, bilimin ilerlemesinde, modern toplumların sürdürülebilirliğinde ve günlük yaşamın desteklenmesinde de hayati bir rol oynamaktadır. (Okur Dinçsoy ve Can, 2023)

Ekonomik faaliyetlerin nihai amacı olan insan refahı, ancak üretimin artırılması ve çevre kalitesinin korunmasıyla sağlanabilir. Klasik iktisat, refahın üretimle eşanlamlı olduğu varsayımına dayanırken, çağdaş yaklaşımlar teorik çerçeveye nitel unsurları dahil ederek çevresel faktörlerin önemini vurgulamaktadır (Yıldırım, 2004).

Ancak, büyümenin sonraki aşamalarında, özellikle sanayileşmiş toplumlarda, çevresel bozulmanın ve ekolojik dengenin bozulmasının fark edilmesiyle yeni bir farkındalık ortaya çıkmıştır. Bu farkındalık, çevresel bozulmanın uzun vadede ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik için bir tehdit oluşturduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, gelişmiş ülkeler doğal yaşamı korurken aynı zamanda çevre kirliliğini azaltacak teknolojik çözümler üretmeyi amaçlayan politika geliştirme girişimleri başlatmıştır. Bununla birlikte, çevreye verilen zararı gidermeye yönelik harcamalar bu ülkelerde önemli ekonomik baskılara yol açmıştır.

Kuznets (1955), ekonomik büyüme ve gelir eşitsizliği üzerine yaptığı çalışmadan yola çıkılarak, Grossman ve Krueger (1991), ekonomik büyüme ile çevre bozulması arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu öne sürmüştür. Bu teori, çevre kirliliğinin büyümenin ilk aşamalarında arttığını, ancak belirli bir gelir düzeyinden sonra çevre bilincinin artmasıyla bu eğilimin tersine döndüğünü öne sürmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar teoriyi daha da desteklemiş ve çevreye duyarlı sürdürülebilir büyüme modellerinin temelini oluşturmuştur.

Çevre kirliliği, ortaya çıkmasına katkıda bulunan çok çeşitli ve birbiriyle bağlantılı faktörlerin bulunduğu karmaşık bir olgudur. Çevre kirliliğinin başlıca kaynakları arasında endüstriyel üretim, enerji üretimi, ulaşım, tarım uygulamaları, evsel atıklar ve yetersiz atık yönetimi yer almaktadır. Endüstriyel faaliyetler, çevre kirliliğine neden olan önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Endüstriyel tesislerden kaynaklanan emisyonlar, kimyasal atıklar, ağır metaller ve çeşitli toksik maddeler gibi kirleticilerin atmosfere, suya ve toprağa salınmasının çevreye zararlı etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, enerji üretim süreçlerinin çevre üzerinde önemli bir baskı oluşturduğu da kanıtlanmıştır. Fosil yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkan sera gazları ve diğer zararlı emisyonların hava kalitesini düşürdüğü ve iklim değişikliğini tetiklemektedir. Elektrik üretimi ve ısınma için kullanılan fosil yakıtlar, atmosferde biriken karbon emisyonlarının başlıca nedenleri arasındadır.

Ulaşım sektörü de hava kirliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Motorlu taşıtların ve hava ulaşımının yaydığı azot oksitler, karbon monoksit, partikül madde ve karbondioksit gibi kirleticilerin varlığının, kentsel alanlarda hava kalitesini olumsuz etkilediği ve insan sağlığına zararlı etkileri olduğu pek çok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur. Tarımsal faaliyetler, çevre kirliliğinin bir diğer önemli kaynağıdır. Pestisit ve gübrelerin kullanımı, hayvan atıklarıyla birlikte hem toprak hem de su ekosistemlerinde kirliliğe neden olmaktadır. Son olarak evsel atıklar ve katı atıkların uygun şekilde yönetilmemesi toprak ve su kirliliğini artırmaktadır. Etkili geri dönüşüm uygulamalarının olmaması ve atık ayrıştırma sistemlerinin yetersizliği, çevresel kirliliği artıran unsurların başında gelmektedir (Miller ve Spoolman, 2012).

2.1.1. Çevre Kirliliği Çeşitleri

Önceki bölümlerde, çevre kirliliğinin tanımı ve başlıca nedenleri ele alınmıştır. Bu bölümde ise, çevre kirliliğinin etkilediği ortamlara göre sınıflandırılması yapılmaktadır. Hava, su ve toprak gibi farklı çevre kirliliği türleri incelenmektedir.

Hava Kirliliği: Endüstriyel faaliyetler sonucunda salınan gazlar, fosil yakıt kullanan araçlar ve evsel ısınma uygulamaları sonucunda havaya salınan zararlı gaz ve partiküller hava kirliliğine sebep vermektedir (Cunningham ve Cunningham, 2017).

Su Kirliliği: Endüstriyel ve tarımsal üretimin yanı sıra evsel atıklar sonucunda su kaynaklarına salınan kirli maddeler su kirliliğine sebep vermektedir. Su kirliliği, ekosistemi olumsuz etkileyerek içme suyunu kirletmektedir (Townsend ve diğ., 2008).

Toprak Kirliliği: Toprak kirliliğinin temelini, tarımda kullanılan ilaçlar, sanayi üretimi sonucunda meydana gelen sızıntılar ve çöp toplama alanlarında toprağa geçen kirletici maddeler oluşturmaktadır. Bu tür kirlilik sonucunda toprağın bitkisel ürün

yetiştirme özelliği kaybolmakta ve topraktan yer altı sularına sızıntılar şeklinde kirlilik yaşanmaktadır (Brady ve Weil, 2008).

2.2. Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, ilk kez 1987 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tarafından kurulan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayınlanan "Ortak Geleceğimiz" başlıklı raporla literatüre girmiştir. Dönemin Norveç Başbakanı olan Gro Harlem Brundtland'ın başkanlığında hazırlanan bu rapor yaygın olarak "Brundtland Raporu" olarak bilinmektedir. Raporda, ekonomik büyüme, sosyal eşitlik ve çevre koruma arasındaki çok boyutlu ilişkiler sistematik olarak analiz edilerek, kalkınma anlayışında köklü bir dönüşümün temelleri atılmaktadır (Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, 1987).

Sürdürülebilir kalkınma, birbirine bağımlı üç temel üzerine kuruludur. Bunlar ekonomik boyut, sosyal boyut ve çevresel boyut olarak karşımıza çıkmaktadır (Tunçer, 2022). Bu üç boyuttan herhangi birinin ihmal edilmesi, diğerlerinin bütünlüğünü kaçınılmaz olarak tehlikeye atacak ve sonuç olarak sürdürülebilir kalkınmayı uzun vadede sürdürülemez hale getirecektir. Kısaca sürdürülebilirlik bu üç unsur arasında denge ve uyumun sağlanması olarak tanımlanabilir (Holmberg ve Sandbrook, 1992).

Ekonomik boyut, mal ve hizmet üretiminde kaynakların verimli kullanımı, atıkların azaltılması, atık yönetiminin iyileştirilmesi ve döngüsel ekonomi gibi modellerini kapsar (Tunçer, 2022). Temel amaç, ekonomik büyümeyi çevresel bozulma ve doğal kaynakların tükenmesinden ayırmaktır. Bu yaklaşımın amacı, daha az kaynak ve enerji kullanarak daha fazla ekonomik değer yaratmaktır (Sharpley, 2000).

Sosyal boyut, kalkınmanın faydalarının toplumun tüm kesimlerine adil bir şekilde dağıtılması olarak tanımlanmaktadır. Brundtland Raporu'nda vurgulandığı gibi, temel ihtiyaçlarını karşılayamayan yoksul toplulukların çevreyi korumalarını beklemek gerçekçi değildir; bu nedenle yoksulluğun azaltılması, çevresel sürdürülebilirliğin ön koşuludur (WCED, 1987).

Çevresel boyut, doğanın dengesini ve yaşamı sürdüren sistemleri korumayı hedefler. Bu, biyoçeşitliliğin muhafaza edilmesini, su, orman ve toprak gibi doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini, kirlilik kaynaklarının azaltılması ve iklim değişikliğiyle etkin mücadeleyi kapsar (Tunçer, 2022). Bu boyut, ekonomik faaliyetlerin yürütülebilmesi için gerekli olan doğal sermayenin korunmasını ve gelecek nesillere aktarılmasını güvence altına alır (Wiersum, 1995).

Sürdürülebilir bir kalkınma adına çevre kirliliği ile mücadele ve doğal kaynakların korunması hayli önem arz eden bir konudur. Bu doğrultuda çevresel kirliliğe neden olan unsurların belirlenmesi de o denli önemli bir konudur.

2.3. İklim Değişikliği ile İlgili Uluslararası Belge ve Antlaşmalar

İklim değişikliği, insan yaşamının her alanını etkileyen küresel bir sorun haline gelmiştir. Bu tehdide karşı ülkeler yıllardır çeşitli anlaşmalar ve eylem planları aracılığıyla çözümler bulmak için iş birliği yapmaktadırlar. Küresel ısınmayı sınırlamak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak amacıyla hazırlanan bu uluslararası belgeler, dünya çapında iklim politikalarının temelini oluşturmaktadır. Bu bölümde, iklim değişikliğiyle mücadelede en önemli uluslararası anlaşmalar ve girişimler ele alınacaktır.

2.3.1. BM İnsan Çevresi Konferansı (Stockholm, 1972)

Uluslararası çevre politikasının başlangıç noktası olarak kabul edilen Stockholm Konferansı, çevre sorunlarının küresel ölçekte ele alındığı ilk büyük zirvedir. Konferans, sanayileşmiş ve gelişmekte olan ülkeleri bir araya getirerek, ekonomik kalkınma ile çevrenin korunması arasındaki hassas ilişkiyi gündeme taşımıştır. En somut çıktısı, küresel çevre faaliyetlerini koordine etmek ve çevre bilincini artırmak amacıyla Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) kurulması olmuştur. Bu zirve, gelecekteki tüm çok taraflı çevre anlaşmaları için bir emsal teşkil etmiştir (Engfeldt, 2009: 12).

2.3.2. Brundtland Raporu ve Sürdürülebilir Kalkınma (1987)

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan ve "Ortak Geleceğimiz" (Our Common Future) adıyla bilinen Brundtland Raporu, çevre ve kalkınma tartışmalarını birleştiren bir dönüm noktasıdır. Rapor, "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak tanımladığı **sürdürülebilir kalkınma** kavramını küresel gündeme taşımıştır. Bu tanım, ekonomik büyümenin çevresel ve sosyal boyutları göz ardı edilerek sağlanamayacağını vurgulamış ve sonraki tüm iklim müzakerelerinin temel felsefesini şekillendirmiştir (Keeble, 1988: 14).

2.3.3. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Kurulması (1988)

İklim değişikliğine ilişkin politika kararlarının sağlam bilimsel temellere dayanması amacıyla, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve UNEP tarafından ortaklaşa Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. IPCC'nin görevi, belirli bir politika önermek değil, iklim değişikliğinin bilimi, etkileri ve azaltım seçenekleri

hakkında düzenli aralıklarla kapsamlı, tarafsız ve şeffaf değerlendirme raporları hazırlayarak politika yapıcılara sunmaktır. IPCC raporları, o tarihten bu yana iklim müzakerelerinin en önemli bilimsel referans kaynağı olmuştur (Bolin, 1994: 26).

2.3.4. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), imzalanmıştır. Bu sözleşme çerçevesinde, uluslararası mecrada iklim değişimi ve küresel ısınma sorunlarına ilişkin düzenlemeler yayımlanmıştır. Temel hedef çevre sera gazı emisyonlarını düşürerek bundan kaynaklı iklim değişimini ve küresel ısınmayı kontrol altına almaktır.

UNFCCC'ye 197 devlet imza atmış ve her yıl üye devletlerin katılımları ile Taraflar Konferansı (COP) toplantıları düzenlenerek iklim değişikliğiyle mücadele konusunda taahhütlerde bulunmalarını ve iş birliği yapmalarını sağlamaktadır (UNFCCC, 1992).

2.3.5. Kyoto Protokolü

Japonya'nın Kyoto şehrinde 1997 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansında Kyoto protokolü kabul edilmiştir. Bu protokol ülkelerin endüstriyel faaliyetler sonucunda salınan sera gazlarının kontrol altına alınalar azaltılması hedeflenmiştir. Kyoto protokolü 192 ülke tarafından imzalanmış ve 2005-2012 yıllarını hedef almaktadır. Protokolde temel amaç özellikle gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını düşürmelerini hedeflenmektedir. Belirlenen dönem aralığı içinde taraf ülkelerin sera gazı emisyonlarında hedeflenen seviyenin altına inilmesi beklenmekle birlikte izleme ve denetleme mekanizması da ortaya konmuştur (UNFCCC, 1997).

2.3.6. Bali Eylem Planı

Kyoto protokolünün ardından Endonezya'nın Bali adasında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansında Bali eylem planı kabul görmüştür. İklim değişikliği ve küresel ısınma sorunları çerçevesinde alternatif bir çözüm yolu ortaya koyan bu protokol, 2012 sonrası için Kyoto protokolünün çerçevesini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bali eylem planı kapsamında ülkelerin ortak sorumluluklar, finansman, teknoloji ve kapasite gelişimi gibi unsurlarda beraber hareket etmeleri ve halkın da iklim değişikliğine entegre edilmesi teşvik edilmektedir (Bali Action Plan, 2007).

2.3.7. Kopenhag Uzlaşması

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nın 2009 yılında Danimarka'nın Kopenhag şehrinde düzlenmiştir. Bu toplantıda bir uzlaşı yayınlanmıştır. Toplantıda küresel ısınmanın 2°C'nin altında tutulması hedefi ortaya konmuştur. Uzlaşmada ülkelerin sera gazı azaltma vaatlerini kontrol etmek adına bir denetleme mekanizması oluşturulması önerilmiştir. Bununla beraber Kopenhag Uzlaşması, bağlayıcı bir uluslararası anlaşma olarak kabul edilmemiş ve bazı eleştirilerin hedefi olmuştur (Copenhagen Accord, 2009).

2.3.8. Cancun Uzlaşması

Cancun Uzlaşması, 2010 yılında Meksika'nın Cancun şehrinde düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda kabul edilmiştir. Bu uzlaşma, iklim değişikliğiyle mücadelede daha kapsamlı bir eylem çerçevesi oluşturmayı hedeflemektedir. Uzlaşma, sera gazı azaltımı, uyum, teknoloji transferi, finansman ve ormansızlaşma gibi konularda önemli adımlar atılmasını öngörmektedir. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadelede daha fazla destek almasını

sağlamak amacıyla Yeşil İklim Fonu oluşturulmuştur. Cancun Uzlaşması, hedef bağlayıcılığı olmamasına rağmen, iklim değişikliğiyle mücadelede ilerleme kaydedilmesi açısından önemli bir adım olarak kabul edilmektedir (Cancun Agreements, 2010).

2.3.9. Kyoto Protokolü'ne Doha Değişikliği (Doha, 2012)

Yeni ve evrensel anlaşma müzakereleri devam ederken, mevcut tek bağlayıcı rejim olan Kyoto Protokolü'nün sona ermesini önlemek için COP18'de bir ara çözüm bulunmuştur. Doha Değişikliği ile Protokol'ün 2013-2020 yıllarını kapsayan ikinci bir taahhüt dönemi oluşturulmuştur. Ancak, Kanada, Japonya ve Rusya gibi bazı önemli Ek-I ülkelerinin bu döneme katılmaması, değişikliğin küresel emisyonlar üzerindeki etkisini oldukça sınırlı kılmış ve bu dönemin daha çok Paris Anlaşması'na giden yolda bir "köprü" işlevi görmesine neden olmuştur (Shishlov, Morel ve Bellassen, 2016: 770).

2.3.10. Paris Anlaşması (Paris, 2015)

Uluslararası iklim diplomasisinin en büyük başarısı olarak kabul edilen Paris Anlaşması, tüm ülkelerin katılımıyla evrensel bir rejim kurmuştur. Anlaşma, Kyoto'nun katı ayrımını ve yukarıdan aşağıya yaklaşımını terk ederek, her ülkenin kendi kapasitesi doğrultusunda belirlediği Ulusal Katkı Beyanları (NDC) sunduğu, "aşağıdan yukarıya" esnek bir yapı benimsemiştir. Uzun vadeli hedefi, sıcaklık artışını "2°C'nin oldukça altında" tutmak ve "1,5°C ile sınırlandırma" çabalarını sürdürmektir. Anlaşma, hedeflerin zamanla geriye gitmesini önleyen ve 5 yılda bir küresel ilerlemenin değerlendirileceği Küresel Durum Değerlendirmesi (Global Stocktake) gibi mekanizmalarla hırsın artırılmasını amaçlamaktadır (Falkner, 2016: 1112).

2.3.11. Glasgow İklim Paktı (Glasgow, 2021)

COP26'da kabul edilen Glasgow İklim Paktı, Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefini daha ulaşılabilir kılmak için acil eylemleri hızlandırmayı hedeflemiştir. Pakt, tarihinde ilk defa bir COP karar metninde fosil yakıtlara doğrudan atıfta bulunarak, tarafları "azaltım önlemi olmayan kömür gücünün aşamalı olarak azaltılması" ve "verimsiz fosil yakıt sübvansiyonlarının" sona erdirilmesi yönünde teşvik etmiştir. Ayrıca, ülkelerden 2030 NDC'lerini 1,5°C hedefiyle uyumlu hale getirmek üzere 2022 sonuna kadar gözden geçirmelerini istemiştir (Allan, 2022: 2).

2.3.12. Kayıp ve Hasar Fonu (Şarm El-Şeyh, 2022)

Kayıp ve Hasar Fonu, 2022'de COP27 (Şarm El-Şeyh) kararlarıyla UNFCCC/Paris rejimi altında, özellikle AOSIS, En Az Gelişmiş Ülkeler ve G77+Çin'in uzun süredir süregelen iklim adaleti ve tarihsel sorumluluk temelli baskısı sonucunda, azaltım ve uyumun ötesinde gerçekleşmiş ve kaçınılmaz iklim etkilerinden (ani afetler, yavaş başlayan süreçler) doğan ekonomik ve ekonomik olmayan kayıpları ele almak; kırılgan ülkeler için ek, yeni ve ilave finansman sağlamak; bilgi, koordinasyon ve hızlı erişim boşluklarını kapatmak amacıyla kurulmuş; 2023'te COP28'de operasyonelleştirilmesi yönünde ilk taahhütlerle (sınırlı ölçekli olsa da) somutlaştırılmış yeni bir mali araçtır. Kuruluşun gerekçesi, uyum kapasitesini aşan zararların artan sıklığı, mevcut iklim finansmanının bu boşluğa hitap etmemesi ve sorumluluk-kapasite farklılıklarını gözeten bir yönetişim ihtiyacıdır (Vanhala ve Hestbaek, 2023: 561).

2.3.13. Küresel Durum Değerlendirmesi ve Sonrası (Dubai, 2023)

COP28, Paris Anlaşması kapsamındaki ilk Küresel Durum Değerlendirmesinin (Global Stocktake - GST) sonuçlandığı zirve olmuştur. GST, mevcut küresel çabaların 1.5°C hedefine ulaşmak için yetersiz kaldığını bilimsel olarak ortaya koymuştur. Bu değerlendirmenin ardından kabul edilen sonuç metni, tarafları bu on yılda "enerji sistemlerinde fosil yakıtlardan adil, düzenli ve hakkaniyetli bir şekilde uzaklaşma"

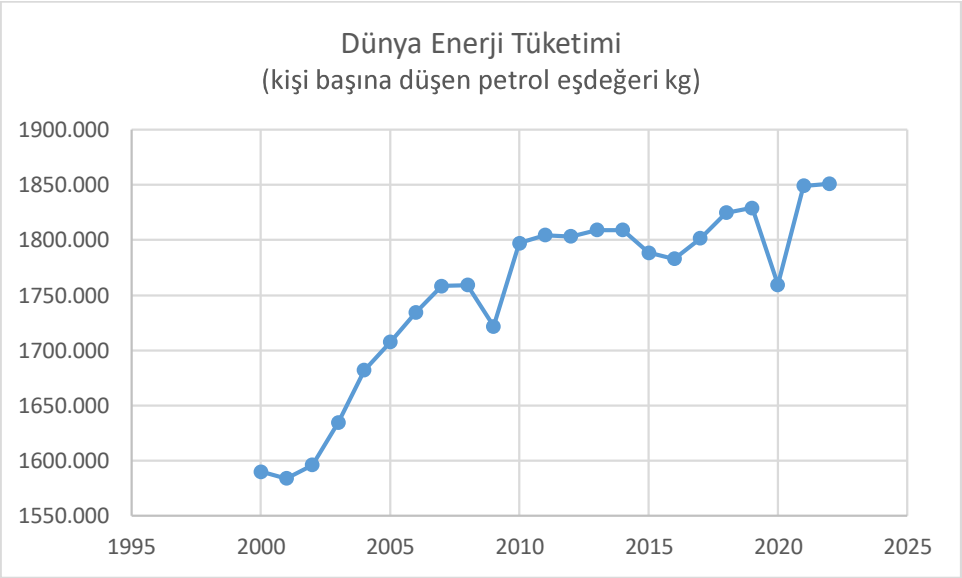
sürecini başlatmaya çağırmıştır. Bu ifade, bir COP metninde tüm fosil yakıtların geleceğine dair verilen en güçlü sinyal olması nedeniyle tarihi bir önem taşımaktadır (Savaresi, 2024: 3).

2.4. Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarrufu

Enerji, sanayi ve ekonominin temelini oluşturmakla birlikte sosyal hayata ve toplumun her kesiminde temel değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle enerji talebi hızla artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak adına enerji kaynaklarının çeşitlenmesi ve bu çeşitlenen enerji kaynaklarının endüstrinin ve toplumun kullanılması adına yaygınlaştırılması önemli bir konu haline gelmiştir (Yücel 1994: 11).

Özellikle küreselleşme ile, yaşanan gelişmeler ve ekonomilerin hızla büyümesi enerji talebinde daha önce görülmemiş bir artışa neden olmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) gelecek projeksiyonlarında bu durumun hızla artmaya devam edeceğini ön görmektedir. Ancak, mevcut enerji sisteminin büyük ölçüde fosil yakıtlara (kömür, petrol ve doğalgaz) dayanması, bu artışın çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi bir tehdit oluşturmasına yol açmaktadır.

Şekil 1. Dünya Enerji Tüketimi



Kaynak: Dünya Bankası, 2025. (https://data.worldbank.org/)

Şekil 1'de görüldüğü üzere dünya çapında enerji tüketimi hızla artmaktadır. Şekilde 2002-2022 arasındaki enerji tüketim verileri verilmiştir. 2008 küresel kriz ve 2019 pandemi dönemleri dışında enerji tüketiminin hızla artığı görülmektedir.

Bu artış tek bir nedene bağlanamayacak kadar karmaşık olup, birbiriyle etkileşim halindeki çok sayıda demografik, ekonomik ve sosyal faktörün birleşiminden kaynaklanmaktadır. Bu dinamiklerin anlaşılması, gelecekteki enerji politikalarının şekillendirilmesi ve sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Enerji tüketiminin temel artış nedenleri arasında ekonomik büyüme, nüfus artışı, kentleşme ve teknolojik gelişmeler öne çıkmaktadır.

2.4.1. Ekonomik Büyüme

Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, akademik literatürde önemli bir araştırma alanıdır. Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) artışının, enerji talebinde eşzamanlı bir artışa neden olduğu istatistiksel anlamda birçok çalışmada ortaya konmuştur. Bu durum, endüstriyel altyapısını genişletmek ve üretim kapasitesini artırmak için önemli miktarda enerjiye ihtiyaç duyan gelişmekte olan ülkeler için özellikle önemlidir. Enerji ve ekonomi arasındaki ilişki o kadar güçlüdür ki, enerji sıklıkla "ekonominin can damarı" olarak adlandırılır. Enerji arzının kesintiye uğraması, ekonomik faaliyetlerde önemli düşüşlere yol açabilir (Smil, 2017: 441-443).

2.4.2. Nüfus Artışı

Dünya nüfusunun artışı, enerji talebini etkileyen en temel ve doğrudan faktörlerden biridir. Nüfusun artması, barınma, ısınma, aydınlatma ve gıda üretimi gibi temel ihtiyaçların karşılanması için daha fazla enerji tüketimine yol açar. Birleşmiş Milletler 'in tahminlerine göre, dünya nüfusu artmaya devam edecek ve bu artışın önemli bir kısmı, şu anda enerji altyapısını geliştirmek için çalışan Asya ve Afrika ülkelerinde gerçekleşecektir. Nüfus artışının enerji talebi üzerindeki etkisi, sadece insan sayısıyla sınırlı değildir; nüfus arttıkça gelir düzeylerindeki ve tüketim alışkanlıklarındaki değişiklikler de bu etkiyi daha da artırmaktadır (Goldemberg ve Johansson, 2004: 11-12).

2.4.3. Kentleşme ve Yaşam Tarzı Değişiklikleri

Kırsal bölgelerden kentlere doğru yaşanan göç, enerji tüketim kalıplarını kökten değiştirmektedir. Kentsel yaşam tarzı, kırsal yaşam tarzına göre doğası gereği daha enerji yoğundur. Şehirlerde yaşayan insanlar, daha fazla işlenmiş gıda, daha fazla aydınlatma, daha çeşitli ev aletleri ve daha yoğun ulaşım ağları kullanma eğilimindedir. Çok katlı

binalar, alışveriş merkezleri, toplu taşıma sistemleri (metrolar, tramvaylar) ve şehir altyapısının (sokak aydınlatması, su pompalama sistemleri) kendisi, sürekli ve büyük miktarda enerji gerektirir. Bu nedenle, kentleşme oranı arttıkça bir ülkenin kişi başına düşen enerji tüketimi de belirgin bir şekilde artış göstermektedir (İEA, 2023: 84).

2.4.4. Teknolojik Yayılım ve Ulaşım

Teknolojik ilerlemeler, bir yandan enerji verimliliği sağlayarak tüketimi azaltma potansiyeli taşırken, diğer yandan yeni tüketim alanları yaratarak toplam talebi artırıcı bir rol oynamaktadır. Özellikle ulaşım sektöründeki gelişmeler bu durumu açıkça göstermektedir. Motorlu taşıt sahipliğinin küresel ölçekte artması, petrol talebini körükleyen en önemli faktörlerden biridir. Benzer şekilde, hava yoluyla yapılan seyahatlerin yaygınlaşması da havacılık yakıtlarına olan talebi rekor seviyelere çıkarmıştır. Ayrıca, dijitalleşme süreci de yeni bir enerji tüketim kalemi ortaya çıkarmıştır. Milyarlarca akıllı telefon, bilgisayar ve sunucudan oluşan dijital ekosistemin çalışması ve sürekli çevrimiçi kalması için gereken veri merkezleri, dünya genelinde devasa birer enerji tüketicisi haline gelmiştir (Sovacool, 2016: 204-205).

2.5. Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu

1971 yılında yaşanan petrol krizinden sonra enerjinin dünyamız için ne kadar değerli olduğu bir kez daha ortaya çıkmıştır. Enerji tasarrufu bu nedenle günümüz ekonomileri için hayati öneme sahiptir. Dolayısıyla ülkeler enerjiyi daha verimli kullanmak adına destekler, yardım programları ve çeşitli politikalar geliştirmektedirler. Enerji tasarrufu hem maddi açıdan büyük bir artı kazandırmakta hem de çevresel kirliliğin azaltılması ve sürdürülebilir bir büyümenin temelini oluşturmaktadır. Enerji arzının

yetersiz olduğu gelişmekte olan ülkeler açısından enerjinin verimli kullanılması çok önemli olmasına rağmen gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmaktadırlar. (Akova, 2016)

Artan enerji talebi, mevcut enerji kaynaklarının daha hızlı bir şekilde tükenmesine neden olabilir. Fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynaklar, hızlı tüketimle birlikte azalmaya başlar. Bu durum, enerji arzında sıkıntılara ve enerji fiyatlarında artışlara yol açabilir. Aynı zamanda Artan enerji talebi, enerji piyasalarında arz ve talep dengesini etkileyerek enerji fiyatlarının artmasına yol açabilir. Özellikle sınırlı kaynaklara dayalı enerji kaynaklarında arzın talebi karşılamaması durumunda, enerji fiyatlarında yükseliş gözlenebilir. Bu durum, tüketicilere ve endüstriye yüksek maliyetler olarak yansır (Akova, 2016).

Sanayiden, ulaşıma, konutların ısıtılmasından, aydınlanmaya kısacası hayatın her alanında enerji temel bir girdi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu denli fazla enerji talebi her geçen yıl enerji tüketimini artırmaktadır. Ancak kullanılan enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunun fosil yakıtlardan elde edilmesi, çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Özetle ekonomiler geliştikçe ve nüfus artıkça enerji tüketimi de beraberinde artmakta. Bunun sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliği, bu ilişkinin sürdürülebilir olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Ekonomik büyümeyi etkilemeden enerji harcamalarının azaltılmasını hedeflemeyen ve "ekonomik büyümenin enerji tüketiminden ayrıştırılması" (decoupling) kavramı günümüzde hayli önem arz eden bir oldu olarak literatürde kendine yer edinmiştir (UNEP, 2011).

Ülkeler, sürdürülebilir dengeli büyüme hedeflerine ulaşabilmek adına sadece üretimi değil aynı zamanda refah düzeyini ve hayat kalitesini de artırmak zorundadırlar. Bu noktada sürdürülebilir bir ekonomik yapı olması gerekmektedir. Sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sadece üretimin faktörlerinin elde edilmesi değil aynı zamanda bu faktörlerin nasıl kullanıldığını da kapsamaktadır. Enerji de bu üretim faktörlerinden bir tanesi olarak, sürdürülebilirlik kapsamında üretimden sosyal hayata çok önemli bir

olgudur. Özelikle enerji de dışa bağımlı olan ülkeler adına daha fazla önem arz etmektedir. Enerji de dışa bağımlı olan bir ülke, enerji tedariğinde olası bir sorunla karşılaştığı zaman üretim düzeyinin düşmesiyle ve hata refah seviyesinde azalmayla karşı karşıya kalacaktır (Lee ve Chang, 2008).

Gelişmekte olan ülkeler bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Enerjiye bağımlı ve kırılgan bir ekonomik yapıya sahip bu ülkeler enerji piyasasındaki dalgalanmalara daha savunmasız haldedirler. Dolayısıyla kullanımını daha verimli hale getirmek bu ülkelerin üretim seviyelerini korumalarına ve piyasa koşuları ile rekabet etmelerine olanak sağlayacaktır. Bundan dolayı ülkeler kalkınma planlarında enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gibi konulara günümüzde çok daha fazla yer vermektedirler.

Enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bir ülkenin enerji yoğunluğu düzeyi, ekonomik üretim yapısı, sanayi büyüklüğü, kapasite kullanım oranları, toplumun tüketim alışkanlıkları, nüfus, teknolojik gelişmeler gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Enerji Bakanlığı, 2020).

Enerji yoğunluğu da tam bu alanda karşımıza çıkmaktadır. Enerji yoğunluğu, ayrıştırma sürecinin başarısını ölçmek ve ülkeler arası karşılaştırmalar yapmak için kullanılmaktadır. Enerji yoğunluğu, basit tabirle, bir birim ekonomik çıktı yaratmak için ne kadar enerji kullanıldığını göstermektedir. Bu nedenle, enerji yoğunluğunun analizi, bir ülkenin sürdürülebilir kalkınma patikasını, teknolojik gelişim düzeyini ve uyguladığı enerji politikalarının etkinliğini anlamak için merkezi bir öneme sahiptir.

Makroekonomik düzeyde enerji yoğunluğu, bir ülkenin veya sektörün nihai enerji tüketiminin gayri safi yurtiçi hasılasına (GSYİH) oranı olarak tanımlanır. Daha düşük enerji yoğunluğu, daha az enerji girdisiyle daha yüksek verimlilik anlamına gelir ve enerjinin daha verimli kullanıldığını gösterir (Şenalp, 2021).

EI=Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) / Toplam Enerji Tüketimi

Enerji yoğunluğunu hesaplamak adına kullanılan ölçü birimleri, uluslararası karşılaştırmalarda standardizasyonun sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Enerji tüketimi genellikle ton petrol eşdeğeri (TOE) veya joule (MJ, GJ) cinsinden ifade edilir. Buna karşılık, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) ulusal para birimleri, ABD doları veya avro cinsinden raporlanır. Ülkeler arası karşılaştırmaların güvenilirliğini artırmak için GSYİH rakamlarının iki önemli şekilde düzeltilmesi gerekir: ilk olarak, enflasyonun etkilerini ortadan kaldırmak için sabit fiyatlar kullanılması. İkinci olarak, ülkeler arasındaki fiyat düzeyleri ve döviz kuru dalgalanmalarını hesaba katmak için Satın Alma Gücü Paritesi (PPP) düzeltmeleri uygulanmasıdır (IEA, 2022).

Dolayısıyla, enerji yoğunluğu değerindeki artış, enerji verimliliğinin azaldığının bir göstergesidir. Bu nedenle, aynı zaman aralığında aynı çıktıyı üreten iki ülke arasında, daha fazla enerji kullanan ülke daha yüksek enerji yoğunluğu seviyesine sahip olacaktır. Bu anlamda, özellikle dış enerjiye bağımlı ülkeler için, aynı üretim düzeyine ulaşmak için daha az enerji tüketmek, enerji üretim ve tüketim maliyetlerini düşürmenin yanı sıra dış şoklara karşı kırılganlığı azaltmak gibi çeşitli faydalar sağlar (Aydın ve Esen, 2018).

Genelende enerji yoğunluğu enerji tasarrufu ile karıştırılıyor olsa da aralarında önemli farklar bulunmaktadır. Enerji verimliliği, belirli bir teknolojik süreç veya cihazın performansı (örneğin, bir motorun çıktı/girdi oranı) olarak tanımlanır. Buna karşılık, enerji yoğunluğu sadece teknolojik verimlilikten değil, aynı zamanda bir dizi diğer yapısal ve bağlamsal faktörlerden de etkilenir (Ang, 2006).

Bu faktörler arasında ülkenin ekonomik yapısı önemli bir yer kapsamaktadır. Ekonomik yapısı enerji yoğun demir çelik ve çimento gibi sektörlere dayalı olan ülkeler, Ekonomik yapısı hizmet, finans ve yüksek teknoloji gibi nispeten daha az enerji harcayan sektörlere dayalı olan ülkelere göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olacaktır. Aynı

şekilde bir ülke sanayi yoğun bir ekonomik yapıdan hizmet yoğun bir yapıya geçiş yaparsa enerji yoğunluğunda bir azalma yaşayabilir (Metcalf, 2008).

Bir diğer faktör de teknolojik gelişmelerin beraberinde daha verimli bir üretim sistemi getirmeleridir. Daha verimli teknolojilerin (örneğin, gelişmiş kazanlar, motorlar veya fırınlar) uygulanması, daha az enerji girdisiyle tutarlı bir üretim seviyesine ulaşılmasını sağlar. Bunun yanında enerji kaynağı olarak kullanılan maddelerin de dikkatli bir şekilde incelenip daha yüksek verimli kaynaklara yönelinmesidir. Düşük verimli kömür yakıtlı elektrik santrallerinden yüksek verimli kombine çevrim doğal gaz santrallerine geçiş veya hidrojen, nükleer veya rüzgâr gibi fosil olmayan kaynaklara geçişin, birincil enerji kayıplarını azalttığı ve dolayısıyla toplam yoğunluğunu düşürdüğü kanıtlanmıştır (IPCC, 2011).

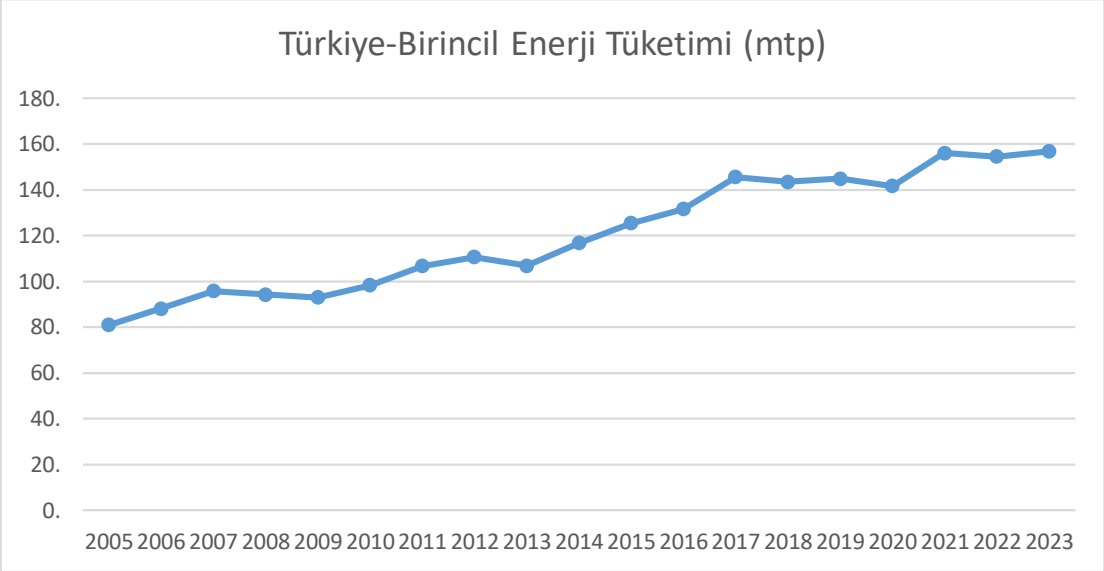
Sonuç olarak, enerji fiyatları ve politika önlemlerinin tüketim davranışları ve verimlilik yatırımları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır. Yüksek enerji fiyatları hem tüketicileri hem de üreticileri kullanımı azaltmaya teşvik ederken, minimum enerji performans standartları (MEPS), etiketleme programları ve verimlilik iyileştirmeleri için sübvansiyonlar gibi hükümet müdahaleleri, enerji yoğunluğunun azaltılmasına doğrudan katkıda bulunmaktadır.

3. TÜRKİYE EKONOMİSİ, ENERJİ VE SANAYİ SEKTÖRLERİNİN ROLÜ

Her ekonomide olduğu gibi, Türkiye ekonomisinde de enerji üretimden başlayarak hayatın her alanı için elzem bir kaynaktır. Ancak Türkiye'nin özelikle fosil yakıtlar gibi birincil enerji kaynakları konusunda dışa bağımlı bir ülke olması ülkenin

enerji piyasasında yaşanılan dalgalanmalar ve jeopolitik riskeler karşısında çok daha duyarlı bir konuma getirmektedir. Bu bağlamda Türkiye ekonomisini ve genel dinamiklerini daha doğru yorumlamak, Türkiye'nin enerji ekonomisini anlamaktan geçmektedir (Aydoğan ve Vardar, 2020).

Şekil 2. Türkiye'nin Birincil Enerji Tüketimi (mtp)



Kaynak: TÜİK, 2023. (https://data.tuik.gov.tr)

Türkiye'nin genel enerji tüketim grafiğine baktığımızda sürekli bir artış trendinde olduğunu görülmektedir. 2005 yılında 80 Mtep olan toplam enerji harcaması 2023 yılında 160 Mtep seviyelerine ulaşmış ve iki katına çıkmıştır.

Büyüyen sanayi sektörü, artan nüfus ve kentleşme gibi faktörler Türkiye'nin enerji harcaması üzerinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Var olan enerji kaynaklarının, enerji talebini karşılamakta yetersiz kalması Türkiye'yi enerji de dışa

bağımlı bir ülke konumuna getirmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verileri, Türkiye'nin toplam enerji arzındaki dışa bağımlılık oranının %70'ler seviyesinde olduğunu göstermektedir. Bu yüksek bağımlılık, enerji faturalarının milli gelir içinde önemli bir paya sahip olmasına neden olmakta ve cari işlemler açığının temel yapısal nedenlerinden birini oluşturmaktadır (Çetin ve Seker, 2014).

Enerjide dışa bağımlı bir ülkenin ithalat faturasını küresel emtia fiyatları ve döviz kurlarındaki dalgalanmalar nedeniyle sürekli olarak artış göstererek ticaret açığı yaratıp enflasyonist bir ortam oluşturacaktır. Bu durum, enerji arzı güvenliğini öncelikli bir politika haline getirir. Tedarikçi ülkelere olan ilişkilerin devam etmesi ve geçiş yoları üzerindeki jeopolitik riskler, güvenilir ve uygun fiyatlı enerji arzı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle Türkiye, enerji kaynaklarını ve tedarik güzergâhlarını çeşitlendirmek için proaktif politikalar uygulamalıdır (Nas, 2019).

Tablo 1. Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu ve Dışa Bağımlılık Oranlarının Avrupa Ülkeleriyle Kıyaslanması

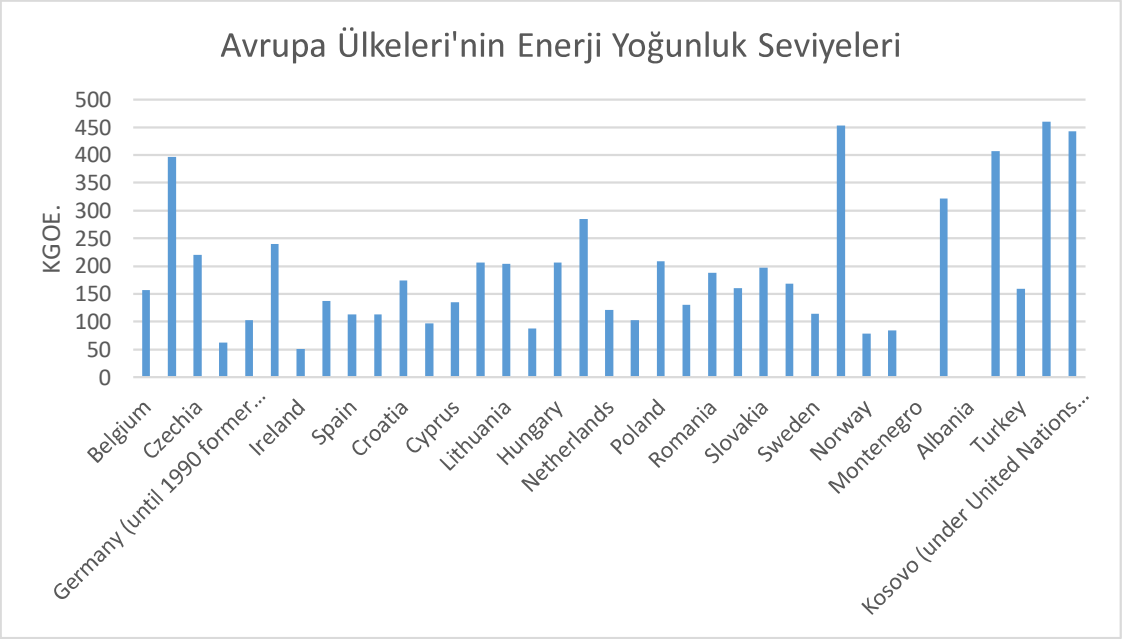
Ülke	Enerjide Dışa Bağımlılık Oranı	Enerji Yoğunluğu
Türkiye	71.7	0.320
Almanya	69.77	0.150
Fransa	47.15	0.130
UK	44.3	0.140
İspanya	77.08	0.180
İtalya	79.82	0.200

Kaynak: Eurostat (2024); IEA (2024); World Bank (2024).

Tablo 1'de Türkiye'nin enerji yoğunluğu ve enerjide dışa bağımlılık oranlarının Avrupa ülkeleri ile kıyaslanmasına yer verilmiştir. Türkiye'ye baktığımızda enerjide dışa bağımlılık açısından Fransa ve Birleşik Krallığın üzerinde olsa da Almanya ile benzer bir oran yakalandığı görülmektedir. Öte yandan İspanya ve İtalya gibi Akdeniz ülkelerinden daha düşük bir bağımlılık oranına sahip olduğunu görülmektedir. Ancak burada esas

önemli olan nokta enerji yoğunluğu verilerinde karşımıza çıkmaktadır. Bir birim çıktı için harcanan enerji miktarı olarak tanımlanan enerji yoğunluğu yüksek olması verimsiz bir enerji kullanımının varlığını göstermektedir. Dolayısıyla enerji fiyatlarında ve uluslararası krizler karşısında ekonominin savunmasız olduğu ifade edilebilir. Örnek olarak neredeyse benzer enerjide dışa bağımlılık seviyesinde olan Almanya'nın enerji yoğunluk seviyesi Türkiye'nin enerji yoğunluğundan çok daha düşük olmasına rağmen Ukrayna Rusya savaşı sırasında Alman ekonomisinin yasadığı problemler ortada iken Türkiye açısından bu durumun önemi daha da gün yüzüne çıkmaktadır.

Şekil 3. Avrupa Ülkelerinin Enerji Yoğunluk Seviyeleri

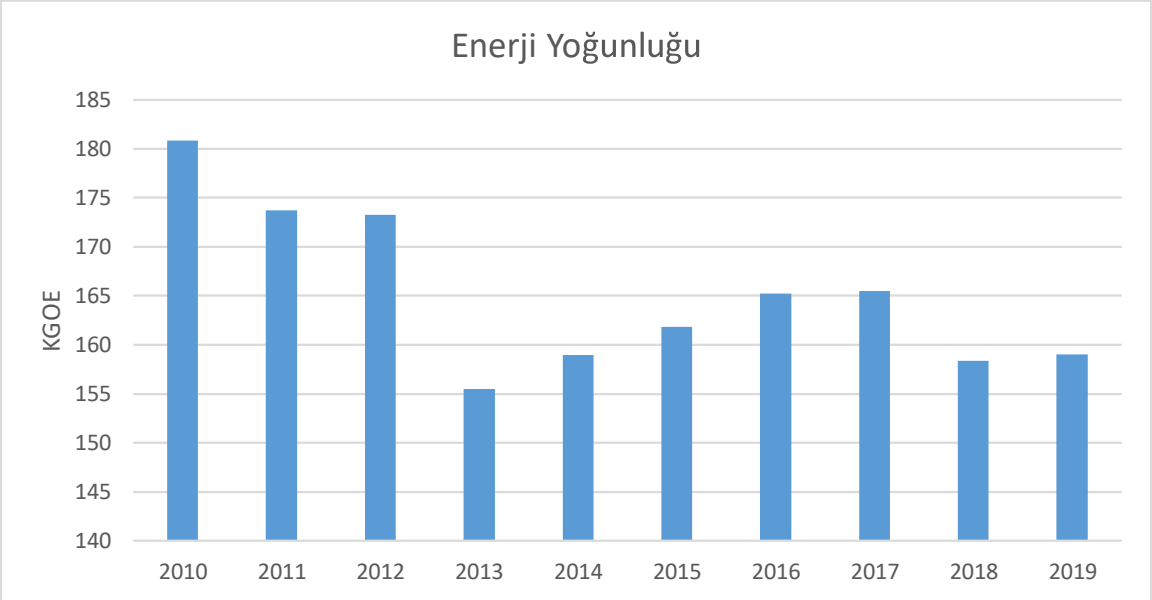


Kaynak: Eurostat Data, 2021. (https://ec.europa.eu/eurostat/data/database)

Şekil 3'te Avrupa ülkelerinin enerji yoğunluk seviyelerini görülmektedir. Burada göze çarpan en önemli nokta gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler arasında var olan

yoğunluğu farklarıdır. Gelişmiş ülkelerin daha verimli enerji kullandıklarını görülmektedir. Bu durum genellikle gelişmiş ülkelerin üretim süreçlerinin ileri teknolojiye dayalı olmasından ileri gelmektedir. Ayrıca enerji verimliliğini hedefleyen çevre ve verimlilik politikalarının daha kararlı ve sıkı bir biçimde uygulanması gelişmiş ülkelerin farkını ortaya koyan unsurların başındadır. Diğer yandan gelişmekte olan ülkeler kalkınmalarını hızlandırmak adına enerji yoğun sanayi sektörlerine yönelmekte ve zayıf çevre ve enerji verimliliği politikaları ile gelişmiş ülkelerde var olan sıkı politikalar ve düzenlemelerden kaçan yatırımcıları ülkelerine çekmektedirler.

Şekil 4. Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu 2010-2019

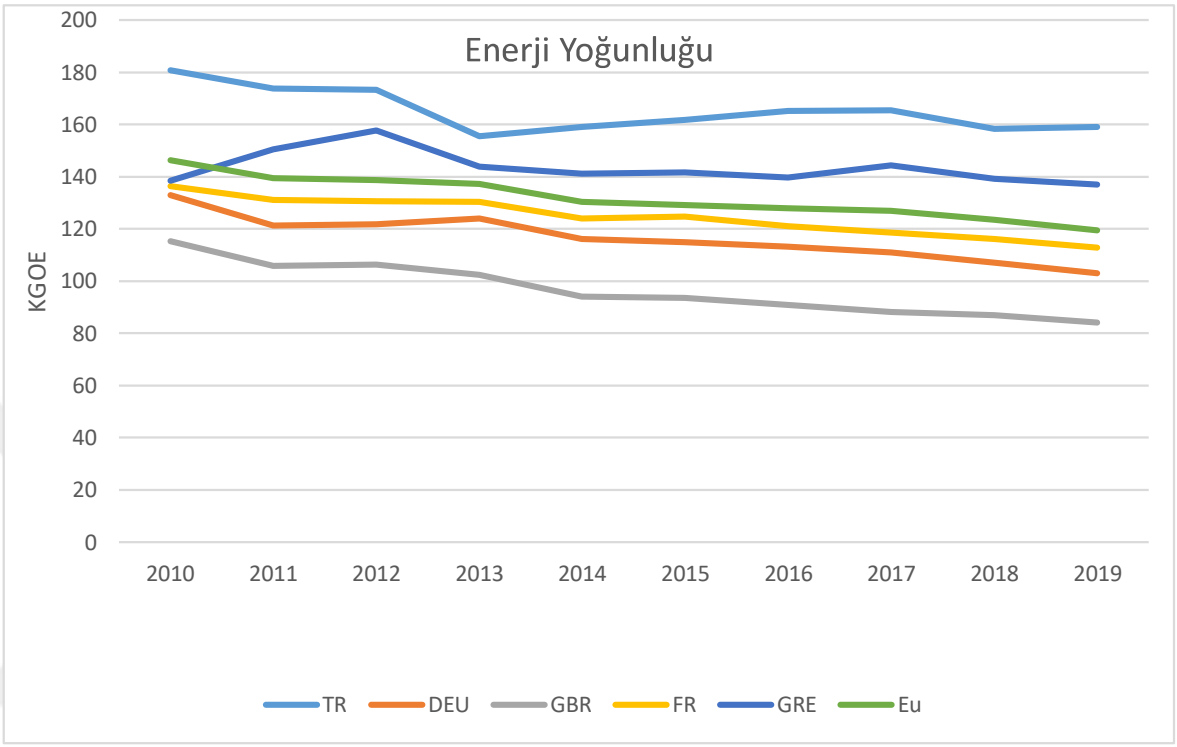


Kaynak: Eurostat Data, 2021. (https://ec.europa.eu/eurostat/data/database)

Şekil 4'te Türkiye'nin 2010-2019 dönemleri arasında enerji yoğunluğu verileri yer almaktadır. Verilere göre Türkiye'nin enerji yoğunluğu seviyesi düşüş eğiliminde olup dönemsel yükselmeler gösterdiği görülmektedir. 2013 yılında kayda değer bir azalışın

ardından 2017 yılına kadar nispeten bir artış gözlemlenmektedir. 2017 yılından sonra da enerji yoğunluğunda tekrardan bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Bu durum enerji verimliliği politika ve önlemlerinin özelikle 2010 yılı ile etki etmeye başladığı ve 2013 yılında en düşük seviyeye gelerek önemli bir ilerleme kaydedildiği görülmektedir. Ancak 2017 ile Türkiye'de inşaat, ulaştırma ve ağır sanayi gibi enerjiye yoğun biçimde ihtiyaç duyan sektörlerin hızla gelişmesi enerji yoğunluğu üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmuştur. Ayrıca enerjide dışa bağımlılık oranı yüksek bir ülke olarak Türkiye küresel enerji fiyat artışlarından çok fazla etkilendiği daha net bir şekilde görülmektedir. Son olarak bu dönemde uygulanan politikaların sınırlı kalması, yeterince uygulamaması ve istenilen sonucu vermemesinin de 2013-2017 dönemindeki artışın nedenleri arasında olduğu söylenebilir. Dolayısıyla Türkiye enerji verimliliği konusunda her ne kadar iyi bir yol katetmiş olsa da istenilen seviyeye gelinmemesinde dış etkenlerin payının yanı sıra uygulanan politikaların yetersizliği ve uygulanabilirlik sorunlarının olduğu görülmektedir.

Şekil 5. Türkiye, Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, Yunanistan ve Avrupa Birliği; Enerji yoğunluğu

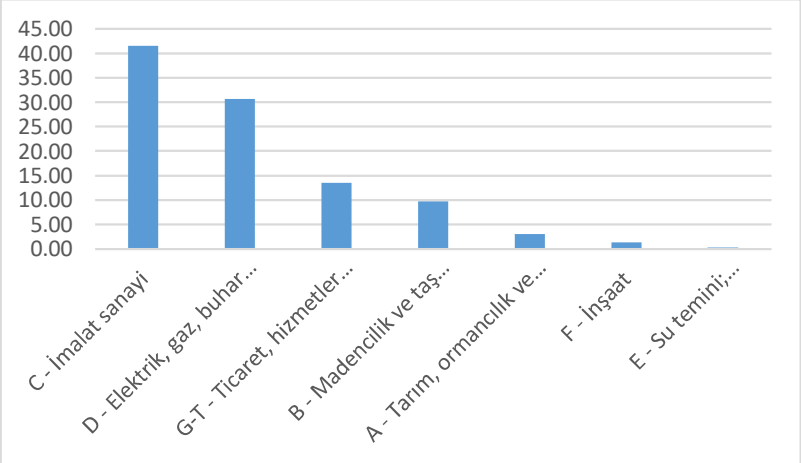


Kaynak: Eurostat Data, 2021. (https://ec.europa.eu/eurostat/data/database)

Türkiye enerji yoğunluğu konusunda gelişim kaydetmesine rağmen istenilen seviyede olmadığı şekil 5'te daha net olarak görülmektedir. Şekilde Türkiye'nin enerji yoğunluğu seviyesi Almanya, Büyük Britanya, Fransa, Yunanistan ve Avrupa Birliği verileri ile kıyaslaması görülmektedir. Burada Türkiye'nin enerji yoğunluk seviyesi Avrupa ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir. Özellikle yüksek dışa bağımlı enerji yapısı ile birleştiğinde, ekonomik istikrar açısından ek bir risk oluşturmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'nin yüksek enerji yoğunluğu ve dışa bağımlı enerji yapısı, ekonomik sürdürülebilirlik ve rekabet gücü açısından önemli bir kırılganlık yaratmaktadır.

Bu durumun önüne geçmek adına enerji verimliliği politikalarının daha sağlam ayaklar üzerine kurulması gerekmektedir. Bunun için Türkiye ekonomisinin yapısına bakarak enerji politikalarını genelleştirilmiş değil spesifik bir şekilde ve uygulanabilirlik bakımından sağlam bir şekilde adım adım planlamak gerekmektedir.

Şekil 6. Toplam enerji kullanımının ekonomik faaliyetlere dağılımı (2023)



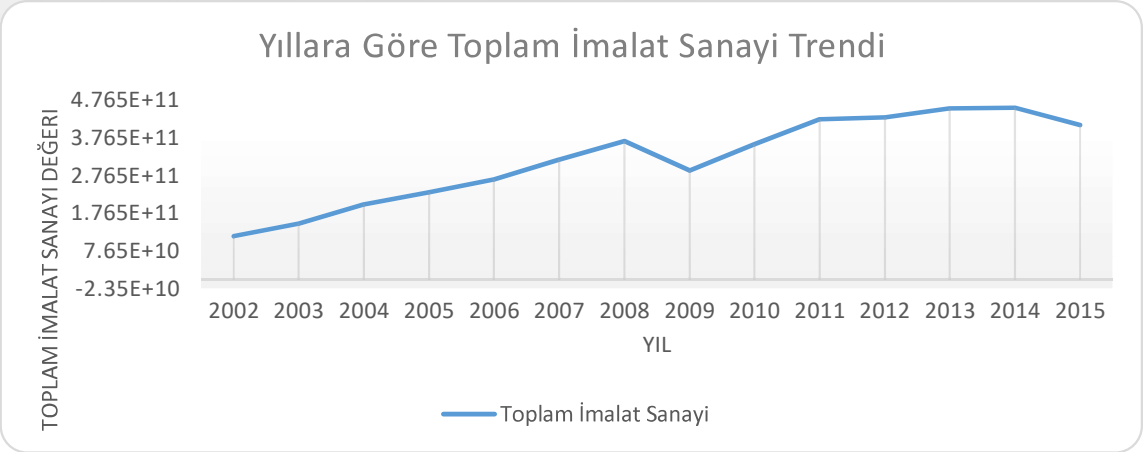
Kaynak: TÜİK, 2023. (https://data.tuik.gov.tr)

Şekilden de net bir şekilde görüldüğü üzere Türkiye ekonomisinde en fazla enerji harcayan sektör imalat sanayi sektördür. İmalat sanayi ülke ekonomisinin itici gücü olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Öte yandan enerji yoğun sektörlerin imalat sanayi içindeki payları da oldukça yüksektir. Bu durum özellikle Türkiye gibi nerdeyse %70 oranında enerjide dışa bağımlı bir ülke için çok büyük risk oluşturmakta, dış şoklara ve enerji fiyat dalgalanmalarına karşı ekonomiyi savunmasız bırakmaktadır. Bu nedenle enerjiyi verimli kullanmak ve enerji yoğunluğunu azaltmak adına İmalat sanayinin yapısına bakarak enerji yoğunluğunu etkileyen faktörleri belirleyip bu bağlamda politika ve programlar uygulamak Türkiye açısından çok önemlidir.

3.1. Türkiye İmalat Sektörü

Ekonominin lokomotifi olarak adlandırılan imalat sanayi, ekonomik büyümeden, ihracata, istihdamdan teknolojik gelişime ekonomin her alanına katkı sağlamaktadır. Osmanlı'nın son dönemleri ile başlayan sanayileşme süreci özellikle Cumhuriyet ile hızla gelişmeye başlamış ve Türkiye ekonomisinin temel taşlarından biri haline gelmiştir (Akkemik ve Göksal, 2021).

Şekil 7. Yıllara Göre İmalat Sanayi Trendi (2003-2015)



Kaynak: TÜİK, YSHİ mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları

Ancak özellikle günümüzde imalat sanayinin GSYİH içindeki payı düşmeye başlamış ve sektör bir takım yapısal olumsuzluklar ile karşı karşıya kalmaktadır. Üretim de ithal ara mallara olan yüksek bağımlık, teknolojik yapının yüksek teknolojiye doğru kaymaması ve en önemlisi de enerjide dışa bağımlılıktan kaynaklanan maliyet artışları sektörün sürdürülebilir geleceğini tehdit etmektedir (Tay, 2018). Bu yapı, döviz kurundaki dalgalanmalara karşı tüm ekonomiyi aşırı derecede kırılgan hale getirmekte ve maliyet artışları yoluyla ekonomik büyümeyi doğrudan negatif etkilemektedir (Akkemik ve Göksal, 2021).

Tablo 2. İmalat Sanayi Sektörü (NACE Rev. 2) Kısaltmaları

NACE 2 Kodu	Sektör Adı
C.10	Gıda ürünlerinin imalatı
C.11	İçeceklerin imalatı
C.12	Tütün ürünleri imalatı
C.13	Tekstil ürünlerinin imalatı
C.14	Giyim eşyalarının imalatı
C.15	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı
C.16	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç); saz, saman vb. örgü malzemelerinden ürünlerin imalatı
C.17	Kağıt ve kağıt ürünlerinin imalatı
C.18	Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması
C.19	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı
C.20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı

C.21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı
C.22	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı
C.23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı
C.24	Ana metal sanayi
C.25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)
C.26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı
C.27	Elektrikli teçhizat imalatı
C.28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
C.29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
C.30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı
C.31	Mobilya imalatı
C.32	Diğer imalatlar
C.33	Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı

Kaynak: TÜİK, 2022. (https://data.tuik.gov.tr)

Tablo 2'de Avrupa Birliği'nde Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması (NACE Rev. 2) temel alınarak Türkiye'nin imalat sanayi yapısını sektörel boyuta sıralanmaktadır. Bu sınıflandırma kapsamında imalat sanayi "C" ile kodlanmaktadır. Tabloda yer alan iki haneli kodlar, imalat sanayinin ana faaliyet alanlarını temsil eden en üst düzeydeki kategorilerdir. Bu yapı, gıda ürünleri imalatından başlayarak yüksek teknoloji gerektiren bilgisayar ve elektronik ürünlerin imalatına kadar uzanan geniş yelpazeyi ifade etmektedir. Her bir ana sektör, kendi içinde daha spesifik faaliyetleri tanımlayan üç ve dört haneli alt kodlarla daha homojen gruplara ayrıştırılmaktadır.

3.2. Türkiye İmalat Sanayinde Enerji

Enerji ithalatının mali etkileri, küresel emtia fiyatları ve döviz kurlarındaki dalgalanmalarla ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Petrol ve doğal gaz fiyatlarında ani bir artış, Türkiye'nin ithalat faturasını hızla artırarak ticaret açığını genişletir ve enflasyonist baskılara yol açar. Bu durum, enerji arz güvenliğini bir politika önceliği haline getirir. Tedarikçi ülkelere olan bağımlılığın devam etmesi ve transit güzergâhlarındaki jeopolitik dinamiklerin doğasında var olan istikrarsızlık, enerji arzının kesintisiz ve uygun fiyatlarla sağlanmasında önemli zorlukların ortaya çıkması ihtimalini artırmaktadır. Bu nedenle Türkiye, enerji kaynaklarını ve güzergâhlarını çeşitlendirmek için proaktif politikalar uygulamaktadır.

Bu sorunu çözmek için, enerji yoğunluğunu azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak, dolayısıyla ithal enerjiye bağımlılığı azaltmak amacıyla uzun vadeli stratejiler geliştirilmiştir. Bu enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak, ticaret açığını azaltmak, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak, enerji güvenliğini artırmak, sera gazı emisyonlarını

azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek için hayati önem taşımaktadır (Şenalp, 2021).

TÜİK tarafından yayınlanan Sanayi Sektörü Nihai Enerji Tüketim Araştırması sonuçları 2023 yılında en fazla enerji tüketimi gerçekleşen sektörün sanayi sektörü olduğu belirtilmiştir. Toplam nihai enerji tüketimi 1 milyon 706 bin 480 terajul olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2024).

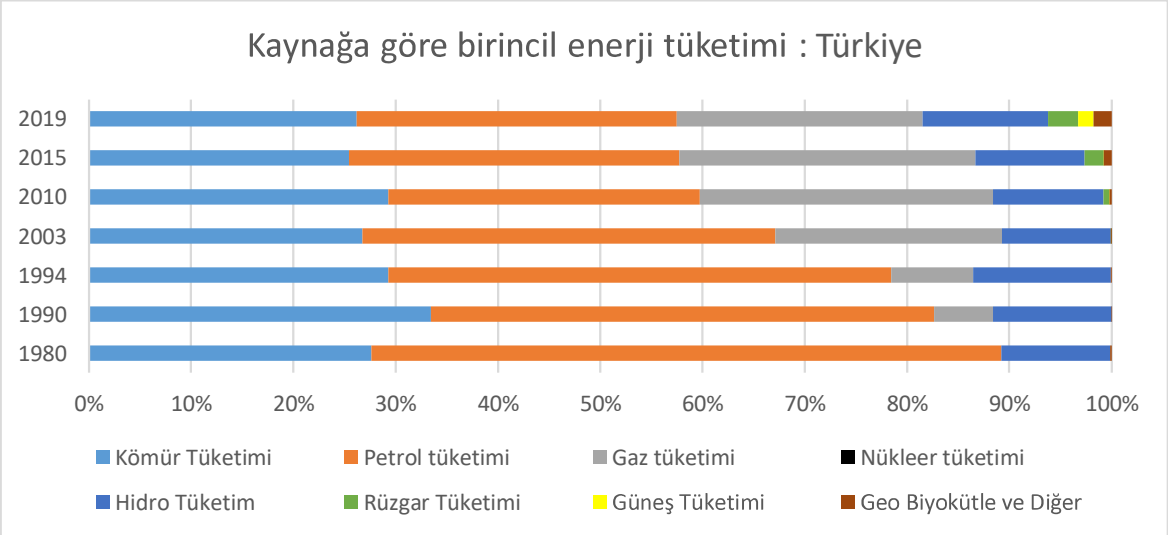
Tablo 3. Sektörlere Göre Toplan Enerji Tüketimi (Bin TEP) 1990-2021

Yıllar	Çevrim ve Enerji Sektörü	Sanayi	Ulaştırma	Mesken ve Hizmetler	Tarım ve Hayvancılık	Enerji Dışı Tüketim
1990	10.228	13.641	8.723	15.356	1.956	2.543
1995	12.442	15.986	11.077	17.514	2.556	3.087
2000	17.834	22.876	12.007	19.557	3.073	3.455
2005	18.347	26.41	13.849	22.285	3.359	4.089
2010	26.048	26.077	16.314	27.762	3.736	5.314
2015	29.672	32.157	24.936	32.329	3.932	5.652
2016	31.655	33.254	26.812	33.222	4.056	6.989
2017	33.522	35.329	28.425	36.013	4.273	7.372
2018	34.517	36.277	28.452	33.074	4.381	6.296
2019	33,56	34,3	27,69	35,61	4,71	7,08
2020	35,47	36,26	26,97	37,23	4,98	7,58
2021	35.573	41.614	30.562	38.121	5.129	7.717

Kaynak: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022. (https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800)

Tablo 3'te 1990-2021 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketimi verilerini sektör ayrımı ile verilmektedir. 2021 yılında toplam enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında, en yüksek tüketimin 26,1% ile sanayi sektöründe ve 23,9% ile konut ve hizmetler sektöründe gerçekleştiği görülmektedir. Bunu 22,3% ile çevrim ve elektrik, 19,2% ile ulaştırma, 4,8% ile enerji dışı ve 3,2% ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmektedir.

Şekil 8. Kaynağa Göre Birincil Enerji Tüketimi: Türkiye 1980-2019



Kaynak: Our World in Data, 2021. (https://ourworldindata.org)

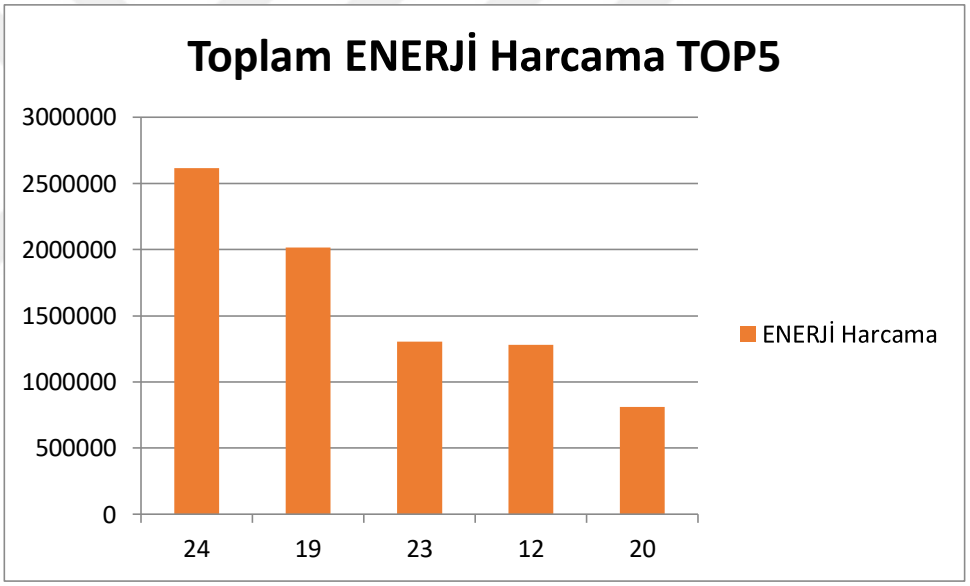
Şekil 8'de ise Türkiye'de tüketilen birincil enerji verilerini kaynağına göre kategorize edilmiş bir şekilde görülmektedir.

1980 yılına ait veriler incelendiğinde, kömür tüketiminin zirveye ulaştığı ve petrol tüketiminin onu yakından takip ettiği görülmektedir. Verilerin analizi, kömür tüketiminin nispeten sabit kalırken, doğal gaz tüketiminin birincil enerji kaynağı olarak

kömürü geçmeye başladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, 2010'lu yıllardan itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış gözlemlenmektedir.

Sanayi sektörü, Türkiye'de en fazla enerji tüketen sektördür. Sanayi sektörünün tükettiği enerji, ülkenin genel enerji talebi ve tüketimine doğrudan etki etmektedir. Sanayi sektörünün analizi, sektörün homojen bir yapıya sahip olmadığını, farklı sektörlerin farklı enerji talepleri ve tüketim kalıpları sergilediğini ortaya koymaktadır.

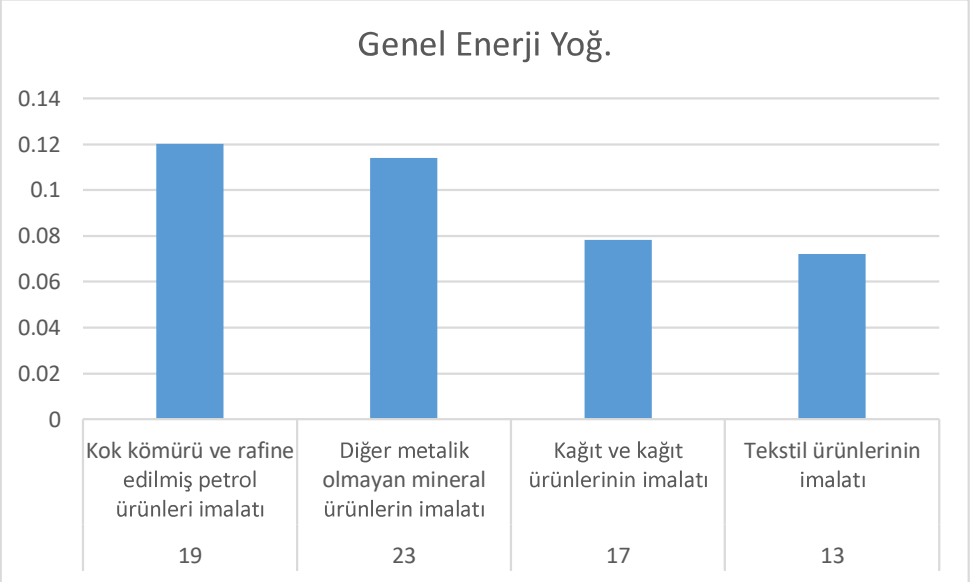
Şekil 9. Toplam Enerji Harcamaları İlk 5 (2003-2015)



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 9'da imalat sanayinde en fazla enerji harcayan ilk 5 alt sektör verilmiştir. Bunlar sırasıyla, metal endüstrisi, kömür ve işlenmemiş petrol ürünleri imalatı, diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, tekstil ürünleri imalatı ve kimyasal ve kimyasal ürün imalatıdır.

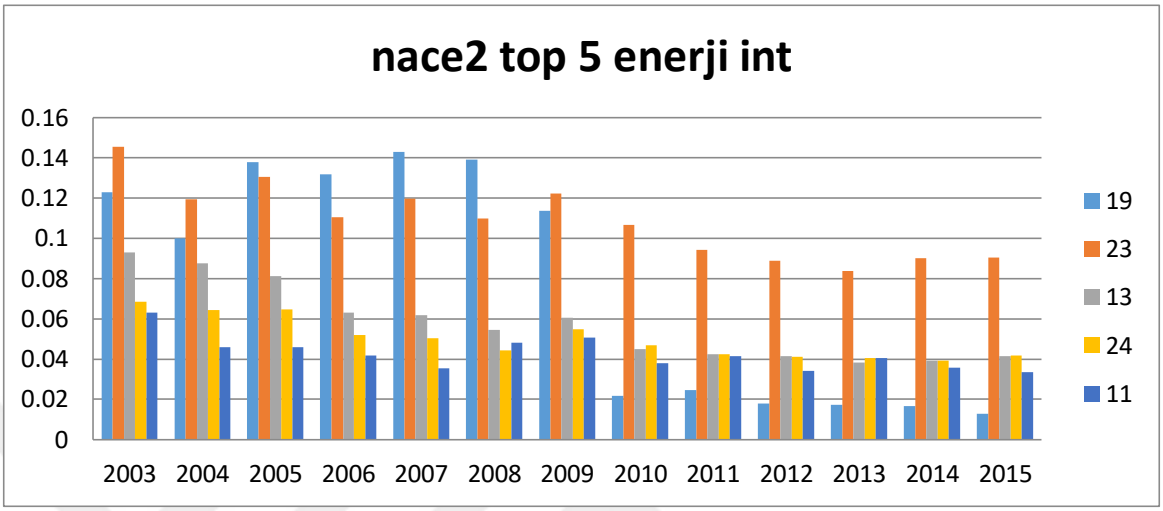
Şekil 10. Türkiye'nin Genel Enerji Yoğunluğu (2003-2015)



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Önceki bölümlerde de bahsi geçtiği üzere imalat sanayi en fazla enerji tüketen sektördür. Dolayısıyla bu denli fazla enerji tüketimi, enerji yoğunluğu kavramının da hayli önemli bir konuma getirmektedir. Çıktı sayısı düşürülmeden daha az enerji kullanımı sanayi sektörünün sürdürülebilir bir büyüme yakalaması için çok önemlidir. Şekilde Kök kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatının en yoğun enerji kullanan alt sektör olduğu görülmektedir. Ardından sırasıyla, diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, kağıt ve kağıt ürünlerinin imalatı ve tekstil ürünlerinin imalatı en yoğun enerji kullanan firmalar arasında olduğu görülmektedir. Şekilde, imalat sanayisindeki toplam enerji talebinin ağırlıklı olarak ağır sanayi ve temel girdi üreten sektörlerde yoğunlaştığını göstermektedir. Ana metal, kimya ve petrol ürünleri gibi sektörlerin üretim süreçlerinin doğası gereği yüksek enerji gereksinimine sahip olması bu durumu açıklamaktadır.

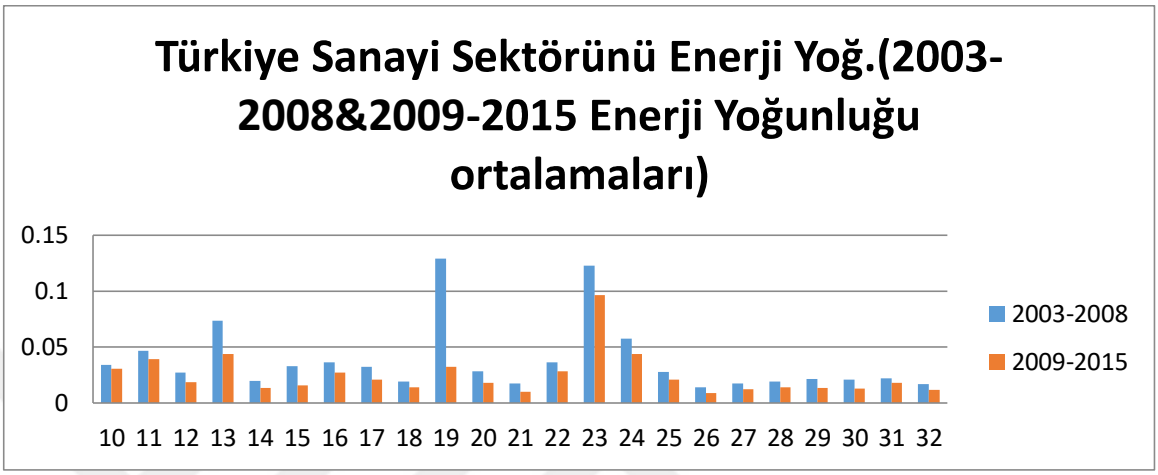
Şekil 11. İmalat Sanayi Sektörü NACE Rev. 2'ye Göre Enerji Yoğunluğunda İlk 5 Sektör



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Sektörel bazda enerji yoğunluğunun yıllık değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Yıllar itibari ile sektörler arası yoğunluk farkı net bir biçimde görülmektedir. Burada diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı ve Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı incelenen dönemin neredeyse tamamında en yüksek enerji yoğunluğuna sahip iki sektör olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla enerji tüketimindeki temel baskının bu alanlardan kaynaklandığını açıkça görülmektedir. Şekilde özellikle Ana metal sanayi" sektörünün yıllar içindeki düşüşü dikkat çekmektedir. Toplam enerji harcamasında birinci sırada yer alan bu sektörün istikrarlı bir şekilde en verimli enerji kullanan sektör olduğu ortaya konmaktadır.

Şekil 12. Türkiye Sanayi Sektörünü Enerji Yoğ. (2003-2008 ve 2009-2015 Enerji Yoğunluğu ortalamaları)



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 12'de imalat sanayi alt sektörlerinin enerji yoğunluğu verileri verilmiştir. Ancak bu şekilde 2007 yılında kabul edilen 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunun etkileri daha iyi anlaşılması adına 2003-2008 ve 2009-2015 olmak üzere iki döneme ayrılarak enerji yoğunluğu seviyeleri incelenmiştir. 2009-2015 döneminde 2003-2008'e kıyasla enerji yoğunluğunu tüm alt sektörlerde istisnasız bir şekilde düşürerek genel bir verimlilik artışı yakalamıştır. Bu iyileşme, en belirgin olarak en yüksek enerji yoğunluğuna sahip Kok Kömürü ve Rafine Petrol ve Diğer Metalik Olmayan Mineral Ürünler gibi sektörlerde görülmüştür. Genele yayılan bu yapısal dönüşüm, Türkiye sanayisinin bu dönem aralıklarında daha az enerjiyle daha fazla üretim yapma kapasitesini artığın ve daha sürdürülebilir bir üretim yapısına geçmeye başladığını göstermektedir.

3.3. İmalat Sanayinde Yabancı yatırımların Enerji Üzerine etkisi

Türk imalat sanayinin finansmanı, teknolojik dönüşümü ve küresel piyasalar ile rekabet edebilmesi bakımından Doğrudan yabancı yatırımlar (DYY) önemli bir rol üstlenmektedir. Tablo 4'te görüldüğü üzere 2003-2023 döneminde Türkiye'ye gelen toplam DYY'lar arasında, imalat sanayi %24,6'lik pay ile finans sektörünün ardından en çok yatırım çeken ikinci sektör konumundadır (Türkiye Yatırım Ofisi, 2024).

Tablo 4. 2003-2023 Türkiye'ye Gelen DYY'lerin Yoğunlaştığı Sektörler

Sektör	Pay (%)
Finans	29.8
İmalat	24.6
Enerji	10
Toptan ve Perakende Ticaret	10
BİT Hizmetleri	8.4
Taşımacılık & Depolama	4.8
İnşaat	3
Diğer	9.4
Toplam	**100**

Kaynak: T.C. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, 2025. (https://www.invest.gov.tr).

Yabancı sermaye tarafından yönetilen ya da yönetim sürecinde yabancı sermayenin de söz sahibi olduğu firmalarda daha kurumsal bir yapının varlığından söz etmek mümkündür. Dolayısıyla literatürde sahiplik yapısının enerji verimliliği performansını olumlu yönde etkilediğine dair çalışmalar yer almaktadır. Buradaki temel nokta, çok uluslu şirketlerin (ÇUŞ) ülkeye yatırım yaptıklarında beraberlerinde sadece

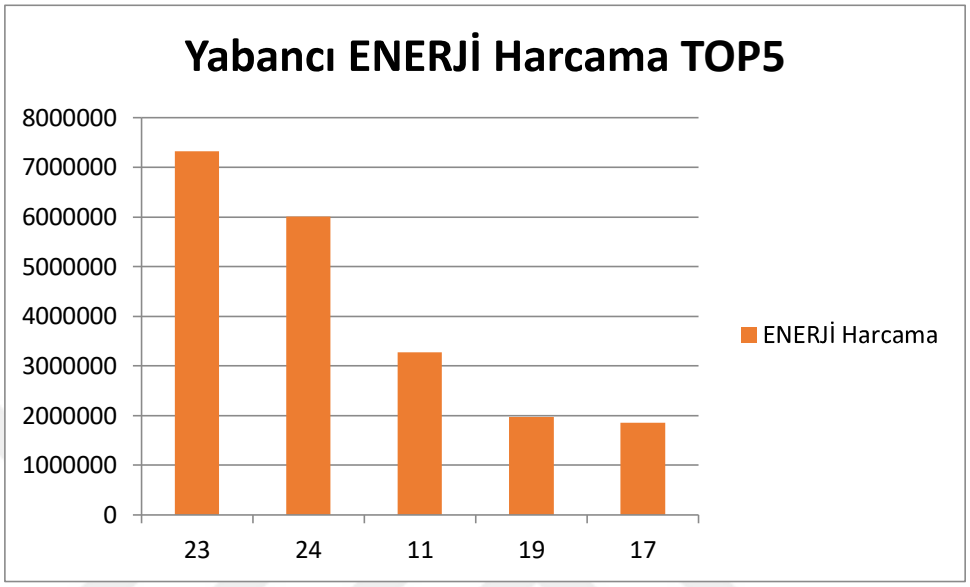
daha gelişmiş üretim ekipmanlarını değil, aynı zamanda enerji tüketimini optimize eden gelişmiş operasyonel yetenekleri ve yönetim uygulamalarını da getirdikleridir.

Özellikle yabancı sermayenin gelişmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere doğru bir akış içinde olduğunu düşünürsek. Bu firmaların çevre düzenlemeleri ve enerji verimliliği politikalarına uyarak küresel rekabetin içinde kalmayı hedeflemeleri bu durumun oluşumunda en önemli pay sahibi unsurların başında gelmektedir. Bu durum, yabancı sermayenin ülkeye yatırım yaparken beraberinde sermaye, teknoloji ve sıkı standartları da getirdiğini göstermektedir (Elliott ve Zhou, 2013).

Bu konu hakkında diğer bir görüş ise yabancı sermayenin yatırımlarını, gelişmiş ülkelerde yer alan sıkı çevre ve enerji düzenlemelerinden kaçmak adına yatırımcı çekmeyi hedefleyen ve bu doğrultuda bu tarz düzenlemeleri gevşek tutan ülkelere doğru kaydırarak maliyetlerini düşürmeyi hedefledikleri yönündedir. Bu görüş literatürde "Kirlilik Cenneti Hipotezi" (Pollution Haven Hypothesis) olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla beklenen teknolojik "yayılma" (spillover) etkisi gerçekleşmez. Aksine, artan üretim ölçeği ve kirletici teknolojilerin kullanımı, ülkedeki toplam enerji yoğunluğunu ve emisyonları artırarak enerji verimliliği üzerinde net bir negatif etki yaratabilir (Smarzynska ve Wei, 2001).

Firmaların sahiplik yapısının enerji yoğunluğu üzerine etkisini daha iyi görebilmek adına TÜİK'ten elde edilen firma bazında mikro veriler kullanılarak yabancı ve yerli firmaların enerji yoğunluğuna olan etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda ortaya çıkan şekiller imalat sanayinde yabancı yoğun ya da yerli yoğun alt sektörlerinin performansları incelenmektedir.

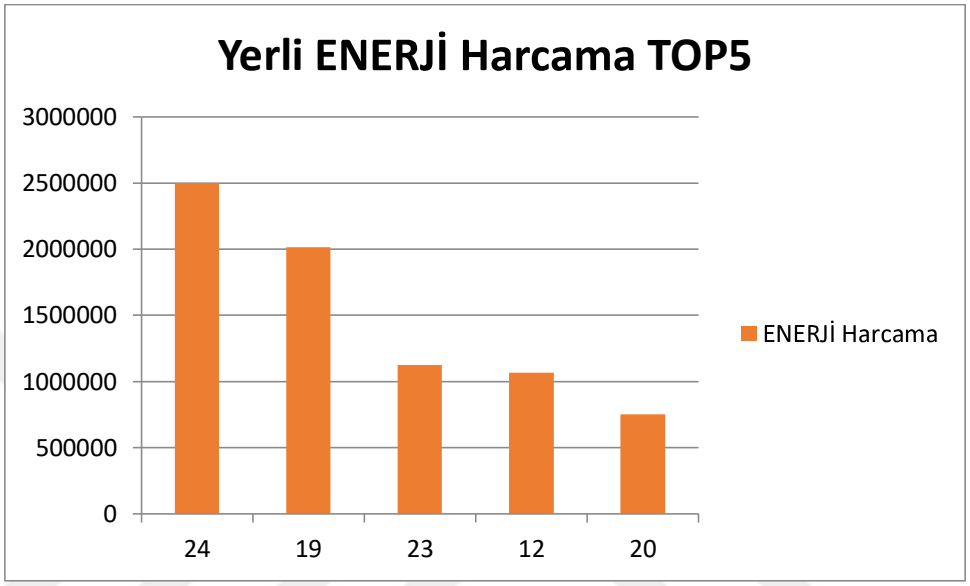
Şekil 13. İmalat Sanayinde Yabancı Firmaların Enerji Harcamaları İlk 5 Sektörü (2003-2015)



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 13'te sadece en çok enerji harcayan sektörleri değil, aynı zamanda yabancı sermayenin Türkiye'nin hangi endüstriyel alanlarında en yoğun ve en büyük ölçekli yatırım yaptığı görülmektedir. Yabancı sermayenin, diğer metalik olmayan mineral ürünler ve Ana metal sanayi gibi ülkenin en temel, en ağır ve en enerji yoğun endüstrilerine yatırım yapması yabancı yatırımcıların Türkiye'yi, özellikle inşaat ve imalat sanayinin temel girdilerini üreten stratejik bir üretim üssü olarak konumlandırdığını ortaya koymaktadır.

Şekil 14. İmalat Sanayinde Yerli Firmaların Enerji Harcamaları İlk 5 Sektörü (2003-2015)

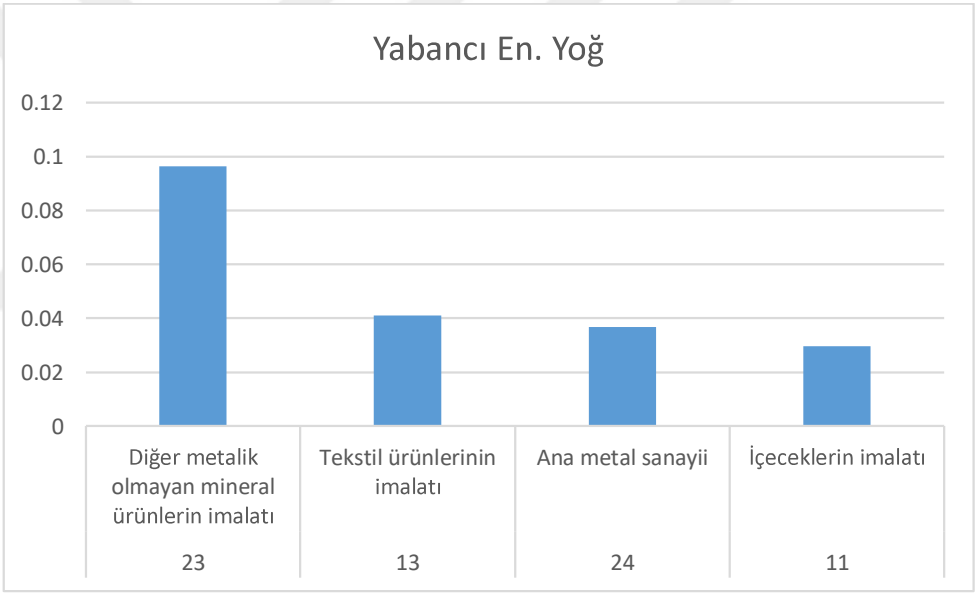


Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 14'te ise, yerli sermayeli firmaların toplam enerji harcamalarına göre ilk beş sektör sıralanmıştır. En yüksek enerji tüketimi, açık ara farkla Ana Metal Sanayi sektöründe gerçekleşmiştir. Bu sektörü, sırasıyla Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı, diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörleri takip etmektedir. Özellikle yerli firmaların bu sektörlerde yoğunlaşması, bu sektörlerin üretim süreçlerinde yüksek sıcaklık gereksinimi, sürekli işlem ve enerjiye dayalı üretim teknikleri nedeniyle enerji talebinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu sektörlerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yatırımların ve politika araçlarının önemini daha da artırmakta aynı zamanda bu sektörleri enerji arzı ve fiyat dalgalanmalarına karşı daha kırılgan bir konuma getirmektedir. Bu bağlamda, yerli sermayeli firmaların daha çok geleneksel sanayi kollarına yatırım yaptığı, üretim yapısının enerjiye olan bağımlılığının oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, literatürde bu

sektörlerin teknolojik dönüşüm, enerji verimliliği ve yeşil enerjiye uyum açısından daha savunmasız olduğu da sıklıkla vurgulanmaktadır (Sorrell ve diğ., 2009). Enerji maliyetlerinin yerli şirketler üzerindeki doğrudan etkisinin kabul edilmesi ve bu sektörlerde enerji verimliliğini teşvik eden politikaların gerekliliğinin altının çizilmesi zorunludur.

Şekil 15. İmalat Sanayinde Yabancı Firmaların Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015)

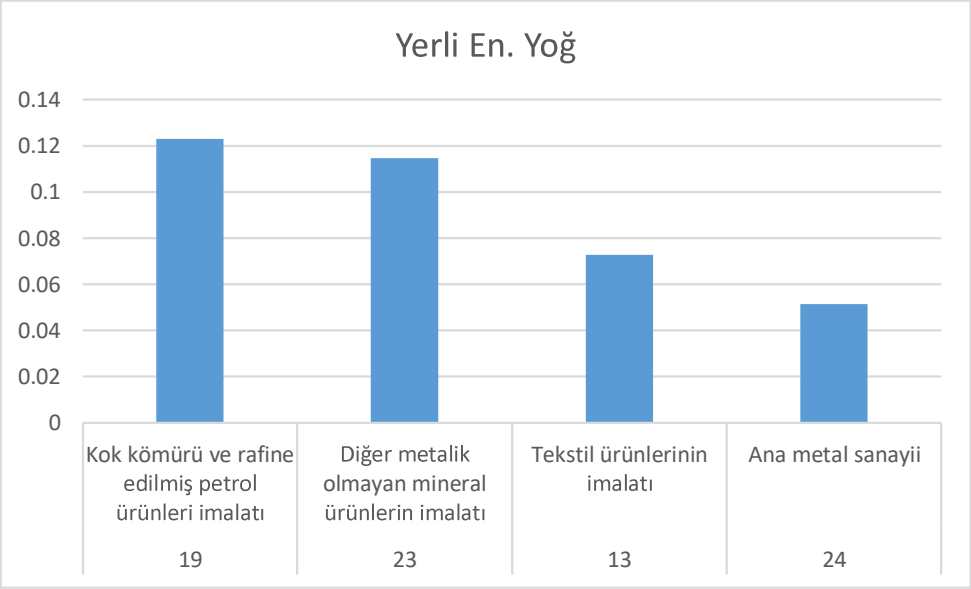


Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 15'te, yabancı sahipli firmaların sektörel enerji yoğunlukları gösterilmiştir. En yüksek yoğunluk diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektöründe tespit edilmiştir. Bunu, Tekstil ürünleri imalatı, Ana metal sanayi ve İçeceklerin imalatı izlemektedir. Burada dikkat çeken en önemli husus, yabancı sermaye yoğun olan firmaların ana metal sanayi enerji harcaması bakımından ikinci sırada yer alırken enerji yoğunluğu bakımından ise görece daha düşük olmasıdır. Burada ana metal sanayi özelinde

yabancı sermayenin varlığı enerji verimliliğini artırdığı görülmektedir. Türkiye'nin özellikle inşaat ve imalat sanayinin temel girdilerini üretmek adına yabancı sermayeyi ülkeye çekmekte başarılı olması bu firmaların beraberinde yenilikçi ve verimli uygulamaları da yanlarında getirdiklerini göstermektedir.

Şekil 16. İmalat Sanayinde Yerli Firmaların Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015)

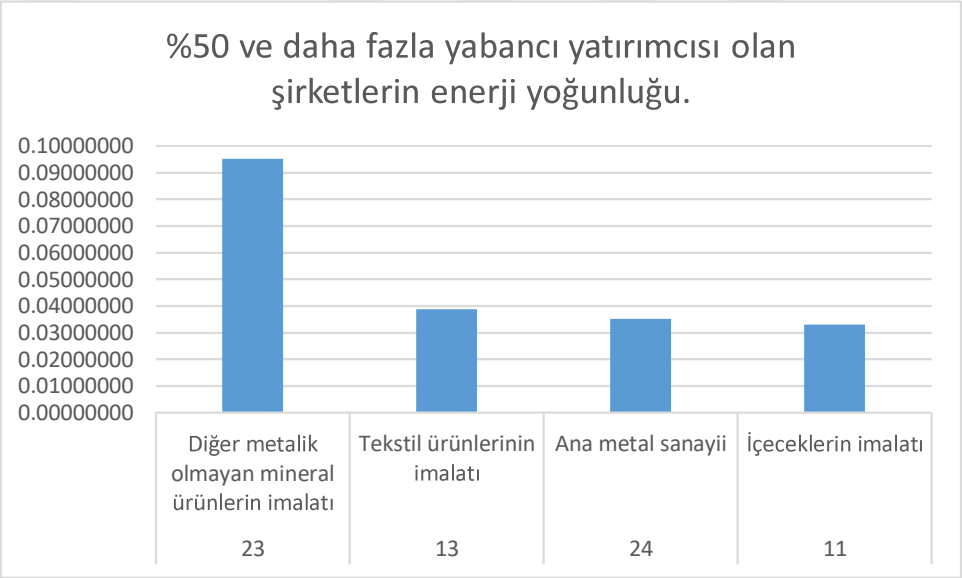


Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Yabancı sermaye içermeyen yüzde yüz yerli sermayeye sahip firmaların en yoğun enerji kullandığı sektörleri Şekil 16'da gösterilmektedir. Burada en yoğun enerji kullanımı olan sektörler sırasıyla, kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı, diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, tekstil ürünleri imalatı ve ana metal sanayidir. Yerli firmalarda en çok enerji harcayan sektör ile enerjiyi en verimsiz kullanan sektörler farklıdır. Örneğin, Ana Metal Sanayi çok büyük olduğu için toplamda en çok enerjiyi harcar, ancak birim üretimde en verimsiz sektör değildir. Tekstil ise daha verimsiz

olmasına rağmen, ölçeği daha küçük olduğu için toplam tüketimde ana metalin gerisinde kalır. Çimento ve petrol ürünleri gibi bazı sektörler ise hem çok büyük hem de verimsiz oldukları için her iki listede de üst sıralardadır. Kısacası, bir sektörün toplam enerji tüketimi, sadece ne kadar verimsiz olduğuna değil, aynı zamanda ne kadar büyük olduğuna da bağlıdır.

Şekil 17. Yüzde 50 ve Daha Fazla Yabancı Yatırımcısı Olan Şirketlerin Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015)

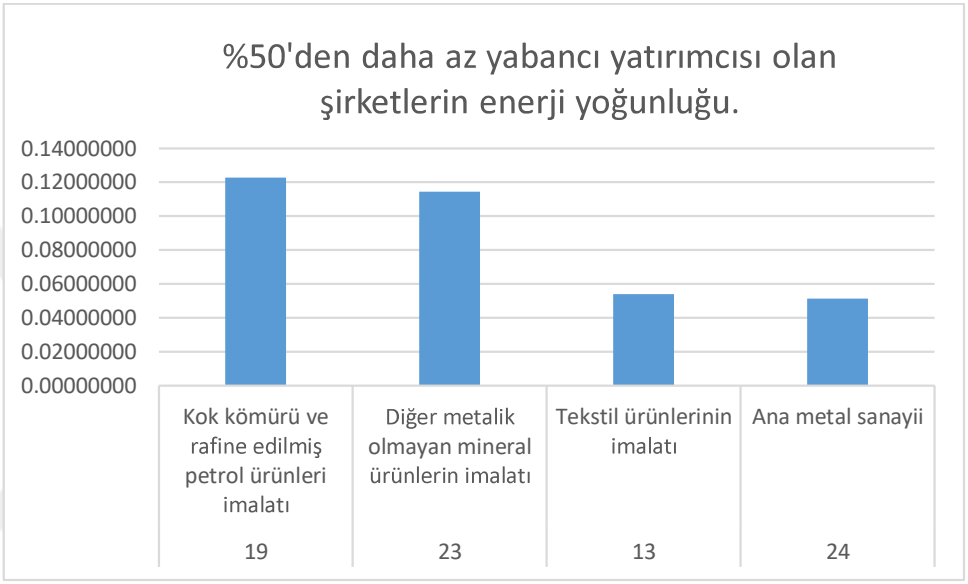


Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 17'de diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörünün yaklaşık 0.095'lik bir değerle, kendi grubu içinde en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu ve diğer sektörlerin tamamının değerin, yerli firmaların aynı sektördeki yoğunluk seviyesinden daha düşük olması, yabancı sermayeli firmaların bu enerji-yoğun alanda dahi daha verimli teknolojiler veya süreçler kullandığına dair önemli bir ipucu vermektedir. Sektörün, sahiplik yapısından bağımsız olarak en yoğun kategori olmaya devam etmesi, üretim sürecinin doğal bir gerekliliği iken, yabancı ortaklı

firmalardaki daha düşük yoğunluk seviyesi, verimlilik potansiyelinin varlığını kanıtlamaktadır.

Şekil 18. Yüzde 50 ve Daha Az Yabancı Yatırımcısı Olan Şirketlerin Enerji Yoğunluğu İlk 4 Sektörü (2003-2015)



Kaynak: TÜİK, Dış Ticaret mikro verileri, yazarın kendi hesaplamaları.

Şekil 18 yerli firmaların imalat sanayi yapısı içinde enerji yoğunluğunun sektörel dağılımını net bir şekilde özetlemektedir. Petrol ürünleri ve metalik olmayan mineraller gibi enerji-yoğun sektörler ile tekstil ve ana metal gibi daha verimli sektörler arasında derin bir fark olduğunu kantitatif olarak göstermektedir. Bu durum, enerji verimliliği politikalarının ve teşviklerinin, en büyük tasarruf potansiyelini barındıran ilk iki sektöre öncelik verilerek tasarlanması gerektiği yönündeki görüşü kuvvetlendirmektedir.

Özetle TÜİK verilerinden elde edilen bulgular, yabancı sermaye sahipliğinin Türkiye imalat sanayisindeki enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini ele almak adına çok önemli bir kaynak sağlamaktadır.

4. LİTERATÜR

Son çeyrek yüzyılda iklim değişikliği ile başlayan ve temel girdilerin azalmasıyla enerji verimliliği ve enerji yoğunluğu literatürde sıkça tartışılan konu haline gelmiştir. Bu konu, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ve enerji açısında dışa bağımlı olan ülkelerde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Literatürde yer alan Türkiye özelindeki çalışmalar genellikle makro veriler kullanılarak gerçekleştirilirken, yabancı çalışmalarda mikro veriler kullanan çalışmalar da mevcuttur. Bu bağlamda, çalışmamız diğer çalışmalardan ayrışarak mikro veri ile gerçekleştirilen ilk çalışma olma niteliğini taşımaktadır.

Bu bölümde, konu ile ilgili literatürde yer edinmiş hem makro hem de mikro çalışmalara da yer verilerek aşağıda sunulmuştur.

Herrerias ve diğ. (2013), Çin'in enerji yoğunluğu ve sahiplik yapısını araştırmıştır. Araştırmanın motivasyonu, Çin'in 2009 yılında ABD'yi geçerek dünya enerji tüketimi sıralamasında birinci sıraya yükselmesi ve dünyanın en çok DYY alan ülkesi olmasıdır. Çalışmada Çin'in ekonomik açıklık alanında yaptığı reformlar dikkate alınarak yabancı yatırımcıların enerji yoğunluğuna etkisi detaylı bir şekilde incelenmektedir. Yapılan ampirik çalışmada devlet ve yabancı yatırım paylarını, bu yatırımların enerji sektörüne ne denli yöneldiği ve genel anlamda enerji yoğunluğunu nasıl etkilediği hesaplanmıştır. Çalışmada enerji yoğunluğu verilerini toplam kullanılan enerjinin GSYİH'ya bölünmesiyle ele alınmakta olup, kömür, petrol, elektrik kaynaklı enerji yoğunlukları da benzer yöntemle ele alınıp enerji yoğunluğunun kaynağına göre incelenmiştir. Ayrıca enerji fiyatları ve ithalatın GSYİH'ya oranı da denkleme eklenmiştir. Ampirik çalışma 1985-2008 dönemlerini kapsamakta ve firma bazında mikro veri setini kullanarak Çin'in 28 eyaletini kapsayan bir panel veri seti çalışması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Analizde panel düzeltmeli standart hatalarla tahmin yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar yabancı yatırımların enerji yoğunluğuna olumlu etki ettiğini

ortaya koymaktadır. Ancak Çin'in bölgeleri arasında var olan yapısal farklılıklar bunun oranını değiştirmektedir. Benzer şekilde, Elliot, Sun ve Chen (2013), DYY'ların Çin'deki enerji yoğunluğuna etkisini araştırmıştır. Bu çalışmanın temeli DYY'lar ile gelen teknolojinin yayılma etkisiyle yerel firmalara yayılacağı ve teknolojik gelişimin ise daha verimli enerji kullanımına neden olacağı yönündedir. Bu bağlamda çalışmada Çin'in 19 eyaletindeki 206 şehrinden alınan ve 2005-2008 yıllarını kapsayan mikro veri seti kullanılmıştır. Çalışma enerji yoğunluğu değişkenini toplam enerji yoğunluğu ve endüstriyel enerji yoğunluğu olmak üzere ayırmaktadır. Bunun en önemli nedeni olarak DYY'ların enerji yoğunluğuna etkisini daha net görebilmek olarak ifade edilmiştir. Sonuçlar, yabancı yatırımların enerji yoğunluğuna etkisinin bölgeden bölgeye değişiklik gösterdiğini ortaya koyarken, diğer yandan, gelir seviyesi ve enerji yoğunluğu arasında ters U şeklinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak çalışma Çin'in batı ve orta kesimlerinin doğu kesimine göre daha az gelişmiş olmasından ötürü büyüme amacında oldukları ve enerji verimliliğine ilişkin düzenlemelerin de buna orantılı olarak daha gevşek olduğu ortaya koymuştur. Doğu kıyısı ise gelişmiş bir ekonomiye ve gelire sahip olduğundan dolayı Çin hükümetinin uyguladığı enerji verimliliği politikalarında daha sıkı uymak durumunda olduğu belirtilmiş. Özetle, gelirin artması enerji verimliliğini azaltmaktadır. Ma ve Yu (2017) ise, Çin sanayisinin iç yapısını özellikle firmaların mülkiyet yapıları ve büyüklüklerinin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Analizde 2005-2010 dönemlerini kapsayan ve 283 şehrin verilerinden oluşan mikro veri seti kullanılarak, iki yönlü sabit etkiler tahmin yöntemine ek olarak, araç değişken yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlar, firma büyüklüğünün ve sahiplik yapısının enerji yoğunluğuna etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Küçük ölçekli firmaların çıktılarındaki bir artışın, toplam enerji yoğunluğunda bir azalmaya neden olduğu, orta ölçekli firmalar için ise bunun tam tersi bir durum olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan, büyük ölçekli ve devlete ait olan firmaların çıktı oranlarının enerji yoğunluğuna anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir.

Herrerias vd. (2013) çalışmalarında yabancı yatırımlara sahip firmaların devlet firmalarından daha verimli enerji kullandığını ortaya koymuş olmasına rağmen bu çalışma

büyük ölçekli devlete bağlı firmaların enerji yoğunluğunu arttırmadığı ortaya koymuştur. Bu bulgunun en önemli sebeplerinden biri de Çin hükümetinin enerji verimliliğini düşürme politikaları ve uyguladığı reformlar olarak gösterilmektedir. Özellikle devlete bağlı firmaların devletin uyguladığı bu politikaları daha sert bir şekilde uyguladıkları da görülmektedir.

Şahinöz (2014), 1974-2011 dönemi için Türkiye'de doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve CO_2 emisyonu arasındaki ilişkinin "Kirlilik Sığınağı Hipotezi"ne göre geçerliliği incelemiştir. Sonuçlar Kirlilik Sığınağı Hipotezini desteklememektedir. Aynı dönemi ele alan Öztürk ve Öz (2016), Türkiye'de gelir, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketiminin karbon emisyonuna etkisini incelenmiştir. Ampirik çalışmada zaman serisi analiz yöntemi kullanılmış ve kullanılan veriler Dünya Bankası veri tabanından alınmıştır. Sonuçlara göre, 1974-2011 dönemleri arasında Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi doğrulanmıştır.

Zheng ve diğ. (2019), Çin şehirlerinde kişi başına karbon emisyonları üzerindeki çeşitli belirleyicilerin etkisini araştırmıştır. Çin'in 289 şehrinden sadece 102'sinde CO_2 emisyonunu hesaplamak için gereken ham veriler bulunduğundan dolayı çalışma sadece bu 102 şehir verilerine odaklanmıştır. Ampirik çalışmada STIRPAT modeli kullanılarak Çin şehirlerindeki değişkenlerin CO_2 emisyonuna etkisi araştırılmıştır. Kullanılan panel veri seti 2002-2012 yıllarını kapsamaktadır. Sonuçlar Çin şehirlerinde CO_2 emisyonlarını belirleyen faktörlerin homojen olmadığını ortaya koyarak CO_2 emisyonu üzerinde farklı belirleyicilerin farklı etkilerinden bahsetmektedir. Ayrıca, GSYİH'nin CO_2 emisyonu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ancak kentleşme, artan otoyol inşaatı nedeniyle kişi başına düşen karbon emisyonları üzerinde azalan bir olumlu etkiye, diğer yandan sanayileşme, kişi başına düşen CO_2 emisyonlarını azaltıcı etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur. Bu sonuç, enerji verimliliği iyileştirmelerinden ve karbon maliyetlerindeki azalmalardan kaynaklandığı öne sürülmüştür. Son olarak nüfus, kişi başına düşen karbon emisyonları üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir. Benzer bakış açısı ancak farklı yöntem kullanan Jiang ve diğ. (2014), mekansal Durbin hata

modelini kullanarak Çin'in 29 bölgesindeki enerji yoğunluğu ve enerji yoğunluğunun belirleyicilerini ele almıştır. Analizde 2003-2011 yılları ele alınmakta ve panel veri analiz yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, enerji yoğunluğu ve gelir düzeyi arasında ters U şeklinde bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur.

Hu ve Wang (2006), Çin'in 29 bölgesini ele alarak 1995-2002 yılları arasındaki enerji verimliliğini araştırmıştır. Çalışma, enerji verimliliğinin arttırılması enerji tüketimini azaltarak ekonomik büyümeye olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Benzer dönemini ele alan Feng ve diğ. (2009) ise, Çin'in enerji yoğunluğu, ekonomik yapı ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi 1980-2006 dönemleri arasında incelemiştir. Bulgular enerji yoğunluğu, ekonomik yapı ve enerji tüketimi arasında eş-bütünleşmenin varlığını ortaya koymakla birlikte ekonomik yapı ve enerji yoğunluğu değişkenleri arasında nedensellik ilişkisini ortaya koymuştur.

Patino ve diğ. (2021), Kolombiya'nın 1971–2017 ve 1975–2016 dönemini ele alarak CO_2 emisyonlarının ve enerji yoğunluğunun itici faktörlerini analiz etmiştir. Ampirik çalışmada Kaya özdeşliği temel alınarak logaritmik ortalama Divisia indeks yöntemi kullanılmış ve CO_2 emisyonları için faktöriyel bir eklemeli ayrıştırma modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar CO_2 emisyonundaki artışın en büyük itici faktörleri olarak nüfus ve gelir artışı olduğunu göstermekle birlikte enerji yoğunluğunun CO_2 emisyonlarına zayıf bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan, sonuçlar, enerji yoğunluğunda görülen azalmanın kaynağı olarak sanayi ve ulaşım sektörlerindeki enerji verimliliği artışları ve hükümet tarafından uygulanan politikalar ile desteklenen yapısal değişimlerden meydana geldiği ortaya koymaktadır. Bernardini ve Galli (1993) ise, gelir düzeyi ve enerji yoğunluğu ilişkisini incelemiş ve gelirin artmasıyla beraber enerji yoğunluğunun düşmesini üç temel nedene dayandırmıştır. Bunlardan ilki, artan gelir ile sanayinin de gelişeceği ve talebin yapısını değiştirip enerji yoğunluğunu azaltacağıdır. İkinci neden ise yüksek gelirin teknolojik ilerlemeyi beraberinde getireceği ve enerji verimliliğini arttırarak yoğunluğu azaltacağı şeklindedir. Son olarak üçüncü

neden de meydana gelen teknolojik gelişmelerin üretimde donanımsal gelişmeyi sağlayarak ve verimliliği artırarak enerji yoğunluğunu düşüreceği yönündedir.

Ajide ve Adeniyi (2010), ARDL sınır testi yöntemini kullanarak 1970-2006 dönemleri için Nijerya'daki DYY, ekonomik büyüme ve CO_2 emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Zaman serisi analizi kullanılan çalışmada veriler UNCTAD'dan alınmıştır. Bulgular, kişi başına CO_2 ve DYY'lar arasında uzun vadeli bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Sahra Altı Afrika ülkesini ele alan Keho (2016) ise, DYY'ların ve ticaretin enerji yoğunluğuna etkisini 1970-2011 dönemi için incelemiştir. Ampirik çalışmada kullanılan veriler UNCTAD ve Dünya Bankası veri tabanından alınmış olup, eş-bütünleşme ve Granger nedensellik analizi uygulanmıştır. Sonuçlar, kısa dönemde Fildişi Sahilleri ve Nijerya'da, doğrudan yabancı yatırımları ile enerji yoğunluğu arasında nedensellik ilişkisinin olduğunu ortaya koymaktadır.

Reddy ve Ray (2010), Hindistan imalat sanayinde enerji tüketimini ve enerji yoğunluğunu araştırmıştır. Bu çalışmanın temel amacı Hindistan ekonomisinde enerji ve CO_2 yoğun endüstrileri tespit edip, bunları etkileyen faktörleri belirlemek ve bu sayede bir politika yol haritası çizmektir. Araştırmada 1992-2005 dönemlerini kapsanmakta olup firma düzeyinde mikro veriler kullanılmıştır. Sonuçlar teknoloji ve yapısal etkilerin, enerji yoğunluğu ve CO_2 emisyonu üzerinde azaltıcı etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Mukherjee (2008), 1998-1999 ve 2003-2004 dönemlerini kapsayan iki ayrı örneklem üzerinden Hindistan imalat sanayindeki enerji yoğunluğu ve belirleyicilerini araştırmıştır. Bulgular, Hindistan enerji yoğunluğunu düşürücü politikaların uygulanması üretimde verimliliği arttırarak hem üretim artışına hem de çevresel kirliliğin azalmasına neden olacağını ortaya koymaktadır.

Sun (2002), 1971-1998 dönemleri arasında OECD ülkelerinin enerji yoğunluk düzeylerini ve aralarındaki farkları ele almıştır. Çalışmada kullanılan veriler uluslararası enerji ajansından (IEA) alınmıştır. Sonuçlar, OECD ülkeleri arasında enerji yoğunluğu bakımından bir yakınsamanın varlığını desteklemektedir. Bu yakınsamanın temel kaynağı

olarak ise hızla artan teknolojik gelişimi ve ülkelerde yaşanan sosyo-ekonomik reformlar olduğu ileri sürülmüştür. Benzer yaklaşım benimseyen Liddle (2009) ise, 1960-2006 dönemleri için OECD ve IEA üye ülkeleri kapsamında toplam elektrik yoğunluğu ve enerji yoğunluğunun yakınsaması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ampirik çalışmada panel veri analizi (Sigma yakınsaması) yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, IEA ülkeleri arasında toplam elektrik yoğunluğu değerleri yakınsamasına rağmen aynı ülkeler arasındaki enerji yoğunluğu yakınsamalarına göre daha düşük seviyelerde olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer sonuçlar elde eden Mulder ve de Groot (2012), 18 OECD ülkesini ve bu ülkelerdeki 50 sektörü baz alarak enerji yoğunluğu ve belirleyicilerini ele almıştır. Çalışmada 1970-2005 dönemleri kapsamakla birlikte Beta (β) Yakınsaması yöntemini kullanılarak panel veri analizi uygulanmıştır. Bulgular, hizmetler sektöründeki enerji yoğunluğunun artmakta olduğunu ancak sanayi sektöründe enerji yoğunluğunun azalma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Enerji yoğunluğundaki bu sektörel bazdaki değişimlerin temel sebebinin ise sektörlerin yapısal değişim olduğu ileri sürülmüştür.

Gonzalez ve Martinez (2012), 1965-2010 dönemleri arasında Meksika'nın endüstriyel bazda CO_2 emisyonunu ve emisyonu etkileyen faktörleri araştırmıştır. Araştırma 1965-2010 dönemini daha detaylı ele almak adına 1965-1982, 1982-1994, 1994-2003 ve 2003-2010 olmak üzere dört aşamada yapılmış ve LMDİ ayrıştırma analiz yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan veriler Meksika ulusal hesap sistemi ve Meksika ulusal hesap sanayi sisteminden alınmıştır. Sonuçlar, enerji yoğunluğunun azalması CO_2 emisyonlarının düşüşünü sağlayan en önemli etken olduğunu ortaya koymakla birlikte son dönemlerde Meksika'nın ihracata yönelik üretim artışı CO_2 emisyonlarını etkileyen en önemli faktörler olduğunu göstermiştir. Hatzigeorgiou ve diğ. (2011) ise, Yunanistan için enerji yoğunluğu, gelir ve CO_2 emisyonu arasındaki ilişkiyi ele almıştır. Analizde 1977-2007 dönemleri ele alınarak vektör hata düzeltme modeli ve koentegrasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bulgular, seriler arasında uzun dönemli ilişkiler olduğunu ortaya koymuştur. Nedensellik testi sonucuna göre ise enerji yoğunluğu ve CO_2

emisyonu arasında geri besleme hipotezi geçerli iken, ekonomik büyümeden enerji yoğunluğu ve CO_2 emisyonuna doğru dolaylı bir ilişki tespit edilmiştir.

5. VERİLER VE YÖNTEM

5.1. Veriler

Veriler TÜİK tarafından sağlanan Yıllık Sanayi ve Hizmet İstatistikleri (YSHİ) verilerinden alınmıştır. 2003-2015 yıllarını kapsayan veriler firma bazında mikro verilerden oluşmaktadır. Kullanılan veri setinde 20'den fazla çalışanı olan firmalar yer almakta olup, ait oldukları ciro, yatırım harcamaları, işçi sayısı, sahiplik yapısı, toplam ücretler, endüstri kodu gibi bilgiler yer almaktadır.

Oluşturduğumuz modelde enerji yoğunluğu bağımlı değişken, emek verimliliği, toplam faktör verimliliği, yatırımlar, sermaye, toplam ücretler ve yabancı sermaye değişkenleri ise bağımsız değişken olarak alınmıştır.

Bağımlı değişken olarak ele aldığımız enerji yoğunluğunu genelde nihai enerji tüketiminin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'ya oranından bulunmaktadır. Dolayısıyla firma bazında enerji yoğunluğu seviyesi firmanın toplam harcadığı enerjinin firmanın toplam çıktıya bölünmesi ile elde edilmiştir. Emek verimliğini toplam çalışma saatini toplam çıktıya bölümünden, toplam faktör verimliliğini de çıktının faktör girdisine bölümünden elde edilmiştir. Yatırımlar ve sermaye verileri TÜİK'in topladığı verilerden alınmıştır. Son olarak yabancı sermaye değişkeni firmaların yüzde 10 ve üzeri yabancı sermaye girdisine sahip olmaları koşulu ile kukla değişken olarak oluşturulmuştur. Ayrıca yabancı sermayenin firmalar üzerine etkilerini daha detaylı incelemek adına yatırım yaptıkları firmaların ölçeklerini kontrol etmek amacıyla küçük ölçekli yabancı sermayeye sahip firmalar orta ölçekli yabancı sermayeye sahip firmalar ve son olarak büyük ölçekli ve yabancı sermayeye sahip firmaları 3 farklı kukla değişken olarak modele entegre edilmiştir.

Tablo 5. Değişkenlerin Açılımı

Değişken İsmi	Kullanılan kısaltması	
Enerji Yoğunluğu	enerjiintensity	enerjiintensity
Emek Verimliliği	lnlp2	lnlp2
Toplam Faktör Verimliliği	tfp_op	tfp_op
Enerji Harcaması	lnenergy	lnenergy
Sermaye	lncapital	lncapital
Kar	lnkar	lnenergy
Yabancı Sermaye %10 ve Küçük ölçekli firmalar	S_Yabanci10	S_Yabanci10
Yabancı Sermaye %10 ve Orta ölçekli firmalar	O_Yabanci10	O_Yabanci10
Yabancı Sermaye %10 ve Büyük ölçekli firmalar	B_Yabanci10	B_Yabanci10

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

5.2. Birim Kök Testi

Bu çalışmada, değişkenlerin durağan olup olmadığını anlamak için Fisher-tipi panel birim kök testi tercih edilmiştir. Bu testin en önemli özelliği, panel veriyi oluşturan her bir birimi (örneğin, her bir ülke veya firmayı) kendi içinde ayrı ayrı değerlendirmesi ve daha sonra bu bireysel sonuçları akıllıca birleştirerek genel bir sonuca ulaşmasıdır. Yani, paneldeki her birimin aynı şekilde davrandığını varsaymak yerine, her birinin kendine özgü dinamiklere ve özelliklere (heterojenliğe) sahip olabileceğini kabul eder. Bu

da testi, özellikle farklı yapılara sahip birimlerden oluşan veri setleri için daha esnek ve güvenilir kılar (Maddala ve Wu, 1999).

Testin temel amacı, serilerin birim kök içerip içermediğini, yani zaman içinde ortalamasına dönme eğilimi gösterip göstermediğini (durağan olup olmadığını) anlamaktır. Testin hipotezleri, bu birleşik kanıtı değerlendirmeye yöneliktir ve genellikle literatürde aşağıdaki gibi kurulur: Sıfır hipotezi (H_0) paneli oluşturan tüm serilerin birim kök içerdiğini, yani durağan olmadığını varsayarken; alternatif hipotez (H_1) ise paneldeki serilerden en az bir tanesinin durağan olduğunu ifade eder (Choi, 2001).

Bu test, özellikle ekonometrik modellerde değişkenler arasında sahte veya anlamsız ilişkiler bulma riskini (sahte regresyon sorunu) ortadan kaldırmak için kritik bir ilk adımdır. Değişkenlerin durağanlık düzeylerini doğru bir şekilde belirleyerek, analizlerin sonraki aşamalarının daha sağlam bir temel üzerine kurulmasını sağlar. Bu sayede, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesinin önü açılmış olur (Maddala ve Wu, 1999; Choi, 2001).

5.2. Panel Veri Analizi Sabit Etkiler ve Tesadüfi Etkiler Modelleri

Ekonomi alanında yapılan analizler farklı veri türlerinden oluşmakta ve bu verilerin yapısına göre uygun bir analiz modeli kullanılmaktadır. Kullanılan analizlerden zaman serisi analizi tek birim (firma, ülke, öğrenci vb.) ve çok sayıda zaman boyutuna sahip bir modeldir. Yatay kesit veri analizi ise tek bir zamanda çok sayıda birimi içermektedir. Panel veri analizi, bu iki yöntemin birleştirilmiş biçimidir. Özetle panel veri

analizi zaman ve yatay kesit boyutuna sahip verileri analiz etmekte kullanılan yöntemin adıdır (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007:37) .

Panel veri seti her yatay kesit birimi için bir zaman serisinden oluşmaktadır. Örnek olarak ABD'nin 150 şehri için suç oranları ve suç oranları ile ilgili olabilecek değişkenlerinin yer aldığı 1995-2000 yıllarını kapsayan bir veri seti varsayalım. Burada şehirler 1-150 arası sayılar ile ifade edilmekte ve her şehir 1995-2000 yılları arasında gözlemlenmektedir. Bu örnekte gördüğümüz üzere yatay kesit birimi olan şehirlerin her biri söz konusu yıllar için gözlemlenmektedir (Wooldridge 2015).

Panel veriler, firmalar arasındaki kültürel faktörler veya iş uygulamalarındaki farklılıklar gibi gözlemleyemediğiniz veya ölçemediğiniz değişkenleri kontrol etmenizi sağlar veya zaman içinde değişen ancak kuruluşlar arasında değişmeyen değişkenleri ve birimler arası heterojenliği açıklar. Panel veri analizinde kullanılan veriler çok seviyeli veya hiyerarşik modellemeye uygun olabilir (Torres-Reyna 2007).

5.3. Sabit Etkiler Modeli

Panel veri, analizde kullanılan birimlerin kendi aralarında var olan veya belirli bir zaman zarfında oluşan farklılıkları modele dahil etmeğe olanak sağlamaktadır. Bunun için bu farklılıkların regresyon modelinin katsayılarında değişime yol açtığını var sayımından yola çıkarak Sabit Etkiler Modeli oluşturulmuştur. Sabit etkiler modeli, katsayıların birimlere veya birimler ile zamana göre değiştiğinin varsaymaktadır. Modelin temel çıkarımı birimler arasındaki var olan farklılıkların sabit terimdeki değişimleri etkileyecek olmasıdır (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007:4).

Sabit etkiler modeli sadece zaman içinde değişim gösteren değişkenlerin etkisini analiz etmektedir. Sabit etkiler, bir birim (firma, kişi, ülke, vs.) içindeki bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi ele almaktadır. Her birimin bağımsız değişkenlerini etkileyecek veya etkilemeyecek kendisine özgü özellikleri bulunmaktadır. Örnek olarak bir bireyin cinsiyeti belirli bir konu hakkındaki davranışını etkileyebilir ya da bir firmanın ticari uygulamaları hisse senetleri üzerinde etkisi olabilir. Sabit etkiler modelini kullanırken, ele alınan birimlerin içinde var olan özelliklerin bağımlı ve bağımsız değişkeni etkileyebileceği varsayılmaktadır. Bu etki analizde önyargıya (yanlılığa) neden olacağı için bu etkileri kontrol etmemiz gerekiyor. Bu varsayım hata terimleri ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon varsayımının temelini oluşturmaktadır (Baltagi, 2005).

Buradaki temel anlayış, eğer gözlemlenmeyen değişken zamanla değişmiyorsa, bağımlı değişkendeki herhangi bir değişikliğin bu sabit özellikler dışındaki etkilerden kaynaklanması gerektiğidir (Stok ve Watson, 2003: 289-290).

Sabit etkiler, modelimizde yer alan ve zamanla değişmeyen bu birimlere özgü özelliklerin etkisini ortadan kaldırmaktadır ve bağımsız değişkenin bağımlı değişkene olan etkisi daha net ortaya koymaktadır (Torres-Reyna 2007:9).

Sabit etkiler modeli için çeşitli tahmin yöntemler kullanılabilmektedir. Bunlar arasında; Gruplar Arası Tahmin, Genelleştirilmiş En Küçük Kareler, Gölge Değişkenli En Küçük Kareler, En Çok Olabilirlik, Grup İçi Tahmin (Kovaryans), Havuzlanmış En Küçük Kareler ve Esnek Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (Yerdelen, 2016: 79).

5.4. Tek Yönlü Sabit Etkiler Modeli

Sadece birim ya da zaman etkisi içeren sabit etkiler modeli tek yönlü sabit etkiler modeli olarak tanımlanmaktadır. Tek yönlü sabit etkiler modeli eğer birim etki içeriyorsa sabit parametre birimden birime değişim göstermektedir. Burada birimler arası farklılıklar sabit terimdeki farklılıklarla ifade edilir. Eğer zaman etki içeriyorsa parametredeki değişimler zamandan kaynaklanmaktadır. Eşitlikte bağımsız değişkenlerce gözlemlenemeyen, zamana göre değişmeyen ama kesitlere özgü özellikleri kapsayan bireysel etki söz konusudur ve bunun yanında birimlere ait farklı özellikler hata terimi içerisinde yer almaktadır. Bu tür modellere tek taraflı hata bileşeni regresyon modeli adı verilmektedir (Özer ve Çiftçi, 2009).

5.5. Çift Yönlü Sabit Etkiler Modeli

Çoğu panel veri uygulamasında hata terimi Uit=µit+Vit olarak gösterilmektedir. Bu eşitlikte µit bireysel etki olarak adlandırılmakta ve zamana bağlı olmamakla birlikte kesitten kesite değişmektedir. Vit ise hem zamana göre hem de kesite göre değişebilmektedir. Bunun sonucu olarak µit gözlenemeyen kesit etkisini, Vit stokastik hata terimi göstermektedir. Tek taraflı hata bileşeni modelleri sadece kesit etkisi ve stokastik hata terimlerinden oluşmaktadır (Özer ve Çiftçi, 2009).

5.6. Tesadüfi Etkiler Modeli

Panel veri analizinde kullanılan sabit etkiler modeli bazı durumlarda dezavantajlı olabilmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi de sabit etkiler modelinde birimler arası veya zamanda bağlı olarak varlık gösteren farklılıkların kontrol edilmesi amacı ile modele çok sayıda kukla değişken eklenmesi ve dolayısıyla serbestlik derecesinin düşüş göstermesidir.

Tesadüfi etkili modeli birimlerin kendi aralarında veya zaman içinde meydana gelen farklılıkların modele hata teriminin bir birleşeni olarak eklemektedir. Bu durum tesadüfi etkiler modelini sabit etkiler modelinin serbestlik derecesi sorunundan kurtarmaktadır. Tesadüfi etkiler modelinde bireysel etkinin "μit" tesadüfi olduğu varsaymakta ve Uit ve μit sıfır ortalama ve sabit varyansa sahip olduğu varsayımı kabul edilmektedir. Ayrıca μit, Uit den bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Eğer büyük bir nüfustan tesadüfen birimler çekilecekse, tesadüfi etkiler modelinin kullanılması uygundur (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007).

Rastgele etkiler modelinin arkasındaki mantık, sabit etkiler modelinin aksine, birimler arasındaki farklılıkların tesadüfi olduğu ve modele dahil edilen tahmin edici veya bağımsız değişkenlerle ilişkisiz olduğu varsayılır:

Sabit ve rastgele etkiler arasındaki en önemli ayrım, gözlemlenmeyen bireysel etkinin, bu etkilerin stokastik olup olmadığı değil, modeldeki bağımsız değişkenler ile ilişkilendirilen unsurları içerip içermediğidir. Rastgele etkilerin bir avantajı, zamanla değişmeyen değişkenleri (yani cinsiyet) dahil edebilmenizdir. Sabit etkiler modelinde bu değişkenler kesişim tarafından emilir. Rastgele etkiler, varlığın hata teriminin, zamanla değişmeyen değişkenlerin açıklayıcı değişkenler olarak rol oynamasına izin veren tahmin edicilerle ilişkili olmadığını varsayar. Rastgele etkilerde, tahmin değişkenlerini

etkileyebilecek veya etkilemeyebilecek bu bireysel özellikleri belirtmeniz gerekir. Bununla ilgili sorun şu ki, bazı değişkenler mevcut olmayabilir, bu nedenle modelde ihmal edilen değişken yanlılığına yol açar. RE, modelde kullanılan örneğin ötesinde çıkarımların genelleştirilmesine izin verir (Uluyol ve Türk, 2013).

Tesadüfi etkiler modeli, her bir bireye ayrı bir kesit sayısının tanımlanması anlamında sabit etkiler modelinin aynısıdır, ancak bu yaklaşım sabit terimleri (kesit katsayılarını) içeren bir torbadan çekilmiş gibi algılayarak rassal olarak nitelendirilebileceklerini ve hata teriminin bir kısmı olarak ele alınabileceğini varsaymaktadır. Bunun sonucu olarak, bütüne ait bir kesit katsayısı, katsayıları ile ilgilendiğimiz bir küme bağımsız değişken ve birleşik bir hata teriminden oluşan bir belirleme elde edilir. Bu bileşik hata iki kısımdan oluşmaktadır. Bir kısmı belirli bir birey ve belirli bir zaman aralığı için bu birime ait kesit sayısının bütüne ait kesit katsayısından ne kadar farklı olduğunu gösterir. Diğer kısım ise bireyin ilgili zaman aralığında tesadüfi sapmalarını gösteren ve bilinen tesadüfi hatadır (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007).

Modelde kullanılacak olan veriler rassal olarak seçilmiş ise veya anakütleden temsilci olarak seçilmiş ise, Sabit Etkiler Modeli yerine Rassal Etkiler Modeli tercih edilmektedir (Baldemir ve Keskiner, 2004:48).

5.7. Driscoll-Kraay Standart Hatalar Modeli

Bu çalışmada, panel veri analizinde kullanılan Driscoll-Kraay standart hatalar yöntemi, heteroskedastisite ve otokorelasyon gibi yaygın sorunları ele almak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, panel veri setlerindeki standart hataların doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamak için kullanılan bir düzeltme yöntemidir. Driscoll-

Kraay standart hatalar yöntemi, zaman serisi ve kesit örneklemi içeren panel veri setlerinde uygulanabilir. Bu yöntem, heteroskedastisite ve otokorelasyon gibi yaygın sorunların olduğu durumlarda standart hataların yanlış tahmin edilmesini önlemek için panel veri regresyonu sonuçlarını düzeltir. Böylece, tahmin edilen katsayılar ve istatistiksel sonuçlar daha doğru ve güvenilir hale gelir. Driscoll-Kraay (DK) yönteminin en temel ve ayırt edici özelliği, değişen varyans ve otokorelasyona ek olarak, panel verilerde sıkça rastlanan yatay kesit bağımlılığını da dikkate almasıdır. Yatay kesit bağımlılığı, paneldeki bir birimde (örneğin, bir ülkede) meydana gelen bir şokun, diğer birimleri de (diğer ülkeleri) etkilemesi durumudur ve özellikle makroekonomik panellerde bu varsayımın ihlali oldukça yaygındır. DK yöntemi, bu karmaşık bağımlılık yapısı altında dahi standart hataların tutarlı tahminlerini üreterek EKK tahmincilerinin istatistiksel anlamlılığının güvenilir bir şekilde test edilmesine olanak tanır (Driscoll ve Kraay, 1998).

5.8. Hausman Testi

Sabit ve rassal etkiler modeleri arasındaki temel farklardan bir tanesi birim ve zaman etkilerinin bağımsız değişkenler ile ilintili olup olmamasıdır. Hausman (1978) ortaya koyduğu önerisinde bu temel farktan yola çıkarak iki test arasıda tercih yapılmasını sağlamıştır. İki model arasında tercih yapabilmek için Hausman test istatistiği kullanılmaktadır (Uluyol ve Türk, 2013).

Birim veya birim ve zaman farklılıklarını temsil eden katsayıların yani tesadüfi etkili modelin hata terimi bileşenlerinin modeldeki bağımsız değişkenlerden ilişkisiz olduğu hipotezinin geçerliliği, Hausman (1978) tarafından önerilen test istatistiği ile incelenebilmektedir. Bu durumda sabit etkili model parametre tahmincileri ile tesadüfi

etkili modelin parametre tahmincileri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. İki model arasında tercih yapabilmek için Hausman test istatistiği kullanılmaktadır. Hausman test istatistiği "Tesadüfi etkiler tahmincisi doğrudur." sıfır hipotezi. Gerçekleşmesi durumunda tesadüfi etkili modelin hata terimleri bileşenlerinin bağımsız değişkenler ile ilişkili olmadığı kararı verilebilecektir. Bu durumda sabit etkili modeli tercih edilecektir. Alternatif hipotez ise Açıklayıcı değişkenler ile birim (spesifik) etki arasında korelasyon vardır şeklinde kurulur. Bu durumda tesadüfi etkiler tahmincisi sapmalıdır ve tahminciler arasındaki farkın büyük olacağı beklenir. Dolayısıyla sabit etkiler modeli tutarlı olduğundan tercih edilmelidir. Hausman testi sabit etkiler ile açıklayıcı değişkenin ilişkisiz olduğu bilgisini verirse daha etkin bir tahminci olarak rassal etkilerin kullanılmasının yolu açılmış olur (Yerdelen, 2016).

5.9. White Testi

Regresyonun temel varsayımlarından birisi de sabit varyans (homoscedasticity) varsayımıdır. Bu varsayım, bağımsız değişkelerin birim değerleri değişirken bağımlı değişkenin birim değerlerine ait varyansın sabit kalacağı varsayımına dayanmaktadır (Gujarati 2004: 413–14). Değişen varyansın varlığını test etmek maksadıyla literatürde çoğunlukla kullanılan White Değişen Varyans testi, en önemli test araçlarından biridir. White testinin H0 hipotezi modelde değişen varyans problemi olmadığı yönündedir. Diğer yandan H1 alternatif hipotezi ise değişen varyans problemi vardır şeklindedir (Gökmen ve diğ., 2012).

5.10. Breusch – Pagan / Cook – Weisberg Testi

Breusch-Pagan testi, herhangi bir doğrusal değişen varyans biçimini tespit etmek için tasarlanmıştır. Breusch-Pagan / Cook-Weisberg, hata varyanslarının hepsinin eşit olduğu sıfır hipotezini, hata varyanslarının bir veya daha fazla değişkenin çarpımsal bir fonksiyonu olduğu alternatifine karşı test eder (Williams, 2015).

5.11. Variance Inflation Factors (VIF) Testi

Çoklu doğrusal bağlılık, bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olması katsayı tahminlerinin yanlış tahmin edilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla modelde çoklu doğrusal bağlılık olmaması başka bir deyişle bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmaması gerekmektedir. Çoklu doğrusal bağlılığı test etmek için variance inflation factor (VIF) hesaplanmıştır. Modelde çoklu doğrusal bağlılık olup olmadığını test etmek için de Centered VIF değerine bakılmaktadır. VIF değeri için kesin net bir yöntem olmamakla birlikte genelde 5'den düşük veya 10'dan düşük değerler uygun kabul edilmektedir. Söz konusu değerin 10'dan küçük olması modelde çoklu doğrusal bağlılık olmadığı anlamına gelmektedir (Aka ve Arıcan, 2019).

BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde, gerçekleştirilen analize yer verilmiştir. İlk olarak, hipotezler belirlenmiş ve test edilmiştir. Sonrasında yapılan analiz neticesinde elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Kurulan ekonometrik modelde kullanılan değişkenlerinin özet istatistikler verilmiş ve yorumlanmıştır. Devamında, modelin tahmin sonuçları ve uygulanan hipotez testler verilmiştir.

Analize geçmeden önce, çalışmada kullanılan değişkenlerin temel istatistiki özelliklerinin incelenmesi, örneklemin genel yapısını anlamak açısından önemlidir. Değişkenlerin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerlerini içeren özet istatistikler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 6'da sunulan özet istatistikler, araştırmada kullanılan değişkenlerin temel özelliklerini özetlemektedir. Bağımlı değişken olan enerji yoğunluğu (energyinte~y), ortalama 0.0323 değerini aldığı görülmektedir ancak standart sapmasının (0.0543) ortalamadan yüksek olması, firmalar arasında önemli bir heterojenliğe işaret etmektedir.

Temel açıklayıcı değişkenlerden verimlilik (lnlp2), TFP (tfp_op3), sermaye (lncapital) ve kâr (lnkar) logaritmik formdadır ve standart sapmaları, bu ekonomik göstergelerin firmalar arasında dikkate değer bir dağılım sergilediğini ortaya koymaktadır.

Kukla değişkenler incelendiğinde, örneklemin yapısal dağılımı netleşmektedir. Firmaların %65.2'sinin küçük (small), %11.3'ünün orta (medium) ve %23.5'inin büyük (large) ölçekli olduğu tespit edilmiştir.

Özetle bu istatistikler, analiz edilen firma popülasyonunun ağırlıklı olarak düşük yabancı sermayeli ve küçük ölçekli işletmelerden oluştuğunu, ancak ekonomik

performans ve enerji yoğunluğu metriklerinde önemli bir çeşitlilik sergilediğini göstermektedir.

Tablo 6. Özet İstatistikler

Değişkenler	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
energyinte~y	239332	0.0323429	0.0542688	4.78E-09	0.9983644
lnlp2	239332	3.519.784	1.016.373	-3.312.681	1.263.994
tfp_op3	222803	7.744.277	0.9207727	1.091.074	1.758.099
lncapital	210263	1.334.428	1.928.978	1.543.369	2.330.297
lnkar	239332	9.382.788	5.221.546	-0.076881	2.276.449
yabanci10	239332	0.0390838	0.1937947	0	1
small	239332	0.6515176	0.4764907	0	1
medium	239332	0.1130104	0.3166061	0	1
large	239332	0.2354721	0.4242944	0	1
small_yab~10	239332	0.0152884	0.1226977	0	1
medium_ya~10	239332	0.0080892	0.0895756	0	1
large_yab~10	239332	0.0157062	0.1243366	0	1

Kaynak: TÜİK Dış Ticaret ve YSHİ mikro verileri (yazarın kendi hesaplamaları)

Panel veri regresyon modelini tahmin etmeden önce, serilerin durağanlığının test edilmesi ve modelin temel varsayımlarının (otokorelasyon, değişen varyans vb.) kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, sabit etkiler ve rassal etkiler modelleri arasında seçim yapmak için Hausman testi uygulanmıştır. Serilerin durağanlık özelliklerini incelemek amacıyla Fisher-tipi panel birim kök testi uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 7. Birim Kök Testi (Fisher Type)

	İstatistik değeri	P İstatistiği	Z	L*	Pm
energyintensity	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lnlp1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lncapital	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
tfp_op3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lnenergy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lnkar	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Kaynak: TÜİK Dış Ticaret ve YSHİ mikro verileri (yazarın kendi hesaplamaları).

Verilen test sonuçlarına göre, fishertype birim kök testi istatistik değerleri tüm değişkenler için 0.000 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, %5 anlamlılık düzeyinde H_0 hipotezinin reddedildiğini gösterir. Dolayısıyla, tüm serilerin düzeyde durağan olduğu (I(0)) ve sahte regresyon riski taşımadığı tespit edilmiştir.

Tablo 8. Sağlamlık Testleri

Test Adı	H_0 Hipotezi	İstatistik / Değer	P-Değeri	Sonuç (α=0.05)
Wooldridge Testi	Modelde otokorelasyon yoktur	F(1, 29) = 199.036	0.000	H_0 Red. Otokorelasyon var.
Breusch-Pagan Testi	Sabit varyans vardır	χ^2 = 226894.57	0.000	H_0 Red. Değişen varyans var.
VIF Testi	-	Ortalama VIF = 3.47	-	Çoklu doğrusal bağlantı sorunu yok.

Kaynak: TÜİK Dış Ticaret ve YSHİ mikro verileri (yazarın kendi hesaplamaları)

Wooldridge (2012) otokorelasyon test sonuçları modelimizde otokorelasyon sorununun olmadığını ortaya koymuştur. Ardından modelimizin sabit varyans varsayımını sağlayıp sağlamadığını Breusch-Pagan / Cook-Weisberg (LM) testini uygulanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında P değeri 0,000 olarak saptanmış ve H0 hipotezi olan sabit varyans varlığı varsayımı reddedilememektedir.

Vif testi ile çoklu doğrusal bağlılık varsayımı kontrol edilmiştir. Test sonuçları 10'dan küçük ise modelimizde çoklu doğrusal bağlılık olmadığını söylenebilir. Analizimizde de değişkenlerimiz 10'dan küçük değerler almıştır.

Son olarak Hausman testi ile modelimizin sabit etkiler mi yoksa rassal etkiler modeline mi daha uygun olduğu kontrol edilmiştir. Test sonuçları sabit etkiler modelinin bizim çalışmamızda daha uygun olduğunu göstermektedir.

Gerekli sağlamlık testleri sonrasında regresyon analizi yapılmıştır. İlk önce EKK yöntemi uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre tüm bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Katsayılarına baktığımız zaman ise, EKK sonuçları diğer tüm açıklayıcı değişkenler sabit iken emek verimliliğinde yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %1,66 azalışa, TFP'de yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %0,63 azalışa, sermayede yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,58 azalışa, enerji harcamasında yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %1,98 artışa ve karda yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,039 azalışa neden olmaktadır.

Tablo 9. Regresyon Sonuçları

Enerji Yoğunluğu	EKKY	Sabit etkiler	Rassal Etkiler	Driscoll-Kraay
Emek Verimliliği	0,000 (-0. 0166233)	0,000 (-.0185799)	0,000 (-.0166233)	0,000 (-.0185799)
Toplam Faktör Verimliliği	0,000 (-0.0062745)	0,000 (-.0054129)	0,000 (-.0062745)	0,002 (-.0054129)
Sermaye	0,000 (-0.005812)	0,000 (-.0050115)	0,000 (-.005812)	0,000 (-.0050115)
Enerji Harcaması	0,000 (0. 0198693)	0,000 (.0201052)	0,000 (-.0198693)	0,000 (.0201052)
Kar	0,000 (-0.0003954)	0,000 (-.0003204)	0,000 (-.0003954)	0,010 (-.0003204)
Yabancı Sermayeli Firmalar	0,00 (-0.0097443)	0,292 -0. 0010782	0,000 (-.0097443)	0,069 -0. 0010782
Küçük ölçekli Firmalar	0,000 (0.0031353)	0,004 (.0006677)	0,000 (.0031353)	0,000 0. 1327403
Orta Ölçekli Firmalar	0,000 (-0.0074876)	0,000 (-.0074534)	0,000 (-.0074876)	0,000 0. 1246191
Büyük Ölçekli Firmalar	(Omitted)	(Omitted)	(Omitted)	0,000 0. 1320725
Küçük Ölçekli Yabanci Sermayeli Firmalar	0,000 -0. 0087574	(Omitted)	0,000 -0. 0087574	(Omitted)
Orta Ölçekli Yabanci Sermayeli Firmalar	0,000 -0. 0099753	0,100 -0. 0019886	0,000 -0. 0099753	0,036 -0. 0019886
Büyük Ölçekli Yabanci Sermayeli Firmalar	(Omitted)	0,000 (-.0058575)	(Omitted)	0,000 (-.0058575)

Kaynak: TÜİK Dış Ticaret ve YSHİ mikro verileri (yazarın kendi hesaplamaları)

Devamında uygulanan sabit etkiler modelinin sonuçlarına baktığımızda, EKK'de olduğu gibi burada da tüm bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Katsayılarına bakıldığında, emek verimliliğinde yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %1,85 azalışa, TFP'de yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %0,54 azalışa, sermayede yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,50 azalışa, enerji harcamasında yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %2,01 artışa ve karda yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,032 azalışa neden olmaktadır.

Ardından uyguladığımız rassal etkiler modelinin sonuçlarına göre yabancı sermaye ve yatırımlar bağımsız değişkenleri bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamsız diğer bağımsız değişkenler ise anlamlı bulunmuştur. Bu bağlamda elde edilen katsayılara bakıldığında, emek verimliliğinde yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %1,66 azalışa, TFP'de yaşanan yüzde birlik artışa enerji yoğunluğunda %0,62 azalışa, sermayede yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,58 azalışa, enerji harcamasında yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %1,98 artışa ve karda yaşanan yüzde birlik artış enerji yoğunluğunda %0,039 azalışa neden olmaktadır.

Son olarak kesitler arası bağımlılık, değişen varyans ve otokorelasyon göstergeleri yapılan tanı testlerinde teyit edildiği için sabit etkiler tahmini Driscoll–Kraay sağlam standart hatalarıyla değerlendirilmiştir. Tahmin sonuçlarına göre emek verimliliği, toplam faktör verimliliği, sermaye yatırımları ve karlılık oranı katsayıları negatif ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Enerji harcaması katsayısı pozitif ve %1 düzeyinde anlamlıdır. Ölçek kuklalarının katsayıları pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Yabancı değişkeni katsayısı negatif ve %10 düzeyinde anlamlılık sınırındadır. Ölçek etkileşim terimlerinden medium_yabanci_10 negatif ve %5 düzeyinde, large_yabanci_10 negatif ve %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Yabanci_10 değişkeni tam kolinearite gerekçesiyle yazılım tarafından otomatik olarak ihmal edilmiştir. Bu sonuçlar, enerji yoğunluğunu belirleyen temel faktörlerin verimlilik göstergeleri, sermaye

yapısı ve yabancı sahiplik etkileriyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, emek verimliliğindeki yüzde birlik bir artışın enerji yoğunluğunu yüzde 1,85, sermaye değişkeninde yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunu yüzde 0,50 ve toplam faktör verimliliği değişkenindeki yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunda yüzde 0,55 oranında bir düşüşe neden olduğunu ortaya çıkarken, enerji harcamaları değişkenindeki yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunu yüzde 2,01 oranında arttırdığını ortaya çıkmıştır.

Yabancı sermaye oranı %10 ve daha fazla olan firmaların etkisini ölçmek adına modele eklenen yabancı sermayeli firmalar değişkeni %90 güven aralığında enerji yoğunluğunu düşürdüğü ortaya konmuştur. Yabancı sermayeli firmalar kukla değişkeni 1 değerini aldığında enerji yoğunluğu yüzde 0,11 düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca yabancı sermayeli orta ve büyük firmaların kukla değişkenleri 1 değerini aldığında enerji yoğunluğunu sırasıyla yüzde 0,19 ve yüzde 0,58 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla Orta ölçekli yabancı firmaların enerji yoğunluğu küçük ölçekli yabancı firmalara kıyasla yaklaşık %0,2 daha düşük bulunurken büyük ölçekli yabancı firmalarda bu fark yaklaşık %0,6 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç ölçek büyüdükçe enerji verimliliğinin anlamlı biçimde arttığını göstermektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Enerjiyi tanımlamak gerekirse en yalın hali ile iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Eski Yunanca 'da 'içsel iş anlamına gelen enerji, zamanla fiziksel bir kavram olmaktan çıkarak; üretim kabiliyeti, güç ve kudret gibi iktisadi anlamlar da kazanmıştır. Dolayısıyla bu kavram, en basit fizyolojik fonksiyonlarımızdan en karmaşık eylemlerimize kadar yaşamın var olmasının temelini oluşturur. Bir bitkinin topraktan besin alması veya bir insanın yürümesi gibi her aşama, doğrudan veya dolaylı olarak enerjiye bağımlıdır. Yaşamın bu temel gereksinimi, aynı zamanda ekonomik sistemlerin de merkezinde yer alır. Üretilen her mal ve hizmetin vazgeçilmez bir girdisi olan enerji, insanoğlunun medeniyetleri inşa etmesinin ve refaha ulaşmasının ardındaki itici güç olmuştur.

Enerji ve insanlık tarihi birbirine paralel bir şekilde gelişmiştir. Tarih boyunca medeniyetler enerji kaynaklarına olan erişimleri ve bu kaynakları kullanım şekillerine göre kurulmuş gelişmiş ya da yıkılmıştır. Bu nedenle insanlık sürekli yeni enerji kaynakları arayışı içine girmiştir. Ancak sanayi devrimi beraberinde tarihte eşi benzeri olmayan bir değişimi getirmiş ve buhar makinalarının kullanımının yaygınlaşması ile fosil yakıtlar çağını başlatmıştır.

Ancak fosil yakıtların bu denli yoğun kullanımı beraberinde iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunları da getirmektedir. Bu bağlamda 70'lerden itibaren fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve yeni enerji kaynaklarının kullanılması yönünde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu bağlamda enerji verimliliği konusu hayli önem kazanmıştır. Enerjiyi verimli kullanmak sadece çevresel yan etkilerinin azalması adına değil aynı zamanda enerjide dışa bağımlı ülkelerin ekonomileri adına da çok önemlidir. Enerji kaynaklarından ülkeler eşit

ölçüde yararlanamamakta, pek çok ülke ise enerji ihtiyacını karşılamak için dışa bağımlı hale gelmektedir. Enerji arzında yaşanabilecek aksaklıklar ve fiyat dalgalanmaları ülkeleri cari açık sorunlarıyla karşı karşıya bırakmakta ve onları dış şoklara karşı kırılgan hale getirmektedir. Bu durum da ekonomik ve politik açıdan ciddi sorunları beraberinde getirmektedir.

Özellikle Türkiye gibi enerjide %70 oranında dışa bağımlı bir ülke adına enerji verimliliği konusu hayati bir öneme sahiptir. Enerji yoğunluğu kavramı da tam burada karşımıza çıkmaktadır. Enerji yoğunluğu bir birim çıktı için kullanılan enerji miktarı olarak tanımlanmakta ve ürün başına tüketilen enerji seviyesini hesaplamamıza yardımcı olarak ekonomik faaliyeti etkilemeden daha az enerji harcaması yapılması acısından bir hayli önemlidir.

Bu bağlamda enerji yoğunluğu kapsamında uygulanacak politikalar ve yapılacak düzenlemeler Türkiye adına çok önemlidir. Ancak bu politikaların hangi alana yoğunlaşması gerektiği ve nasıl uygulanacağını ortaya koymak adına Türkiye'nin enerji verilerini detaylı bir şekilde ele almak gerekmektedir. Türkiye'nin enerji verileri en fazla enerji harcayan ve enerji yoğunluğu en yüksek sektör olarak sanayi sektörünü işaret etmektedir. Bu bağlamda enerji verimliliği konusunda uygulanacak politikaların bu alana yönelmesi politikaların etkisini artıracaktır.

Bu bağlamda, çalışmanın amacı, TÜİK tarafından sağlanan olanaklar çerçevesinde 2003-2015 dönemi için Türkiye imalat sanayi sektöründe faaliyet gösteren firmaları ele alarak firma sahiplik yapısının enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini araştırmaktır.

Enerji yoğunluğu ile ilgili olan literatüre bakıldığında, yapılan çalışmaların sonuçları genellikle benzerlik göstermiş ve yabancı yatırımların enerji yoğunluğunu pozitif etkilediğini ortaya koymuştur. Türkiye için yapılmış çalışmalarda genel olarak

makro veri kullanılarak zaman serisi yöntemi uygulanmıştır. Ancak, bu veriler daha detaylı ve firma düzeyinde daha kapsamlı analizler yapma olanak tanımamaktadır. Bu noktada, çalışmamız firma düzeyinde ve daha detaylı inceleme olanağı sağlayan verileri kullanarak diğer çalışmalardan ayrışarak Türkiye'de imalat sanayinde faaliyet gösteren firmaları ele alarak daha kapsamlı ve detaylı bir analiz sunmayı hedeflemektedir. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran bir başka önemli husus ta yabancı yatırımcıların etkilerini incelemesidir. Ayrıca yabancı yatırıma sahip yani yabancıların firma üzerinde belirli düzeyde sahipliği elinde bulundurmalarının yanında yatırım yaptıkları firmaların ölçeğine göre oluşan etkiyi de hesaplamak adına firmalar küçük orta ve büyük ölçekli firmalar olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda, çalışmamızda sahiplik yapısının enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini araştırılmakta ve bağımlı değişken olarak enerji yoğunluğu, bağımsız değişkenler olarak ise emek verimliliği, sermaye, toplam faktör verimliliği, enerji harcamaları, kar ve kukla değişkenleri olarak ele alınan yüzde 10 yabancı sermayeye sahip firmaların kukla değişkeni, ölçeklerine göre firmaların kukla değişkenleri ele alınmıştır.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına baktığımızda, emek verimliliğindeki yüzde birlik bir artışın enerji yoğunluğunu yüzde 1,85, sermaye değişkeninde yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunu yüzde 0,50 ve toplam faktör verimliliği değişkenindeki yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunda yüzde 0,55 oranında bir düşüşe neden olduğunu ortaya çıkarken, enerji harcamaları değişkenindeki yüzde birlik bir artış enerji yoğunluğunu yüzde 2,01 oranında arttırdığını ortaya çıkmıştır. Ele alınan yüzde 10 yabancı sermayeye sahip firmaların kukla değişkeni 1 değerini aldığında enerji yoğunluğu yüzde 0,11 düşürdüğünü, diğer kukla değişkenlerimize baktığımızda ise, küçük, orta ve büyük ölçekli firmaların kukla değişkenleri 1 değerini aldıklarında enerji yoğunluğunu sırasıyla yüzde 13,27, yüzde 12,46 ve yüzde 13,21 arttırırken, yabancı sermayeli orta ve büyük firmaların kukla değişkenleri 1 değerini aldığında enerji yoğunluğunu sırasıyla yüzde 0,19 ve yüzde 0,58 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar beklentilerle uyumlu biçimde firma içi verimlilik göstergelerinin enerji yoğunluğu üzerinde belirleyici olduğunu güçlü şekilde doğrulamaktadır. Toplam faktör verimliliği, işgücü verimliliği ve sermaye stokundaki artışların enerji yoğunluğunu istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, enerji yoğunluğunun azaltılmasına yönelik politikaların, firmaların teknolojik kapasitesini, operasyonel yetkinliklerini ve rekabet güçlerini yükseltmeye dönük stratejilerden ayrı düşünülemeyeceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla enerji yoğunluğu yalnızca bir enerji politikası meselesi değil aynı zamanda sanayi, teknoloji ve verimlilik politikalarının kesişim noktasında ele alınması gereken bütüncül bir konudur. Analizimizden elde edilen bulgular, Herrerias ve diğ. (2013), Ma ve Yu (2017) ve Elliot, Sun ve Chen (2013) bulguları ile tutarlık göstermiştir.

Çalışmanın literatüre en temel katkısı, yabancı sermaye sahipliğinin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisinin firma ölçeğine göre ele alınmasıdır. Sonuçlar, yabancı sermayeye sahip firmaların enerji yoğunluğunu düşürücü etkiye sahip olduğunu ortaya koyarak yabancı yatırımcının beraberinde teknolojik yayılım ve yönetimsel becerileri getirerek daha verimli bir üretim aşamasına geçtikleri yönündendir. Ayrıca çalışmada bu teknolojik yayılım etkisinin büyük ölçekli firmalarda orta ve küçük ölçekli firmalara göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sonuçlar yabancı sermayenin enerji yoğunluğunu azaltıcı etkisinin firma ölçeği büyüdükçe belirgin biçimde güçlendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak Türkiye açısından enerji yoğunluğunun düşürülmesi konusu hem enerjide dışa bağımlılık hem de çevre kirliliği ve sürdürülebilir kalkınma açısından önemli bir konudur. Bu bağlamda enerji yoğunluğunun düşürülmesi adına uygulanacak politika ve programların önemi bir hayli yüksektir. Ancak Türkiye'nin güncel enerji yoğunluğu seviyesi her ne kadar azalma gösterse de istenilen seviyede değildir. Özelikle 2013-2017 yılları arasında enerji yoğunluğu politikaları etkili olmamış değişsen ekonomik konjonktür ve dış etkenler enerji yoğunluğu politikalarını olumsuz etkilemiştir.

Ayrıca enerji yoğunluğunu azaltmaya yönelik politikaların oluşturulmasında genel ve her firmaya aynı şekilde uygulanan teşvikler yerine, firmaların ölçeği ve sahiplik yapısını dikkate alan daha nokta atış mekanizmalar oluşturulmalıdır. Bu doğrultuda, öncelikle firmaların büyüklüğüne göre farklılaştırılmış politikaların geliştirilmesi önem taşımaktadır. Özellikle büyük ölçekli yabancı sermayeli firmaların sahip oldukları bilgi ve teknoloji birikiminin, tedarik zincirleri aracılığıyla yerli firmalara aktarılmasını sağlayacak kurumsal platformların oluşturulması yararlı olacaktır. Bu platformlar ortak Ar-Ge konsorsiyumları, danışmanlık ve mentorluk havuzları ya da yeşil tedarik akreditasyon programları gibi araçlarla desteklenebilir. Ayrıca, bu tür mikro düzey politika araçlarının, ulusal emisyon ticaret sistemi, sınırda karbon düzenlemeleri ve yeşil sınıflandırma çerçevesi gibi daha geniş kapsamlı politikalarla uyumlu bir şekilde bütünleştirilmesi ile beraber, enerji verimliliği yatırımlarının etkili olabilmesi için ölçüm ve doğrulama standartlarının yaygınlaştırılması, dijital izleme altyapılarının daha geniş ölçekte kullanılmasının desteklenmesi de önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

Aka, A., & Arıcan, E. (2019). Türkiye'de Hanehalkı Tasarruf Davranışlarının Belirleyicileri. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, 11*(21), 163-184.

Akkemik, K. A., & Göksal, K. (2021). Türkiye ekonomisinde imalat sanayi, döviz kuru ve ekonomik büyüme ilişkisi: 1975-2019 dönemi ARDL sınır testi yaklaşımı. *SOBBİAD-Sosyal Bilimler Dergisi, 5*(13), 1-13. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1989356

Akova, I. (2016). *Enerji Kullanımındaki Değişimler*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Alagöz, G., & Yılmaz, M. (2001). Çevre Muhasebesi ve Çevresel Maliyetler. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 1*(1-2), 147-158.

Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in global perspective*. Cambridge University Press.

Ang, B. W. (2006). Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From aggregate energy intensity to decomposition analysis. *Energy Policy, 34*(5), 574-582.

Aydın, C., & Esen, Ö. (2018). Does the level of energy intensity matter in the effect of energy consumption on the growth of transition economies? Evidence from dynamic panel threshold analysis. *Energy Economics*, *69*, 185-195.

Aydoğan, B., & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on co2 emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy, 39*(4), 335-348.

Azhgaliyeva, D., et al. (2023). Energy Intensity, Energy Efficiency and Economic Growth among OECD Nations from 2000 to 2019. *Energies, 16*(4), 1927.

Baldemir, E., & Keskiner, E. (2004). Devalüasyon, Para, Reel Gelir Değişkenlerinin Dış Ticaret Üzerine Etkisinin Panel Data Yöntemiyle Türkiye İçin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 44-59.

Bali Action Plan. (2007). *Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007*. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. John Wiley & Sons.

Berktaş, S., & Dimli Oraklıbel, R. (2021). Sanayi Devrimi ile Gelen Değişim: İş Bölümü ve Yabancılaşma. *Atlas Sosyal Bilimler Dergisi, 1*(6), 112-121.

Bernardini, O., & Galli, R. (1993). Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy. *Futures, 25*(4), 431-448.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. Pearson Prentice Hall.

Burke, J. (2007). *Connections*. Simon & Schuster.

Cancun Agreements. (2010). *Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention*. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill Education.

Çetin, M., & Seker, F. (2014). Türkiye'de Enerji İthalatı, Ekonomik Büyüme ve Cari Açık İlişkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 12*(23), 256-273.

Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of international money and finance, 20*(2), 249-272.

Copenhagen Accord. (2009). *Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009*. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Cunningham, W. P., & Cunningham, M. A. (2017). *Environmental science: A global concern*. McGraw-Hill Education.

Dasgupta, S., & Roy, J. (2017). Understanding technological progress and its drivers in the Indian manufacturing industries. *Journal of Cleaner Production, 142*, 1313-1323.

Diamond, J. (1997). *Guns, germs, and steel: The fates of human societies*. W. W. Norton & Company.

Doğanay, H., & Coşkun, O. (2023). *Enerji kaynakları* (5. Baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.

Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of economics and statistics, 80*(4), 549-560.

Dura, C. (1991). Çevre sorunlarına ekonomik yaklaşım. *Amme İdaresi Dergisi, 24*(1), 83-96.

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

Elliott, R. J., & Zhou, Y. (2013). Environmental performance of foreign-affiliated firms in Chinese industry. *Oxford Economic Papers, 65*(suppl_1), i117-i144.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). *2020 Yılı Ulusal Enerji Denge Tabloları*.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *2024 Yılı Ulusal Enerji Denge Tabloları*.

Farinotti, D., et al. (2019). Large hydropower and water-storage potential in future glacier-free basins. *Nature, 575*(7782), 341–344.

Feng, Z. H., et al. (2009). The nonlinear impacts of industrial structure on China's energy intensity. *Energy, 34*(9), 1179-1186.

Freidberg, J. P. (2015). *Plasma Physics and Fusion Energy*. Cambridge University Press.

Generation IV International Forum. (2014). Generation IV International Forum: A decade of progress through international cooperation. *Progress in Nuclear Energy, 77*, 1-9.

Gökmen, A., Turen, U., & Dilek, S. (2012). *[Bu kaynak için spesifik bir yayın bulunamadı.]*

Goldemberg, J., & Johansson, T. B. (Eds.). (2004). *World energy assessment: Overview 2004 update*. United Nations Development Programme.

Gonzalez, R. M., & Martinez, M. (2012). An analysis of the causes of the evolution of CO2 emissions in Mexico's manufacturing sector (1965-2010). *Energy Economics, 34*(3), 738-747.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. (NBER Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research.

Gujarati, D. N. (2004). *Basic econometrics*. McGraw-Hill.

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics*. McGraw-Hill/Irwin.

Hatzigeorgiou, E., et al. (2011). CO2 emission, GDP and energy intensity: A multivariate cointegration and causality analysis for Greece, 1977–2007. *Applied Energy, 88*(4), 1377-1385.

Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica, 46*(6), 1251-1271.

Herrerias, M. J., et al. (2013). What drives China's provincial energy intensity? *Energy Economics, 40*, 387-398.

Hills, R. L. (1996). *Power from wind: A history of windmill technology*. Cambridge University Press.

Holmberg, J., & Sandbrook, R. (1992). Sustainable Development: What Is to Be Done?. In J. Holmberg (Ed.), *Making Development Sustainable: Redefining Institutions, Policy, and Economics* (pp. 19-38). Island Press.

Hu, J. L., & Wang, S. C. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy, 34*(17), 3206-3217.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5°C*.

IEA. (2017). *Energy Efficiency*. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2017.

IEA. (2021). *Global CO2 emissions rebounded to their highest level in history in 2021*. https://www.iea.org/news/global-co2-emissions-rebounded-to-their-highest-level-in-history-in-2021.

IEA. (2022). Energy Intensity. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-progress-in-g20-countries-1990-2021.

IEA. (2023). *Energy Efficiency 2023*. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023.

IPCC. (2011). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN), Ch.1. (enerji verimliliği ve yakıt dönüşümünün yoğunluğu/karbonu düşürmesi)

Javorcik, B. S. (2004). Does foreign direct investment increase the productivity of domestic firms? In search of spillovers through backward linkages. *American economic review, 94*(3), 605-627.

Jiang, L., et al. (2014). The determinants of energy intensity in China: A spatial panel data analysis. *Energy, 69*, 43-49.

Kaygusuz, K. (2007). Energy for sustainable development: A case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11*(2), 307-320.

Keho, Y. (2016). The impact of trade openness and foreign direct investment on energy intensity: Evidence from a panel of sub-Saharan African countries. *Energy Policy, 98*, 158-164.

Knight, R. D. (2016). *Physics for scientists and engineers: A strategic approach*. Pearson.

Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review, 45*(1), 1–28.

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (1997). United Nations.

Lee, C. C., & Chang, C. P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics, 30*(1), 50-65.

Lewis, N. S., & Nocera, D. G. (2006). Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(43), 15729-15735.

Liddle, B. (2009). A panel data analysis of the electricity intensity of GDP and the energy intensity of electricity. *Energy Economics, 31*(3), 438-445.

Lovering, J. R., Yip, A., & Nordhaus, W. (2016). Historical construction costs of nuclear power reactors. *Energy Policy, 91*, 371-382.

Lund, H. (2014). *Renewable energy systems: A smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions*. Academic Press.

Ma, C., & Yu, B. (2017). The effect of firm size and ownership structure on industrial energy intensity in China. *Energy Economics, 67*, 25-34.

Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and statistics, 61*(S1), 631-652.

Mankins, J. C. (2014). *The case for space solar power*. The Virginia Edition Publishing Company.

Metcalf, G. E. (2008). An empirical analysis of energy intensity and its determinants at the state level. *The Energy Journal, 29*(3), 1-26.

Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2012). *Environmental Science*. Cengage Learning.

Mukherjee, K. (2008). Energy use in Indian manufacturing: A firm-level analysis. *Energy Economics, 30*(6), 2889-2905.

Mulder, P., & de Groot, H. L. (2012). Structural change and convergence of energy intensity in OECD countries, 1970–2005. *Energy Economics, 34*(6), 1910-1921.

Nas, T. F. (2019). *Turkey's Energy Policy*. Palgrave Macmillan.

Needham, J. (1986). *Science and civilisation in China: Volume 5, Chemistry and chemical technology, Part 7, Military technology: The gunpowder epic*. Cambridge University Press.

Neill, S. P., & Hashemi, M. R. (2018). *Fundamentals of ocean renewable energy: Generating electricity from the sea*. Academic Press.

Nye, D. E. (1990). *Electrifying America: Social meanings of a new technology, 1880-1940*. MIT press.

Özdil, T., Özpınar, A., Şişbot, S., & Olgun, M. (2012). Türkiye'de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasindaki İlişkinin Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 17*(1), 1-18.

Özer, M., & Çiftçi, C. (2009). Panel Veri Analizi: Temel Kavramlar ve Uygulamalar. *Ekonometri ve İstatistik Dergisi, (9)*, 61-83.

Okur Dincsoy, M. (2020). Sustainable Development and Industry Revolutions. In New Approaches to CSR, Sustainability and Accountability, Volume I. Accounting, Finance, Sustainability, Governance & Fraud: Theory and Application (pp. 61-79). Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-32-9588-9

Dinçsoy, M. O., & Can, H. (2023). The Relationship of Renewable Energy Generation, Renewable Energy Consumption, and Economic Growth: The Case of Türkiye. In Okur Dinçsoy, M., & Can, H. (Eds.), *Optimizing Energy Efficiency During a Global Energy Crisis* (pp. 65–74). IGI Global. DOI: 10.4018/979- 8- 3693- 0400- 6.ch005

Öztürk, İ., & Öz, S. (2016). The long-run relationship between carbon emissions, income, and foreign direct investment in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research, 23*(19), 19658-19667.

Patino, D., et al. (2021). Analysis of the driving factors of CO2 emissions and energy intensity in Colombia for the period 1971–2017. *Environmental Science and Pollution Research, 28*, 45781-45801.

Pazarlıoğlu, M. V., & Gürler, Ö. K. (2007). Telekomünikasyon Yatırımları ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. *İktisat, İşletme ve Finans, 22*(252), 35-43.

Reddy, B. S., & Ray, B. K. (2010). Decomposition of energy consumption and energy intensity in Indian manufacturing industries. *Energy for Sustainable Development, 14*(1), 35-47.

Rudenko, D., & Tanasov, L. (2020). Energy intensity of GDP and its main drivers: a cross-country analysis. *Journal of Cleaner Production, 277*, 124040.

Şahinöz, A. (2014). Türkiye'de Kirlilik Sığınağı Hipotezinin Geçerliliği: 1974-2011 Dönemi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 9*(1), 147-164.

Schobert, H. H. (2013). *Energy and society: An introduction*. CRC press.

Senalp, U. E. (2021). Covid-19 Kuresel Salgınının Sanayi ve Hizmet Sektorlerinde Enerji Yoğunluğuna Etkisi. In H. O. Sarıdoğan & F. Celebi (Eds.), İktisadi ve İdari Bilimlerde Ozgun Calışmalar (pp.143–161). Academic Press.

Setyawan, D. (2020). The effect of value added and energy consumption on energy intensity: Evidence from the Indonesian manufacturing sector. *Heliyon, 6*(12), e05739.

Sharpley, R. (2000). Tourism and sustainable development: contemporary economic and social issues. *Journal of sustainable tourism, 8*(1), 1-19.

Shen, N., & Lin, B. (2020). The impact of technological progress on energy intensity in China. *Energy, 196*, 117088.

Smarzynska, B. K., & Wei, S. J. (2001). *Pollution havens and foreign direct investment: Dirty secret or popular myth?* (Working Paper No. 2001-10). The World Bank.

Smil, V. (2017). *Energy and civilization: A history*. The MIT Press.

Smith, J. D., & Verheyden, T. (2007). *Environmental Issues: An Introduction to Sustainability*. Wiley.

Sorrell, S., et al. (2009). A systematic review of the evidence for energy efficiency rebound effects. *UK Energy Research Centre*.

Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science, 13*, 202-215.

Speight, J. G. (2015). *Handbook of coal analysis*. John Wiley & Sons.

Speight, J. G. (2019). *Natural gas: A basic handbook*. Gulf Professional Publishing.

Stock, J. H., & Watson, M. W. (2003). *Introduction to econometrics*. Addison-Wesley.

Sun, J. W. (2002). The decline of energy intensity in OECD countries. *Energy Policy, 30*(1), 1-12.

Sürücü, A. (1995). Çevre ve insan. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 1*(12), 167-172.

Tay, A. (2018). Türk imalat sanayinin teknolojik yapısı üzerine bir analiz. *SOBİAD, 7*(30), 405-420. https://dergipark.org.tr/tr/pub/sobbiad/issue/36435/412701

Tester, J. W., et al. (2012). *The future of geothermal energy*. Massachusetts Institute of Technology.

Torres-Reyna, O. (2007). *Panel data analysis: Fixed and random effects using Stata*. Princeton University.

Townsend, C. R., Begon, M., & Harper, J. L. (2008). *Essentials of ecology*. Blackwell Publishing.

Tunçer, G. (2022). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Türkiye. *Politika, 4*, 1-20.

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi. (n.d.). *Why Turkey? FDI in Turkey*. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi. https://www.invest.gov.tr/tr/whyturkey/sayfalar/fdi-in-turkey.aspx

Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources*. Routledge.

Tylecote, R. F. (1992). *A history of metallurgy*. Maney.

Uçar, M. (1991). Çevresel bozulma ve ekonomik gelişme. *İktisat Dergisi, (318)*, 39-43.

Ulusoy, Y., & Gökçöl, C. (2005). Birincil enerji kaynaklarının ikincil enerji kaynaklarına dönüşümü. *Enerji Politikaları Araştırma Merkezi*.

Uluyol, O., & Türk, A. (2013). Panel Veri Modelleri ve Uygulama Alanları. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15*(1), 177-196.

UNEP. (2011). *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*.

United Nations Framework Convention on Climate Change. (1992). United Nations.

White Jr., L. (1962). *Medieval technology and social change*. Oxford University Press.

Wiersum, K. F. (1995). 200 years of sustainability in forestry: lessons from the past. *Environmental management, 19*(3), 321-329.

Williams, R. (2015). *A general approach to heteroskedasticity and its absence in the Breusch-Pagan-Godfrey test*. University of Notre Dame.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press.

Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach*. Cengage learning.

Wrangham, R. (2009). *Catching fire: How cooking made us human*. Basic Books.

Yerdelen, F. (2016). *Panel Veri Ekonometrisi*. Beta Basım Yayın.

Yergin, D. (2008). *The prize: The epic quest for oil, money, and power*. Simon and Schuster.

Yıldırım, K. (2004). Çevreye duyarlı büyüme politikaları. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 18*(3-4), 161-176.

Yücel, M. (1994). Türkiye'de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *ODTÜ Gelişme Dergisi, 21*(4), 541-558.

Zheng, J., et al. (2019). The determinants of CO2 emissions in 102 Chinese cities. *Journal of Cleaner Production, 213*, 671-682.