T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

YAPISAL KIRILMALARIN VARLIĞINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ: ENERJİ PİYASASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Engin GEREK

Danışman
Prof. Dr. Erhan DEMİRELİ

2023

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

YAPISAL KIRILMALARIN VARLIĞINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ: ENERJİ PİYASASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Engin GEREK

Danışman
Prof. Dr. Erhan DEMİRELİ

İZMİR – 2023

TEZ ONAY SAYFASI

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yapısal Kırılmaların Varlığında Oynaklık Modellemesi: Enerji Piyasası Üzerine Bir Uygulama” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih
12/06/2023
Engin GEREK
İmza

ÖZET

Doktora Tezi

Yapısal Kırılmaların Varlığında Oynaklık Modellemesi: Enerji Piyasası Üzerine Bir Uygulama

Engin GEREK

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
İşletme Programı

Türkiye elektrik piyasasında Gün Öncesi Piyasa kritik bir öneme sahiptir. Gün öncesi piyasalarda elektrik piyasalarının tüm katılımcıları yer alabilmektedir ve burada fiyatlar arz ve talebin kesiştiği noktada oluşur. Oluşan bu fiyat piyasa takas fiyatıdır. Piyasa takas fiyatı elektrik piyasasında referans bir değerdir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini analiz edebilmektir. Çalışmada, piyasa takas fiyatında oynaklık modellemesi ve yapısal kırılmaların analizine yer verilmiştir. Piyasa takas fiyatının tahminine dair birçok çalışma olmasına karşın, piyasa takas fiyatının yapısal kırılmaların varlığı altında oynaklık araştırılması bakımından çalışma önem taşımaktadır. Asimetrik GARCH modelleri kullanılarak 01.07.2015 – 31.12.2022 tarihleri arasındaki günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatı veri olarak kullanılarak fiyatlardaki oynaklık analiz edilmiştir. Yapısal kırılmalar ve oynaklık sürekliliği de analiz edilmiştir. Yapısal kırılmalar dikkate alındığında model tahmin sonuçları analiz edilmiş ve şokların yarılanma ömürleri hesaplanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre, söz konusu kırılmalara göre hangi modelin daha iyi ve tutarlı sonuç verdiğine ulaşılmıştır. Elde edilen analiz sonucu elektrik fiyatlarındaki oynaklığı, modellemede anlamlı çıkan kırılma tarihlerini ve şokların ortalamaya geri dönüşünün ne kadar sürede olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik, Elektrik Piyasası, Piyasa Takas Fiyatı, Oynaklık, Yapısal Kırılma, Asimetrik GARCH Modelleri, ICSS, Şok

ABSTRACT

Doctoral Thesis

Doctor of Philosophy(PhD)

Volatility Modeling In The Presence Of Structural Breaks: An Application On The Energy Market

Engin GEREK

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Business Administration

Business Administration Program

The Day-Ahead Market has a critical importance in the Turkish electricity market. In day-ahead markets, all participants of the electricity markets can take place, where prices are formed at the intersection of supply and demand. This price is the market clearing price. The market clearing price is a reference value in the electricity market.

The aim of this study is to determine the serious price fluctuations in the Turkish electricity market and to analyze the effects of these price fluctuations on volatility. In the study, volatility modeling and analysis of structural breaks in the market clearing price are included. Although there are many studies on the estimation of the market clearing price, the study is important in terms of investigating the volatility of the market clearing price under the presence of structural breaks. By using asymmetric GARCH models, the daily weighted average clearing price between 01.07.2015 and 31.12.2022 was used as data, and the volatility in prices was analyzed. Structural breaks and volatility persistence were also analyzed. Considering the structural breaks, the model prediction results were analyzed and the half-lives of the shocks were calculated.

According to the results of the analysis, it was reached which model gave better and consistent results according to the mentioned breaks. The result of the analysis reveals the volatility in electricity prices, the break dates that are significant in the modeling and how long it takes for the shocks to return to the average.

Keywords: Electricity, Electricity Market, Electricity Market Swap Price, Volatility, Structural Break, Asymmetric GARCH Models, ICSS, Shock.

YAPISAL KIRILMALARIN VARLIĞINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ: ENERJİ PİYASASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI ii
YEMİN METNİ iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR xi
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xv

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM
ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ PİYASALARI

1.1. ENERJİ KAYNAKLARI 5
1.1.1. Fosil Yakıtlar 6
1.1.1.1 Petrol 6
1.1.1.2. Taş Kömürü 7
1.1.1.3. Doğal Gaz 7
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 9
1.1.2.1. Hidroelektrik Enerji (Hidrolik) 9
1.1.2.2. Güneş Enerjisi 11
1.1.2.3. Nükleer Enerji 13
1.1.2.4. Jeotermal Enerji 15
1.1.2.5 Rüzgâr Enerjisi 18
1.1.2.6. Biyokütle Enerjisi 21
1.2. ENERJİ PİYASALARI 24
1.2.1. Petrol Piyasası 24
1.2.1.1 Dünya Petrol Piyasası 25
1.2.1.2 Türkiye Petrol Piyasası 32
1.2.1.3. Petrol Fiyatlarını Etkileyen Faktörler 35

1.2.2. Doğal Gaz Piyasası 35
1.2.2.1. Dünya Doğal Gaz Piyasası 36
1.2.2.2. Türkiye'de Doğal Gaz Tüketimi ve Rezervleri 38
1.2.2.3. Doğal Gaz Fiyatlarını Etkileyen Faktörler 43
1.2.3. Elektrik Piyasası 43
1.2.3.1. Elektrik Piyasalarının Yapılanması 46
1.2.3.2. Türkiye'de Elektrik Piyasasının Tarihsel Süreci 50
1.2.3.3. Elektrik Piyasası Temsilcileri 55
1.2.3.4. Türkiye Elektrik Piyasası İstatistiki Bilgiler 57
1.2.3.5. Türkiye Elektrik Piyasası 61

İKİNCİ BÖLÜM

FİNANSAL VARLIKLAR İÇİN OYNAKLIK MODELLEMESİ

2.1. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNİN TEMEL ÖZELLİKLERİ 67
2.1.1. Aşırı Basıklık 67
2.1.2. Asimetrik Yapı ve Kaldıraç Etkisi 68
2.1.3. Oynaklık Kümelenmesi 68
2.2. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ 69
2.3. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİ AÇISINDAN OLASILIK DAĞILIMLARI 71
2.3.1. Normal (Gauss) Dağılım 72
2.3.2. Student-t Dağılımı 72
2.3.3. Çarpık Student-t (Skewed Student-t) Dağılımı 73
2.3.4. Genelleştirilmiş Hata Dağılımı 74
2.4. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNDE DURAĞANLIK 74
2.5. KOŞULLU DEĞİŞEN VARYANS MODELLERİ 75
2.5.1. ARCH Modeli 76
2.5.2. GARCH Modeli 77
2.5.3. TGARCH Modeli 79
2.5.4. EGARCH Modeli 79
2.5.5. APGARCH Modeli 80

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ELEKTRİK PİYASASINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ VE YAPISAL KIRILMALARIN PİYASA ETKİSİNİN ANALİZİ

3.1. ELEKTRİK PİYASASINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ İLE İLGİLİ YAZIN TARAMASI 82
3.2. KULLANILAN VERİ SETİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ 89
3.3. ASİMETRİK GARCH TİPİ MODELLERİN TAHMİN SONUÇLARI 94
3.4. YAPISAL KIRILMALAR VE OYNAKLIK SÜREKLİLİĞİNİN ANALİZİ 100
3.5. YAPISAL KIRILMALAR DİKKATE ALINDIĞINDA MODEL TAHMİN SONUÇLARI 103
3.6. ŞOKLARIN YARILANMA ÖMRÜNÜN HESAPLANMASI 107

SONUÇ 109
KAYNAKÇA 116

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devleti
ADF	Augmented Dickey-Fuller
APGARCH	Genelleştirilmiş Asimetrik Üslü ARCH
ARCH	Otoregresif Koşullu Değişen Varyans
BEPA	Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
C,H	Hidrokarbon
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
DGP	Dengeleme Güç Piyasası
EAOPTF	Elektrik Piyasası Günlük Ağırlıklı Ortalama Takas Fiyatları
EGARCH	Üstel Genelleştirilmiş Otoregregresif Koşullu Değişen Varyans
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
EÜAŞ	Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GARCH	Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans
GED	Genelleştirilmiş Hata
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GİP	Gün İçi Piyasası
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HES	Hidroelektrik Santrali
ICSS	Yinelenen Birikimli Kareler Metodu
KPSS	Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin
kWh	Kilowaat Saat
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
M.Ö.	Milattan Önce
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
Mw	MegawatT
MYTM	Milli Yük Tevzi Merkezi
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
Nox	Nitrik Oksit
OECD	İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Örgütü

OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries
PİGM	Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
PP	Phillips-Perron
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
PYS	Piyasa Yönetim Sistemi
REAOPTF	Elektrik Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı
SO2	Kükürt Dioksit
TDK	Türk Dil Kurumu
TEAŞ	Türkiye Elektrik Üretim ve İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TGARCH	Eşik GARCH
VEP	Vadeli Elektrik Piyasası
YEK-G	Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti
YHP	Yan Hizmetler Piyasası

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Dünyadaki Toplam Rezerv Miktarı(Milyar Varil) s. 26
Tablo 2: Dünyadaki Petrol Rezervlerinin Ülkelere ve Yıllara Göre Dağılım Miktarları (Milyar Varil) s. 26
Tablo 3: Dünyadaki Toplam Petrol Üretimi (Milyon Ton) s. 27
Tablo 4: Dünyadaki Petrol Çeşitlerinin Sülfür Miktarları s. 28
Tablo 5: Dünyadaki Petrol Tüketimi(Milyon Ton) s. 29
Tablo 6: Dünya Ham Petrol İthalatı (Milyon Ton) s. 30
Tablo 7: Dünya Ham Petrol İhracatı(Milyon Ton) s. 31
Tablo 8: Türkiye'deki Petrol Üretimi İstatistikleri s. 32
Tablo 9: Ülkelere Göre Petrol ve Petrol Ürünleri İthalatı (ton) s. 34
Tablo 10: Yıllara Göre Dünya Doğal Gaz Rezervleri (Trilyon m3) s. 38
Tablo 11: 2022 Yılı İllere ve Aylara Göre Doğal Gaz Üretimi (Milyon Sm3) s. 39
Tablo 12: Türkiye'nin Doğal Gaz İthal Ettiği Ülkeler s. 40
Tablo 13: Yıllara Göre İthal Edilen Doğal Gaz Miktarları (Milyon Cm3) s. 41
Tablo 14: Yıllara Göre Doğal Gaz İhracat Miktarları (Milyon Cm3) s. 42
Tablo 15: Yıllara Göre Yurt İçi Doğal Gaz Satış Miktarları (Milyon Cm3) s. 42
Tablo 16: Lisanslı ve Lisanssız Kurulu Güç, Puant Talep, Lisanslı ve Lisanssız Elektrik Üretimi, Tüketim, İthalat ve İhracat Verileri s. 58
Tablo 17: 2022 Yılı Sonu İtibarıyla Kaynak Bazında Kurulu Güç ve Üretim Değerleri s. 59
Tablo 18: 2022 Yılı Elektrik Piyasasında Gerçekleştirilen Lisans İşlemleri (Adet) s. 59
Tablo 19: Tanımlayıcı İstatistikler s. 90
Tablo 20: Birim Kök Testi Sonuçları s. 93
Tablo 21: REAOPTF Getiri Serisi Ljung-Box Q *ve* Q^2 ile ARCH-LM Test İstatikleri s. 93
Tablo 22: ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları s. 95
Tablo 23: ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları s. 97
Tablo 24: ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları s. 99
Tablo 25: Asimetrik Modellerin Student-t Dağılımına Göre Model Seçim Kriterleri s. 100
Tablo 26: REAOPTF Getiri Serisi Varyansındaki Kırılma Tarihleri ve Fiyat Değişim Oranları s. 102

Tablo 27: ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) Student-t Modeli Karşılaştırmalı Tahmin Sonuçları s. 104
Tablo 28: Modellemede Anlamlı Çıkan Kırılma Tarihlerine İlişkin Bilgiler s. 105
Tablo 29: Şokların Yarılanma Ömrü s. 108

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Farklı Şekillerde Sınıflandırılması s. 5
Şekil 2: Türkiye'de Hidroelektrik Enerjisine Dayalı Kurulu Güç s. 10
Şekil 3: Türkiye'de Hidroelektrik Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı s. 10
Şekil 4: Türkiye'de Güneş Enerjisine Dayalı Kurulu Güç s. 12
Şekil 5: Türkiye'de Güneş Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı s. 13
Şekil 6: Türkiye'de Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç s. 17
Şekil 7: Türkiye'de Jeotermal Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı s. 18
Şekil 8: Türkiye'de Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç s. 20
Şekil 9: Türkiye'de Rüzgâr Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı s. 20
Şekil 10: Biyoyakıtların Sınıflandırılması s. 21
Şekil 11: Türkiye'de Biyokütle Kaynaklı Kurulu Güç s. 23
Şekil 12: Türkiye'de Biyokütle Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı s. 23
Şekil 13: Doğal Gazın Dünya Genelindeki Kullanım Alanları s. 37
Şekil 14: Ülkelere Göre Doğal Gaz Rezervleri s. 37
Şekil 15: 2022 Yılı Üretim Sahalarının Bulunduğu İllere Göre Doğal Gaz Üretim Oranları(%) s. 40
Şekil 16: Dikey Bütünleşik Yapı s. 47
Şekil 17: Tek Alıcı Modeli s. 48
Şekil 18: Toptan Satış Rekabeti Modeli s. 48
Şekil 19: Perakende Satış Rekabeti s. 49
Şekil 20: Türkiye Elektrik Piyasasında Reform Süreci s. 51
Şekil 21: Türkiye'de Elektrik Piyasasında Yer Alan Tedarik Aktörleri s. 56
Şekil 22: Türkiye'de Elektrik Piyasasında Yer Alan Temsilcilerin Arasındaki İlişkiler s. 57
Şekil 23: Kaynaklara ve Kuruluşlara Göre Kurulu Güç (%) s. 58
Şekil 24: 2022 Yılı Aylar İtibarıyla Elektrik İthalatı (MWh) s. 60
Şekil 25: 2022 Yılı Aylar İtibarıyla Elektrik İhracatı (MWh) s. 60
Şekil 26: Türkiye Elektrik Piyasalarının Yapısı s. 61

Şekil 27: BİST 100 Endeksi Getiri Serisinde Oynaklık Kümelenmesi s. 69
Şekil 28: Skewness (Çarpıklık) Değerinin Etkileri s. 70
Şekil 29: EAOPTF Getiri Serisi Histogramı s. 91
Şekil 30: EAOPTF Getiri Serisinin Zaman Yolu Grafiği s. 92

GİRİŞ

Enerji, toplumsal gelişimin ve ekonomik büyüklüğün belirleyici faktörlerinden biridir (Gülay, 2008: 1). Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal ilerlemesinde önemli bir katkı sağlayan, nüfus artışı, sanayi gelişimi, kentsel dönüşüm, üretim artışı ve küreselleşme ile paralel olarak dünya genelinde artan bir güç ve talep olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarım, sanayi ve hizmet sektörleri başta olmak üzere yoğun bir şekilde kullanılan ve kullanımı giderek artan bir ihtiyaç olan enerji, önemli bir role sahiptir.

Enerji, üretimin ve ekonomik gelişimin taşıyıcısı ve göstergesidir (Aydın, 2010: 318). Ekonomik ve yapısal değişimlerden en az etkilenmek, enerji kaynaklarına sahip olmakla mümkün olabilmektedir.

Elektrik en önemli enerji kaynaklarındandır. Kendine has niteliksel özellikleri olan bir enerji kaynağıdır. Ekonomi büyüdükçe, yatırımlar arttıkça ve sanayi geliştikçe, aydınlanma ve ısınma ihtiyacının artmasıyla birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeylerini yükseltme çabaları da hızlanırken elektrik talebi de artmaktadır. Elektrik, teknolojiden ulaşıma, sağlıktan eğitime kadar birçok alanda ihtiyaç duyulan önemli bir enerji türüdür. Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için vazgeçilmez bir stratejik unsur olmuştur.

Elektrik piyasaları ülkemizde fiziksel ve fiziksel olmayan piyasalar şeklinde ayrılmıştır.

Türkiye'deki fiziksel elektrik piyasasının mevcut yapısı, ikili anlaşmalar piyasası modeline dayanan dengeleme mekanizmasıyla desteklenmektedir. Piyasaların düzenlenmesi işi, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ) tarafından yapılmaktadır ve bu piyasalar Gün Öncesi Piyasası (GÖP) ve Gün İçi Piyasası (GİP) olarak adlandırılır. Mevzuata göre, Türkiye'deki elektrik piyasasının yapısı ve aktörleriyle ilgili olarak EPİAŞ, Gün Öncesi ve Gün İçi piyasalarının işleyişini, işlemlerin gerçekleşmesini ve piyasa katılımcılarının alacak ve borçlarının bildirimini gibi görevleri icra etmektedir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ), Dengeleme Güç Piyasası (DGP) ve Yan Hizmetler Piyasası (YHP) gibi piyasaların yönetimini üstlenmiştir. Bu piyasalar, anlık denge sağlanması için kaliteli arzın oluşturulmasını ve yan hizmetlerin, dengeleme mekanizmalarının bu süreci destekleyecek şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. İletim hattı kaynaklarının satın alınması da TEİAŞ'ın sorumluluğundadır.

Vadeli işlem (futures) sözleşmeleri ve opsiyon sözleşmeleri, EPİAŞ tarafından sunulan hizmetler arasında yer almaktadır. Elektrik fiyatlarındaki değişikliklere risk yönetimi yapmak ve piyasada likidite sağlamak amacıyla kullanılır. İleri tarihli piyasa

katılımcılarını karşı taraf riskinden koruyan bir piyasadır. Fiziksel teslimat söz konusudur.

Elektrik piyasasında fiyatların oluşmasında önemli bir referans nokta olan, Piyasa Takas Fiyatı (PTF), Gün Öncesi Piyasası'nda arz ve talebin dengelendiği noktada önemli bir belirleyici olarak büyük öneme sahiptir. Yenilebilir enerji kaynakları dahil elektrik piyasası aktörlerinin yer aldığı ve ikili anlaşmalar olsun ya da olmasın, saatlik, blok ve esnek tekliflerin verildiği ve elektrik fiyatının oluştuğu piyasalardır.

Finansal zaman serileri değişen varyans özelliği sergilediklerinden oynaklığın belirlenmesinde geleneksel zaman serisi yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Özellikle yüksek frekanslı finansal zaman serileri için Engle (1982) ve Bollerslev (1986), koşullu varyans modelleri olarak ARCH ve GARCH modellerini geliştirmişlerdir.

Piyasada yaşanan şokların etkisine bağlı olarak analize konu getiri serileri varyansında yapısal kırılmalar (structural breaks) oluşabilir ve oynaklık modellemesinde analiz sonuçlarını etkileyebilir. Bu çalışmada, analiz döneminde elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) yapısal kırılmaların etkisi araştırılmıştır. Burada amaç, elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini analiz edebilmektir.

Tezin birinci bölümünde, enerji kaynakları ve enerji piyasalarına yer verilecektir. Fosil yakıtlar ve yenilebilir enerji kaynakları hakkında bilgilendirmeler anlatılmıştır. Ardından Türkiye Enerji Piyasasının üç baş aktörü olan petrol, doğal gaz ve elektrik piyasaları hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır.

Birinci bölümde özellikle elektrik piyasalarına detaylı anlatıma yer verilmiştir. Türkiye elektrik piyasasının, yapılanması, tarihsel süreci, elektrik piyasası temsilcileri, elektrik piyasası istatistikleri ve elektrik piyasasının işleyişi anlatılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde finansal zaman serilerinin taşıdığı temel özellikler olan aşırı basıklık, asimetrik yapı, kaldıraç etkisi ve oynaklık kümelenmesine yer verilmiştir. yapısal kırılmaların literatür kısmına yer verilmiştir. Finansal zaman serilerinin tanımlayıcı istatistikleri ve finansal zaman serileri açısından olasılık dağılımları anlatılmıştır. Finansal zaman serilerinde durağanlık ve koşullu varyans modelleri olan ARCH Modeli, GARCH Modeli, TGARCH Modeli, EGARCH Modeli ve APGARCH Modeli açıklanmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde ise, elektrik piyasasında oynaklık modellemesi ve yapısal kırılmaların piyasa etkisinin analizine yer verilmiştir. Elektrik piyasa takas

fiyatlarının ele alınmasındaki en önemli etken, PTF' nin piyasada referans olarak alınmasıdır. PTF' larında günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatı veri olarak kullanılmıştır.

Elektrik piyasasındaki günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları (EAOPTF), logaritmik birinci dereceden farklar alınarak günlük getiri serileri (REAOPTF) elde edilmiştir. Normal dağılım özelliği, JB test istatistiği kullanılarak gözlem serisinde sınanmıştır. Getiri serisinin durağanlığı ise ADF testi ile birlikte PP ve KPSS birim kök testleri ile araştırılmıştır.

ARCH etkisinin mevcudiyeti, serideki gözlemlerin ARCH modeliyle öngörülebilirliği sağlayabilmek için dikkate alınmalıdır. ARCH etkisinin varlığını sınamak için genel olarak iki test kullanılmaktadır. Getiri serisinde oto korelasyon ve dolayısıyla değişen varyans yapısı hem Ljung-Box Q ve Q^2 istatistikleriyle hem de ARCH-LM testi ile sınanmıştır. Koşullu değişen varyans modellemesine geçmeden önce ortalama denklemini (mean equation) belirleyebilmek üzere 10. gecikmeye kadar bütün Box-Jenkins modelleri denenmiştir.

Olasılık dağılımlarından Normal (Gauss) dağılım, Student-*t* dağılımı ve GED dağılımı altında asimetrik GARCH tipi modellerden sırasıyla TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri farklı (p,q) gecikme değerleri üzerinden tahminlenmiştir.

Yapısal kırılmalar ve oynaklık sürekliliğinin analizine uygulama kısmının sonunda yer verilmiştir. Yinelenen Birikimli Kareler Metodu (ICSS) esas alınarak getiri serilerinin varyansında yapısal kırılmaların varlığı ve etkisi araştırılmıştır. REAOPTF getiri serisi varyansındaki kırılma tarihleri ve fiyat değişim oranları belirlenmiştir.

Yapısal kırılma testi sonrası model tahmin sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Modellemede anlamlı çıkan kırılma tarihlerine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Şokların yarılanma ömrünün hesaplanması ile uygulama kısmı sonuna ulaşılmıştır. Tüm analizlerde sonuçlar, tablolar ve şekiller yardımıyla yorumlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM
ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ PİYASALARI

Enerjinin önemi, enerji tüketiminin gelişmişlik düzeyi ve ekonomik kalkınmayla ilişkisi fosil enerji veya yenilenebilir enerjiden yararlanma olanakları, ülkelerin bilinçlenme düzeyleri, tüm ülkelerde; ülke yönetiminin, teknik kadroların, halkın ülke ve enerji rezervlerini bilme, bulma ve işletme tercihleri ile şekillenir ve gelişir.

Enerji, üretim ve tüketim faaliyetlerinde önemli bir rol oynadığı için enerjinin ekonomik büyümenin itici gücü olup olmadığı tartışması gündeme gelmiştir. Geleneksel iktisatçılar, sermaye, işgücü ve doğal kaynaklara odaklanırken, sanayileşmiş ülkelerin ortaya çıkmasıyla birlikte enerji dördüncü temel unsur olarak ön plana çıkmıştır (Çetin ve Şeker, 2012: 86).

Smil(1994) ve Allen(2009) iki önemli ekonomi tarihçisi olarak endüstri devriminin temel faktörü olarak enerjiyi sanayileşmenin ana faktörü olarak gösterecek enerjinin yaşamsal önemini vurgulamışlardır. Ekonomi tarihi üzerine çalışan pek çok iktisatçı enerjiyi ekonomik büyüme konusu içinde işlevlendirirler.

Değişik ülkelerde sanayi, ticaret, taşımacılık tarım gibi sektörlerde enerji tüketimi ile sektörel katma değerlerin ilişkileri incelenmiştir. Finansal ekonomi üzerinde çalışanlar ve ekonomi tarihçileri yaptıkları teorik ve uygulamalı çalışmalarda sektörler için enerjinin ekonomik önemini irdelemişlerdir.

Ampirik bağlamda araştırma ve analizler yapılırken enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelenirken birtakım hipotezlere ulaşmıştır. Bu hipotezlerden başlıcaları; Geri besleme, tasarruf, büyüme ve nötr hipotezleridir (Usta ve Berber, 2017:174).

Büyüme hipotezindeki sonuç, enerji tüketimindeki artışın reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH)' da artışa neden olacağı görüşünü savunmazken, tasarruf hipotezinde ise reel GSYH' deki artışın enerji tüketiminde de artışa neden olacağı yönündedir. Nötr hipotezine göre ise enerji tüketimindeki artışın Reel GSYH' de artışa neden olmayacağını belirler. Geri besleme hipotezine göre, enerji tüketimi ile reel GSYH arasında birbirini destekleyen bir ilişki olduğu iddia edilmektedir. (Usta ve Berber, 2017:174).

Türk Dil Kurumuna göre (2019) enerji; maddede var olan ısı ve ışık şeklinde ortaya çıkan güçtür.

Enerji, sosyal gelişimin ve ekonomik büyüklüğün başat belirleyicilerinden biridir (Gülay, 2008: 1). Enerji ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin önemli bir girdisi

olarak, nüfus artışına, sanayideki gelişmeye, kentleşmeye, üretim artışına ve küreselleşmeye koşut olarak tüm dünyada gereksinimin arttığı önemli bir güç ve taleptir. Enerji, tarım, sanayi, hizmet sektörlerinde yoğun kullanım alanı bulan ve kullanımının gittikçe arttığı bir gereksinimdir.

Enerji; üretimin ve ekonomik gelişimin taşıyıcısı ve göstergesidir (Aydın, 2010: 318). Ekonomik ve yapısal kırılmalardan minimum etkilenme, enerji kaynaklarına sahip olabilmekle mümkün olabilmektedir.

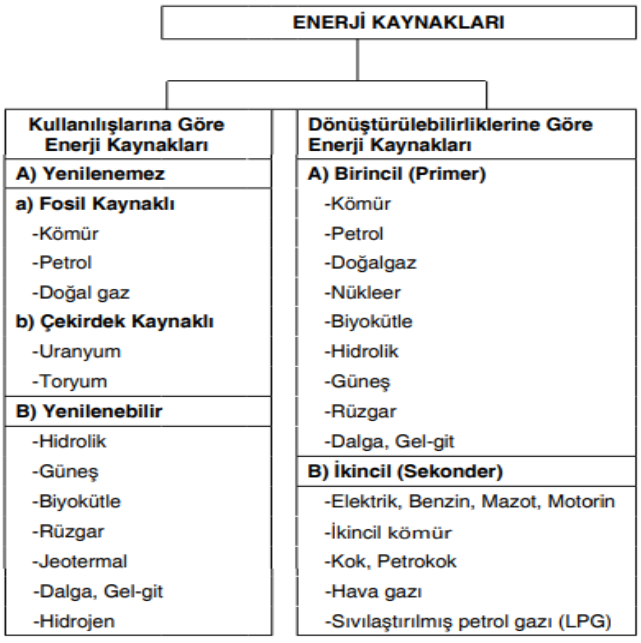
Türkiye için enerji alanında üretim ve tüketim arasında büyük bir açıklık olduğu görülmektedir. Bu önemli ekonomik maliyet getirmekle birlikte, dışa bağımlılık açısından ekonomik ve siyasi sonuçlar da doğurmaktadır. Bu nedenle enerji üretiminin yerli kaynaklardan en iyi şekilde yararlanılarak yapılması önem arz etmektedir (Başol, 1994: 18).

1.1. ENERJİ KAYNAKLARI

Üretimin yapılabilmesinde, sanayinin, tarımın ve kişilerin (hane halkının) özel gereksinimlerinin karşılanmasında kullanılan güç kaynaklarına enerji kaynakları denir.

Enerji kaynakları sınıflandırılırken; değişik kriterler dikkate alınır. Temel olarak bu ayrım şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Farklı Şekillerde Sınıflandırılması



Kaynak: Koç ve Kaya, 2015: 37.

Enerji kaynakları için en önemli husus, kaynakların rezervleri (yoğunluğu), kapasitesi, üretim ve tüketim değerleridir.

1.1.1. Fosil Yakıtlar

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlar, fosil yakıtlar olarak bilinir. Bu yakıtlar, çevre kirliliğine, küresel ısınmaya neden olan yakıtlardır. Atmosfere salınımları insan sağlığını olumsuz etkiler.

Fosilleşen hayvan, bitki ve buna benzer kalıntılardan oluşan bileşimlerdir.

Yenilenemez kaynaklardır. Yüzyıllarca toprağa gömülü olarak kalan canlı artık ve kalıntılardır. Kullanılmaları ve kullanılmamalarının getirileri ve zararları üzerine dünya çevre örgütleri çalışmalar yapmaktadır.

Fosil yakıtlar ile ilgili en önemli tartışma konusu küresel ısınmaya yol açmasıdır. Küresel ısınma, çeşitli çevresel, sosyal, sağlıksal ve iktisadi sonuçlara yol açarak ülkeler üzerinde etkilerini göstermektedir. Gıda üretimi, tarım, hayvancılık, balıkçılık, ormancılık, dış ticaret, turizm, sağlık, inşaat, iklimlendirme, lojistik ve finans-sigortacılık sektörleri, iklim değişikliği tarafından etkilenen sektörler arasında öne çıkanlardır. Küresel ısınmada gözlemlenen değişimler ekonomik sektörleri pozitif ya da negatif yönde etkileyebilmektedir. Küresel ısınma, dünya genelinde önemli bir sorun olarak kabul edilmekte olup, çeşitli diplomatik ve ticari anlaşmazlıkların konusu da olabilmektedir. Dikkat çeken bir biçimde bölgesel kuraklık, kıtlık ve hastalık gibi sorunları tetikleme potansiyeline sahiptir (Bayraç, 2010: 231).

1.1.1.1 Petrol

Petrol, günümüzde ekonomiler açısından bir enerji girdisi olarak önem arz etmektedir. Dünya toplam enerji tüketimi içerisinde petrol yüksek bir paya sahiptir. Bunun nedeni ise yaygın kullanımı ve tüketimin önemli bir biçimde yayılmış olmasıdır. Elektrik üretiminden taşımacılığa çok yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır. Petrolün oluşumu çok uzun yıllara yayılması nedeniyle enerji kaynakları sınıflandırılmasında yenilenemeyen fosil kaynaklar içerisinde yer alır (Gökçe, 2014: 144). Üretim süreçleri üretimdeki ve her alandaki sürdürülebilirlik üretim girdileri ile sağlanabilir. Sermaye, emek, girişimci nasıl bir üretim girdisiyse, enerji de bir üretim girdisidir. Enerjinin kapsamındaki petrol de diğerleri gibi girdiler arasında yer alır.

Enerjinin ekonomik büyüme süreci içerisine dahil edildiği bilinmektedir. Üretim fonksiyonunda, GSYH' nın baş aktörlerinden olan emek ve sermayenin yanında enerjinin de yer aldığı yazında da görülmektedir (Hamilton, 2012: 23).

Tüm dünyada birincil enerji talepleri arasında en yoğun kullanım petrole ilişkindir. Diğer yenilenemez fosil kaynaklar kömür ve doğal gazdır.

1.1.1.2. Taş Kömürü

Fosil kaynaklı bir yakıt olan kömür, çok uzun süredir günümüze kadar kullanılan bir enerji kaynağıdır. Kömür, bitkisel ve organik maddelerin yanı sıra inorganik bileşenlerden oluşan tortul bir kayaçtır. Bataklıklarda biriken bitki ve ağaç kalıntılarının zamanla birikerek çökelmesi ve milyonlarca yıl süren kimyasal ve fiziksel etkileşimler sonucunda oluşur. Yüksek basınç ve sıcaklık altında bitki kalıntılarının ve inorganik minerallerin sıkışması ve katılaşmasıyla meydana gelen bu kayaç, kömür olarak adlandırılır (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2023).

Kömür ayrıntılı sınıflandırmalarla değerlendirilince taş kömürü ve linyit rezervleri ülkeler ve kıtalarda rezerv bakımından ayrı ayrı gösterilir.

Tüm enerji kaynakları; petrol, doğal gaz, taş kömürü fiyatları artmaktadır. Taş kömürü fiyatlarının artmasında bazı aksaklıklar, ekonomik olumsuzluklar, bir kısım ülkelerde aşırı tüketim, taşıma ve lojistik ücretleri ile ilgili fiyat artışları, kömür piyasası ve enerji piyasasını olumsuz etkilemektedir.

Kömür, enerji kaynağı olarak birçok avantaja sahiptir. Petrol ve doğal gazın tükenme ömrüne bakıldığında 50-60 yıl olduğu halde kömürün tükenme ömrü 100-120 yıl olarak görülmektedir. Kömür, geniş bir coğrafyada 50'den fazla ülkede üretildiği için rezervleri çeşitlilik gösterir ve politika ve yönetim açısından daha istikrarlı bölgelerde yer alır. Bu durum, kömürün hammadde olarak önemini arttırır. Ayrıca, dünyanın birçok yerinde gelişmiş teknolojilerin kömür madenciliğinde kullanılmasıyla düşük üretim maliyetleri oluşur. Bu da kömürün ucuz bir yakıt olarak önemini korumasını sağlar, özellikle serbestleşen elektrik piyasasında önemlidir (Taşkömürü Sektör Raporu, 2023:19).

1.1.1.3. Doğal Gaz

Doğal gaz, yerkabuğunun içinde bulunan ve petrolün bir türevi olan fosil kaynaklı bir yanıcı gaz karışımıdır. Doğal gaz, çok uzun yıllar süresince denizlerin

okyanusların dibinde birikmiş bitkisel ve hayvansal atıkların topraklarla, taşlarla kaplanarak, yüksek basınçlarla hidrokarbonlara (C, H) dönüşmesiyle oluşur.

Doğal gazın enerji ya da yakacak olarak kullanımı, depolama, taşıma sorunları, dağıtım istasyonları vb. konular fiyatla ilgili değişmeler, doğal gazı olmayan ülkelerin durumu, ülkelerin enerji ile ilgili bakanlıklarda ve o alanda çalışan birimlerinde değerlendirilmektedir.

Doğal gazın, Çin'de M.Ö. 900'lerden itibaren kullanıldığı, tarihsel kaynaklara göre bilinmektedir. Bununla birlikte, doğal gazın yaygın kullanımı, taşınması, işlenmesi ve stoklanması kolay olduğu için 1790 yılında İngiltere'de başlamıştır. Boru hattı taşımacılığı ile birlikte doğal gaz kullanımı 1920' lerde artmış ve II. Dünya Savaşı'ndan ardından giderek gelişmiştir. Enerji üretim sektöründe doğal gazın Amerika'da ilk kez kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. 1950' li yıllarda dünya enerji tüketiminde doğal gazın payı %10' un altındaydı. Ancak günümüzde dünya enerji tüketimindeki payı yaklaşık olarak %24'tür. Dünya genelinde bulunduğu varsayılan rezervlerinin tahmini ömrü ise 70 yıl civarıdır (Vikipedi, 2023).

Doğal gaz, yer kabuğunun içinde bulunan fosil kaynaklardan elde edilen bir tür yanıcı gaz karışımıdır. Bu gaz, hem gaz hem de petrol kaynaklıdır ve enerji üretiminde önemli bir yakıt olarak kullanılır. Doğal gaz, ham petrolün ardından ikinci sırada yer alır. Genellikle %95'in üzerinde metan gazı içermektedir, bu da en büyük bileşenidir. Bunun yanı sıra, etan, propan, bütan, helyum, ozon gibi diğer gaz bileşenleri de içeriğinde bulunabilir.

Doğal gaz yaygın olarak evlerde kullanılırken, endüstriyel olarak da kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Endüstride yoğun olarak elektrik üretiminde kullanımı çok önemli bir yere ulaşmıştır. Doğal gazın temiz bir yakıt olması, çevre sorunlarında diğer fosil yakıtlar gibi olumsuzluk yaratmaması boru hatları ve basınçlı tanklar nedeniyle sıvılaştırılmış olarak taşınması, kullanımındaki kolaylıklar tercih nedeni olmuştur.

Her kullanılan ısıtma ve aydınlatma materyallerinin avantaj ve dezavantajları vardır. Veriminin yüksek olması, atıklarının olmaması, transferinin gaz halinde olması nedeniyle maliyetlerinin düşük olması, karbon emisyonunun düşüklüğü, çalışmasında zorunlu zaman aralığının olmaması doğal gazın avantajlarını oluştururken, her ülkede rezervlerinin yeterli olmaması, taşınırken oluşabilecek patlama riski, kokusuz ve renksizliği nedeniyle sızıntının fark edilememesi dezavantajlarıdır.

Doğal gaz, hem ısınma hem de elektrik üretimi alanında yoğun bir şekilde kullanılan bir enerji kaynağıdır. Dünya birincil enerji tüketiminde doğal gazın payı %22

seviyesindedir ve elektrik üretiminde ise %17'dir (Akpınar ve Başıbüyük, 2011; 121-123).

Türkiye açısından elektrik üretimi ile ilgili olarak doğal gaz kullanımı diğer enerji kaynakları ile birlikte kritik öneme sahiptir.

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Uzun vadeli belirli sürede tükenmeden devam edebilen, daha temiz ve doğaya daha az zararlı enerji kaynaklarıdır. Değişen çevre koşulları nedeniyle yenilebilir enerji kaynakları daha fazla miktarda enerji üreticilerinin ve ülkelerin gündemindedir. Güneş, rüzgâr, hidrolik, biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları giderek daha popüler olmaktadır (Kaya ve diğerleri, 2018: 220).

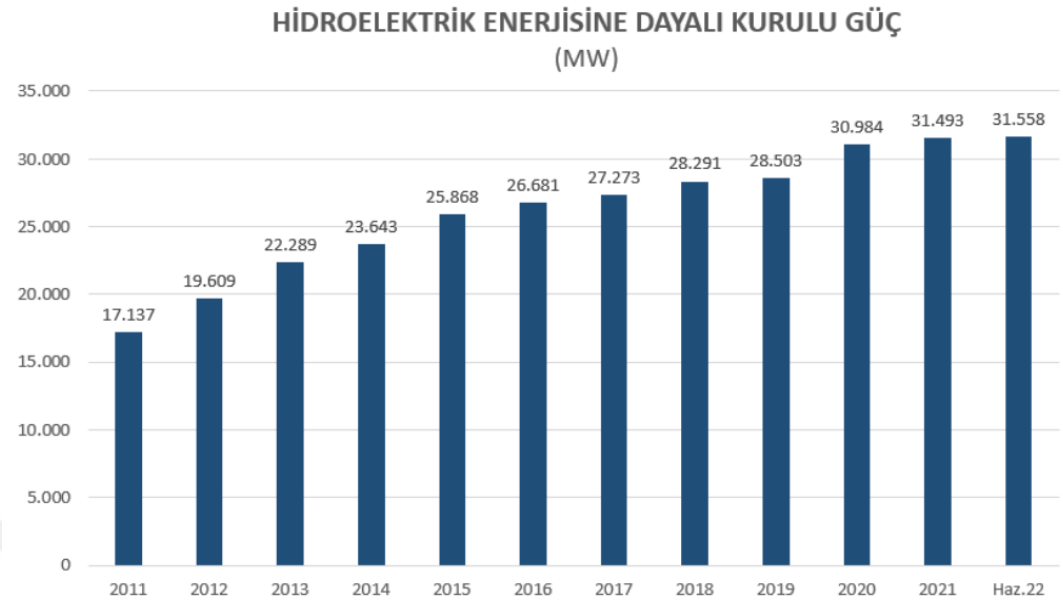
Tüm dünyada fosil yakıtların rezervlerinin tükenme sorunları ülkeleri yenilenebilir enerjiye yönlendirmektedir. Ülkeler, yenilenebilir doğal kaynaklarını kullanarak diğer enerji kaynaklarını desteklemektedir.

1.1.2.1. Hidroelektrik Enerji (Hidrolik)

Nehirler üzerinde barajlar yaparak suyu bu alanda biriktirme ve bunun potansiyel enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretme işlemidir. Hidroelektrik Santral (HES) projeleri dünyanın pek çok ülkesinde yararlanılan bir elektrik enerjisi sistemidir. Türkiye ile birlikte hidroelektrik gücü yüksek olan ülkeler Norveç, Rusya, Kanada, ABD, Çin, Hindistan ve Brezilya'dır. Bu sıralamayı Fransa, İtalya, İspanya ve İsviçre izlemektedir.

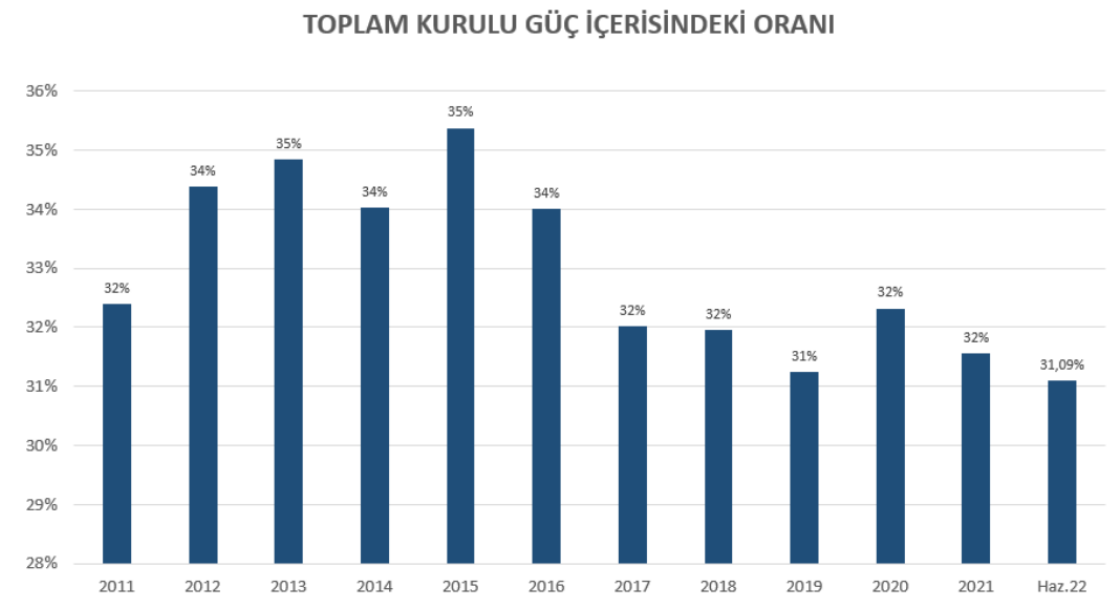
Türkiye'de, 2021 yılında hidroelektrik kaynaklı elektrik üretimi 55,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2022 mayıs sonu itibarıyla yaklaşık 35,2 milyar kWh seviyesine ulaşmıştır. 2022'nin ilk altı ayında hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 31.558 MW' tır ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31'dir. Şekil 3 ve şekil 4'te grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 2: Türkiye'de Hidroelektrik Enerjisine Dayalı Kurulu Güç



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

Şekil 3: Türkiye'de Hidroelektrik Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

HES' lerin bir takım avantajları vardır. HES' ler atık oluşturmaz ve bu açıdan kurulduktan sonra çevreyi zedelemez. Yörenin ekonomisine katkı sağlar, iş imkânları oluşturur. Yerli ve görece daha düşük maliyetlidir. İlk kurulum maliyetlerinden sonra maliyeti görece daha düşüktür.

Günümüzde ilerleyen sanayi, artan nüfus ve doğal kaynakların tehdit eden kirlenme gibi faktörlerle birlikte çevre sorunları, önceliği en yüksek meselelerden biri haline gelmiştir. Çevre sorunları sürekli olarak artmakta ve yerel düzeyden küresel düzeye yayılmaktadır, bu da uluslararası iş birliğinin kaçınılmaz hale gelmesine yol açmıştır. Sorunun artık küresel nitelikte olması nedeniyle, bir bölgedeki çevre sorununun sadece o bölgeyi değil, tüm insanları etkilediğini ve herkesin sorumluluk taşıdığını göstermektedir (Öktem, 2003: 64).

HES' lerin potansiyel çevresel sorunları, planlama, yapım, işletme ve eşgüdüm sorunu olmak üzere dört bölümde ele alınmalıdır. Planlama aşamasında, mevcut havzada bulunan bitki ve hayvan çeşitliliği dikkate alınarak HES projelerinin uygulanması gerekmektedir. Ayrıca elektrik iletim hatları ormanları tahrip edebilme potansiyeline sahiptir (Yaman ve Yaşıl, 2018: 153).

Yapım aşamasında da doğanın tahribata maruz kalması söz konusudur. Toz, trafik, gürültü doğal dengenin bozulmasında etkilidir. İşletme evresinde de yine sorunlarla karşılaşılmaktadır. HES projeleri işletime alındığında, elektrik üretimi için mevcut nehirdeki suyun büyük bir kısmı kullanılmaktadır. Suyun miktarında, akış hızında, nehrin tabanında değişimler olmaktadır. Çevresindeki ekosistemin etkilenmesi, deltaların erimesi, balık göçlerinin aksaması, can suyu sorunuyla karşılaşılmaktadır (Güneş, 2014:40). Barajlarda buharlaşmaya neden olması ise başka riskidir.

HES' ler incelenirken diğer enerji kaynakları için de geçerli olan olumlu ve olumsuz sonuçlar kesinlikle irdelenmelidir. Bazı enerji kaynakları çevre dostu olarak değerlendirilir. Hidroelektrik santraller için de böyle değerlendirmeler vardır. Tüm dünyada fayda-zarar ilişkisinin analiz edilmesi; çevre sorunlarının engellenmesi, ekosistemin harabiyetine neden olmama çalışmaları dünya için en önemli konulardandır.

1.1.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, farklı ülkelerde değişik kullanım alanı bulmaktadır.

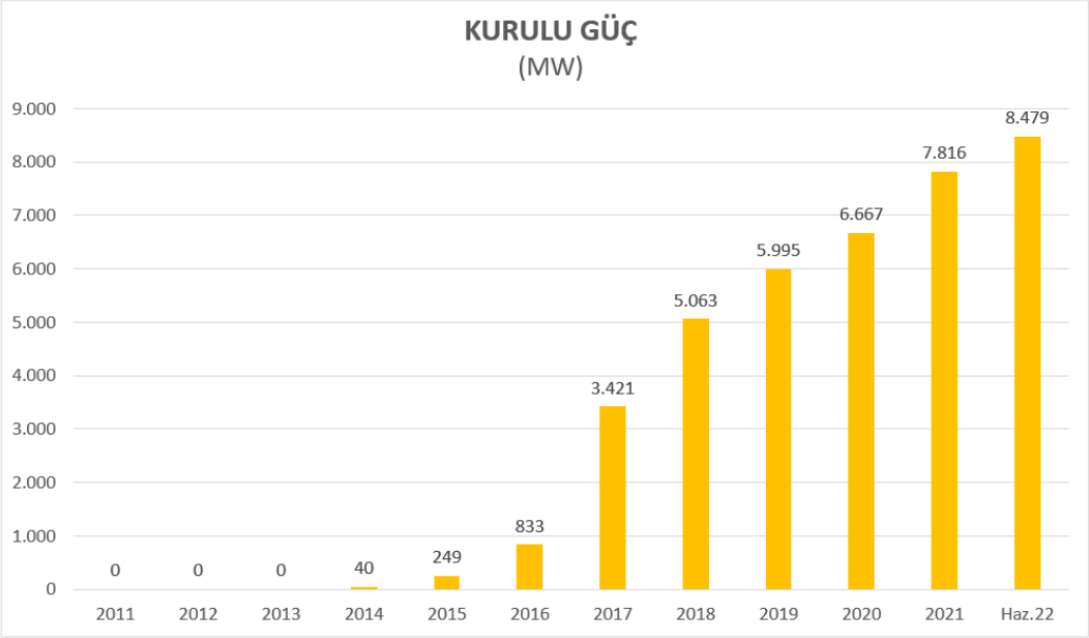
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi en büyük potansiyele sahip olan enerji türüdür. Güneş enerjisi, karbon salınımını azaltma, enerji maliyetlerini düşürme ve çevremize temiz bir enerji kaynağıyla konfor sağlama açısından önemli bir rol oynar. Güneş enerjisi kullanılarak su ısıtma veya güneş pilleriyle elektrik üretimi gibi sistemler kurulduğunda, bu sistemler kendi kendine yeten sistemler haline gelmektedir.

Güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji kaynaklarının ve sunumundaki üretimin çeşitlendirilmesi, bölgesel ve kırsal bölgelerde gelişim açısından büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Bu durum, çeşitli sosyoekonomik faydalar sağlamakta ve maliyetlerin azalması ve sürekli ilerleyen teknolojilerin gelişimiyle birlikte ciddi istihdam imkânları sunmaktadır. (Rio ve Burguillo, 2009: 1315).

Güneş enerjisiyle elektrik üretimiyle ilgili yapılan çalışmalar, ticari ürünlere dönüşmesi açısından diğer enerji kaynaklarına göre daha kolay, uygulanabilir ve düşük maliyetli olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, elektrik enerjisi üretimi büyük bir öneme sahiptir (Ralph ve Linder, 1996: 300).

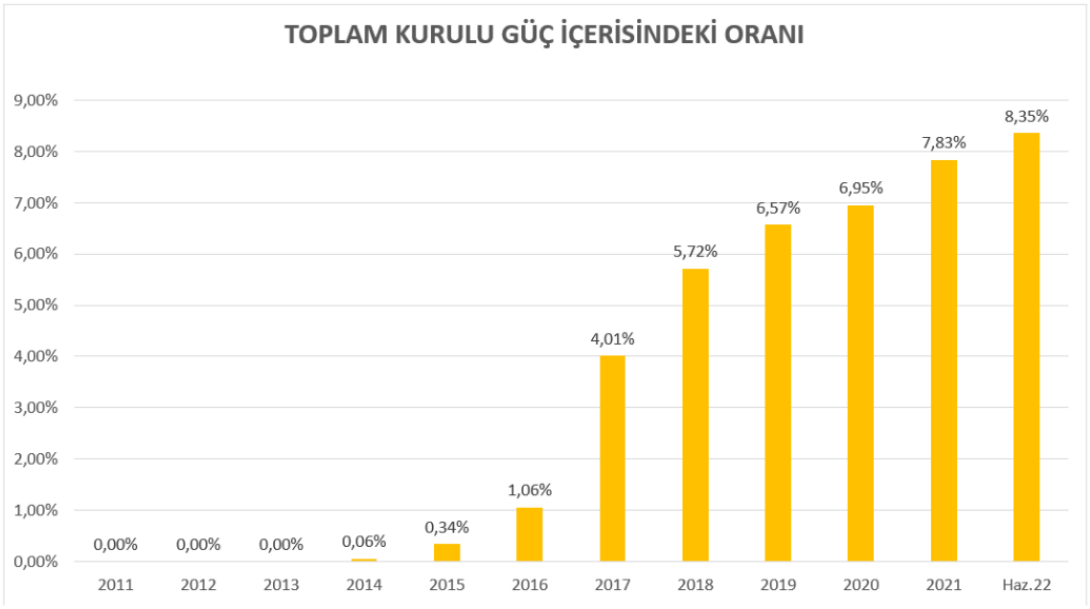
T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası' na (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde ortalama yıllık toplam ışınım değeri ise 1.527,46 kWh/m2 olarak hesaplanmıştır. 2022'nin ilk altı ayında güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 8.479 MW' tır ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35'tir. Türkiye'nin güneş enerjisi kapasitesine ilişkin grafikler aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 4: Türkiye'de Güneş Enerjisine Dayalı Kurulu Güç



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

Şekil 5: Türkiye'de Güneş Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından İspanya ve Fransa gibi en yakın ülkelerine göre yaklaşık yüzde 30 daha fazla potansiyele sahip olan bir ülkedir. Bu yüksek potansiyelin en önemli faktörlerinden biri, Türkiye'nin yeryüzündeki konumu dolayısıyla yıl boyunca güneşli gün sayısının fazla olmasıdır. Bu durum, Türkiye'yi güneş enerjisi üretimi açısından oldukça avantajlı kılmaktadır (Taktak ve Ilı, 2018: 2).

1.1.2.3. Nükleer Enerji

Atom çekirdeklerinin fizyonu, zincirleme tepkimesi kaynaşması esnasında ortaya çıkan enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer enerji santralleri bu işin ortaya çıkmasını sağlayan santrallerdir. Nükleer santrallerde (reaktörlerde) büyük enerjiyle sıvı ısıtılarak elektrik enerjisi üretimi sağlanır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

Nükleer enerji ve nükleer santraller ile ilgili olarak santralin yapımı, çalışması ve hizmet dışı kalması durumunda oluşacak her türlü olumsuzluk karşısında önlemler alınmalıdır.

Türkiye'de nüfus artışı, sanayileşme ve refah düzeyindeki artışla birlikte enerji talebi sürekli olarak artmaktadır. Bu süreçte, dışa bağımlı enerji kaynaklarının alternatifleri araştırılmış ve yerli kaynakların kullanımı ön plana çıkarılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr, güneş ve hidroelektrik enerjisinin yanı sıra nükleer enerji de sıklıkla tartışılan bir seçenek olmuştur. Türkiye'nin sınırlı enerji kaynaklarına sahip olması ve kendi enerji ihtiyacının yalnızca %30'unu karşılayabilmesi, ülkenin enerji bakımından dışa bağımlı bir konuma gelmesine ve nükleer enerji ile enerji ihtiyacını karşılama yolunda ilerlemesine neden olmuştur (Öztürk ve Türk, 2013: 6-7).

Anlaşıldığı üzere ülkeler enerji ihtiyaçlarını yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından sağlamaya çalışırlar. Ülkemizde de aynı yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda Akkuyu' da nükleer santralin bitirilmesi ve devreye alınılması için çalışılmaktadır.

Nükleer enerjiyi destekleyenler, nükleer enerjinin radyasyon riskinin abartıldığı, diğer enerji kaynaklarına kıyasla yüksek verimlilik sağladığı ve çevreye salınan atık miktarının düşük olduğu iddialarını ortaya koymaktadır. Karşı çıkan grup ise başta radyasyon kaynaklı insan sağlığının risk altında olduğunu, çevresel sorunların yaygın şekilde görüleceğini ve ekonomik getirilerin beklenenden düşük olacağını iddia etmiştir.

Devletler ve ülkeler doğal kaynaklarına, fosil yakıtlarına, yenilenebilir enerji olanak ve rezervlerine uygun olarak politikalar geliştirirler. Gelişmekte olan ülkelere göre daha fazla enerji üretmek ve tüketmek zorundadırlar. Bu noktada enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtlar ve yenilenebilir kaynaklar düzeyinde dengeli olmalıdır. Çok fazla fosil yakıt kullanılması ekolojik sorunları artırırken, asit yağmurlarını oluşturmaktadır. Ozon tabakasının delinmesi, ormanların yok olması, dünya için kötü sonuçlar doğmasına neden olur (Aydem Perakende, 2023).

Nükleer enerjinin de çevreyle ilgili getirileri yanında her olayda Çernobil'i anımsatması nedeniyle maksimum dikkatle kurulması ve çalıştırılmasına gereksinim vardır.

Nükleer enerjiyi tercih ederken ülkeler çeşitli nedenleri ölçüt alırlar (Bockris ve diğerleri, 2002: 41):

- Nükleer enerji, termik santrallerin aksine atmosfere karbondioksit salmaz, böylece sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur.
- Nükleer enerji çevreyi kirletmez, çünkü hava kirliliğine neden olan duman, toz ve partikül salınımı gibi sorunlar ortaya çıkmaz.
- Bir ülke, nükleer enerji ürettiğinde doğal uranyum ve toryum gibi yerli nükleer yakıt kaynaklarını kullanabiliyorsa, enerji kaynakları açısından dış ülkelere bağımlı olmaz.

- Nükleer enerjinin kullanılması, yeni teknolojilerin ülkeyi farklı alanlarda, teknolojik, kültürel, ekonomik vb. zenginleştirebileceği düşünülmektedir.
- Nükleer enerji sektörü, nitelikli personel potansiyelini artırabilir, çünkü karmaşık teknolojilerin yönetimi ve güvenlik standartlarının uygulanması konusunda uzmanlaşmış insan kaynağı gerektirir.
- Üretim birim fiyatı, termik santrallere kıyasla daha düşük olan nükleer enerji, güçlü bir ekonomik fırsat sunar.

Nükleer enerjinin kullanımının dezavantajları da göz ardı edilmemelidir. Nükleer enerjinin başlıca özelliği, kömür ve petrol gibi diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan yakıtın (uranyum) kullanılmasıdır. Bu durum, daha az miktarda yakıtın ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır. Ancak, nükleer enerjinin beraberinde getirdiği en önemli sorun, kansere neden olduğu bilinen ve son derece tehlikeli olan radyasyondur. Bu husus, göz ardı edilmemesi gereken bir gerçektir (Bockris ve diğerleri, 2002: 41). Nükleer enerjinin dezavantajları şöyle sıralanabilir (Dura, 1991: 281):

- Nükleer kirlenme riski: Nükleer enerji üretiminde yaşanabilecek kaza veya sızıntılar, çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar verebilir.
- Uranyum arzının yetersizliği: Uranyum gibi nükleer yakıt kaynaklarının sınırlı olduğu düşünülmektedir. Bu durum, uzun vadede enerji tedarikini sınırlayabilir.
- Nükleer santrallerdeki kaza riski: Nükleer santrallerin işletiminde yaşanabilecek kazalar, büyük çaplı felaketlere neden olabilir ve radyasyon salınımıyla ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.
- Nükleer silahlanma: Nükleer enerji teknolojisi, nükleer silah üretimi için kullanılabilir. Bu durum, uluslararası güvenlik ve dengeler açısından endişe yaratır.
- Nükleer enerjinin iktisadi olmayışı: Nükleer enerji santrallerinin inşası ve işletimi oldukça yüksek maliyetlidir. Bu da enerji fiyatlarını artırabilir ve ekonomik olarak sürdürülebilir olmayabilir.
- Nükleer malzemenin yasadışı kullanımı: Nükleer malzemelerin yasadışı şekilde ele geçirilmesi veya kötü niyetli amaçlarla kullanılması, küresel güvenlik risklerini artırır.

1.1.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynaklar, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde biriken ısının oluşturduğu sıcak su, buhar ve gazlar içeren kimyasalları içerir. Jeotermal enerji, yer

kabuğunun derinliklerinde bulunan sıcak kaya ve akışkanların, ince katmanları aşarak yeryüzüne çıkarılması yoluyla kullanılmasıdır (Dağlı, 2021:17). Yer kabuğunun derinliklerinde henüz soğumamış magma kütlesinden kaynaklanan ısıyla meydana gelen bir enerji şeklidir. Bu enerji, yer altında biriken meteorik suların gözenekli ve geçirgen özelliklere sahip rezervuar kayalarda toplandığı bir süreçle ortaya çıkar. Rezervuar kayaların üzerinde ise geçirimsiz bir örtü kaya bulunur. Bu şekilde, ısı, yer kabuğunun çatlak ve kırıkları boyunca dolaşan sular aracılığıyla yeryüzüne taşınır, böylece hidrotermal sistemler oluşur. Eğer yer kabuğu içinde doğal su oluşumu için uygun kırıklar bulunmuyorsa, ancak hala ısı birikimi mevcutsa, akışkanlarla yapay kırıklar aracılığıyla dolaştırarak enerji elde etmek mümkündür.

Jeotermal enerjiden dünya genelinde birçok ülke faydalanmaktadır. Bu enerji kaynağı elektrik üretimi ve doğrudan kullanım için kullanılırken, sanayi, turizm sektörü, konut ısıtması, sağlık hizmetleri, gıda kurutma işlemleri ve içme suyu sağlanması gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Erkul, 2012: 119).

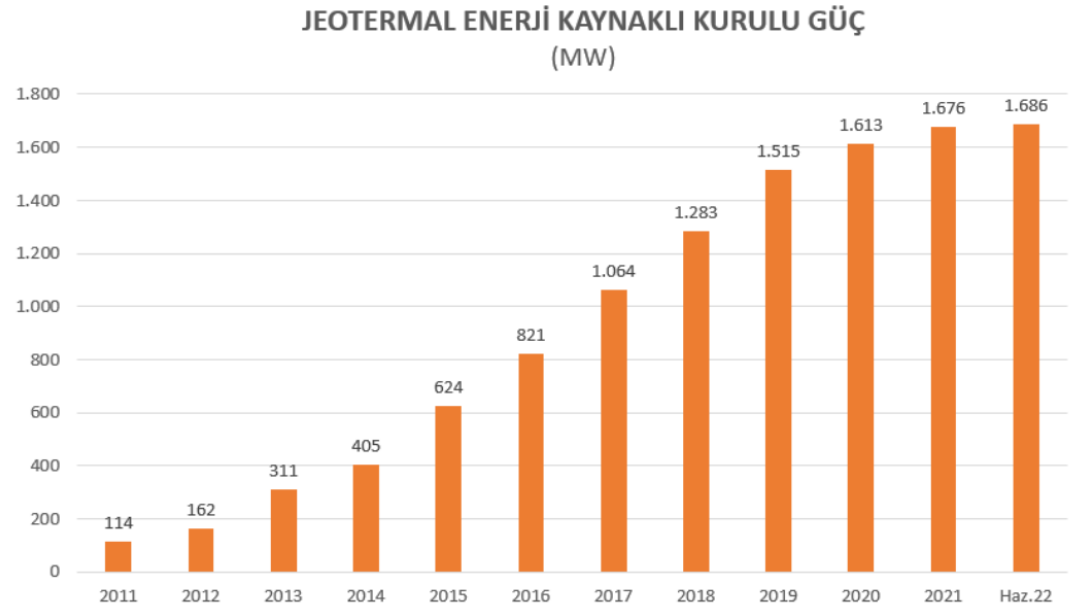
Tropikal bitki yetiştirme, havaalanı pistlerinin ısıtılması, konut ısıtması, kent ısıtması, sıcak su temini, toprak ve yol ısıtması, sera ısıtması, yüzme havuzları ve fizik tedavi merkezlerindeki ısıtma gibi çeşitli endüstriyel uygulamaların yanı sıra jeotermal enerji elektrik üretimi için de kullanılmaktadır. Ayrıca konserve üretimi, yiyecek kurutma ve sterilizasyon, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayi, kağıt dokuma ve boyama, deri kurutma ve işleme, bira ve diğer endüstrilerde mayalama ve damıtma, soğutma tesisleri, beton blokların kurutulması, soğutma amaçlı içme suyu kullanımı, çamaşırhane ve yıkama tesisleri, sağlık amaçlı kaplıcaların (balneoloji) kullanımı gibi çeşitli alanlarda faydalanılmaktadır (Dağdaş, 2004: 38).

Jeotermal enerjinin başlıca avantajları şunlardır:

- Jeotermal enerji yenilenebilir ve sürdürülebilir tükenmeyen bir enerji türüdür.
- Temiz ve çevreye dost bir enerji türüdür.
- Fosil enerjiye ve diğer alternatif enerji kaynaklarına göre maliyeti daha azdır.
- İnsan sağlığını birebir etkileyen rüzgârlar, güneş ve yağmurlar bu enerji türünü çok etkilemez.
- Devreye alma, işletme, bakım ve tesisat ömrü bakımından uygun bir enerji türüdür.
- Lokal, bölgesel bir enerji türüdür. Ülkelerarası sorunların nedeni olmaz.
- Jeotermal ısıtma sistemleri ve üretim santrallerinde azot emisyonu ve sülfür dioksit emisyonu hiç yoktur.

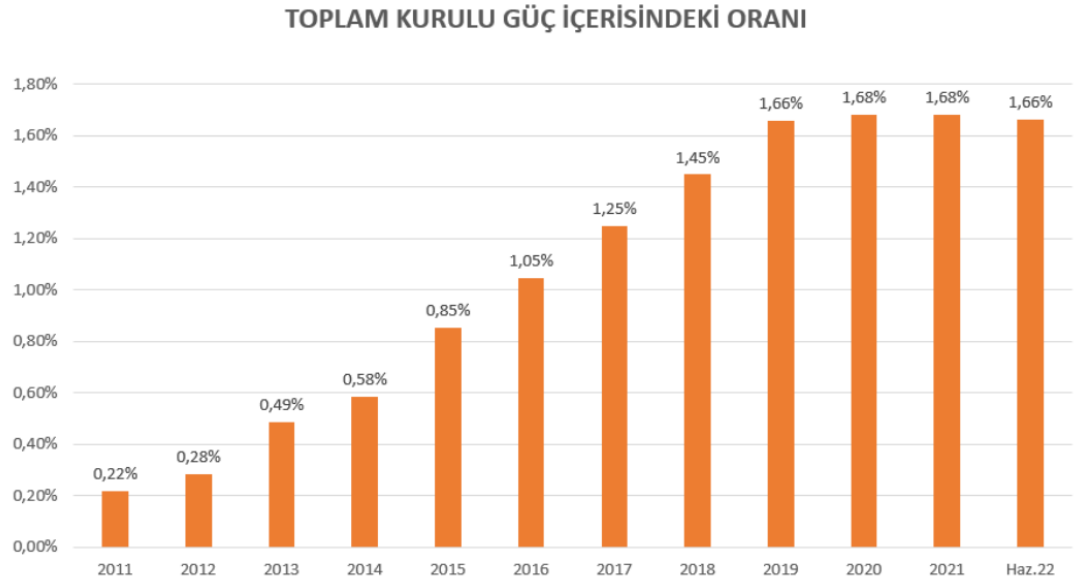
Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksektir ve bu potansiyeli oluşturan alanların dağılımı aşağıdaki gibi belirlenmiştir: Batı Anadolu'da %78, İç Anadolu'da %9, Marmara Bölgesi'nde %7, Doğu Anadolu'da %5 ve diğer bölgelerde %1. Jeotermal kaynaklarımızın %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta bulunmaktadır ve bu kaynaklar doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için kullanılmaya uygundur. Diğer yandan, elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı kullanımlar için uygun potansiyele sahip olan jeotermal kaynaklarımızın oranı %10 civarındadır. Haziran 2022 itibariyle, jeotermal enerjinin bölgesel ısıtma ve elektrik üretimi alanlarında yaygın olarak kullanıldığı ifade edilmektedir. Jeotermal enerjinin kurulu gücü 1686 MW olarak kaydedilmiş ve toplam kurulu güç içindeki oranı %1,66 olarak belirtilmiştir. Aşağıda grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 6: Türkiye'de Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

Şekil 7: Türkiye'de Jeotermal Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

1.1.2.5 Rüzgâr Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları, teknoloji kullanımında hızla ilerleyen ve fosil kaynaklı enerji kaynaklarıyla rekabet edebilme potansiyeline sahip olan kaynaklardır. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr tribünleri aracılığıyla rüzgârdaki enerjiyi dönüştürerek elektrik enerjisine çeviren sistemlerin kullanılmasıyla önemli bir kaynak olarak kabul edilir. Rüzgâr tribünleri, dönme ekseni, devir hızı, güç kapasitesi, kanat sayısı, rüzgâr etkisi, dişli özellikleri ve kurulum konumu gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir. Rüzgâr enerjisiyle ilgili çalışmalarda, bu özelliklerin incelenmesinin yanı sıra enerji depolama yöntemleri de analiz edilmektedir (Elibüyük ve Üçgül, 2014: 1).

Rüzgâr enerjisi ve bu enerjiye koşut olarak elektrik enerjisi üretilmesi temiz enerji bağlamında çok önemlidir. Rüzgârın sınırsız bir kaynak olması da avantajlı yönüdür. Rüzgârdan yararlanılarak yapılan yel değirmenleri yıllarca öğütme işlevinde yer alırken, yelkenli gemilerin ulaşımında etkili oluşu ve iki yüz yıldan beri elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, rüzgâr enerjisinin yenilenebilir enerji oluşu rüzgârı da enerji üreteçleri arasında bir yere koymuştur.

Elektrik üretiminde yararlanılan elektrik tribünlerinin çevreye ve ekosisteme vereceği avantaj ve dezavantajları da belirtmek gerekmektedir.

Rüzgâr enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir (Turhan, 2009: 60):

- Yenilenebilir ve temiz enerji kategorisinde bir enerji türüdür.

- Rüzgâr santrallerinin kurulma süresi çok kısadır.
- Rüzgâr santrallerinin olduğu alanlarda enerji gereksinimi sorununu çözdüğü için ulaşım kolaylaşır. Çevrede santrallerin dışındaki alanda tarım ve hayvancılık yapılma olanağı da olur.
- Çevrede istihdamı artırır.
- En önemlisi de işlemler sırasında CO2 salınımı oluşmaz.

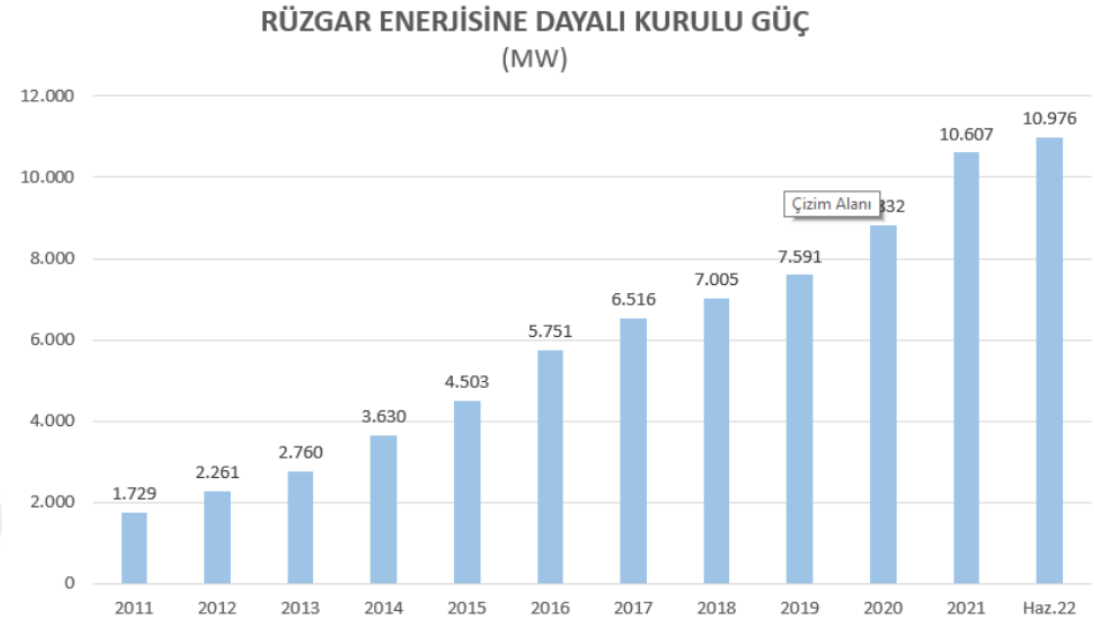
Rüzgâr enerjisinin doğada yaratacağı olumsuzluklar ise şöyle değerlendirilebilir (Turhan, 2009: 62):

- Kurulan rüzgâr tribünleri kuşların göç yolları üzerindeyse kuşların geliş gidişlerinde, kuş ölümlerine neden olabilmektedir.
- Bu tribünlerin ilk yatırım ve kuruluş maliyetleri bazı parçalarının yurt dışından gelmesi nedeniyle oldukça yüksektir.
- Kurulacak alanların doğru seçilmesindeki sorunlar, ulaşım zorlukları, ÇED raporları ve bürokrasi, zamanlamayı uzatır.

Dünya genelinde rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi oldukça zorlu bir görevdir. NASA'nın yaptığı çalışmalar sonucunda, dünyanın (50 derece kuzey ve güney enlemleri arasında kalan bölge) rüzgâr enerjisi teknik potansiyelinin yaklaşık olarak 26.000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyel değer, dünya elektrik enerjisi gereksiniminin oldukça üzerindedir. Ancak, tüm potansiyelin ekonomik, estetik ve fiziksel kısıtlamalar nedeniyle kullanılması mümkün olmayacaktır. Elde edilen bu değer, aktif olarak sadece %1 bile kullanılsa, dünya elektrik enerjisi talebinin %10'unu karşılayabilecek seviyededir. Bu durumda bile dünya çapında rüzgâr enerjisi potansiyeli önemli bir büyüklüğe sahiptir. Rüzgâr santralleri, termik, hidrolik ve diğer santrallerle ekonomik olarak rekabet edebilecek seviyeye ulaşmıştır. Kwh başına maliyet zamanla azalacaktır (Turhan, 2009: 28).

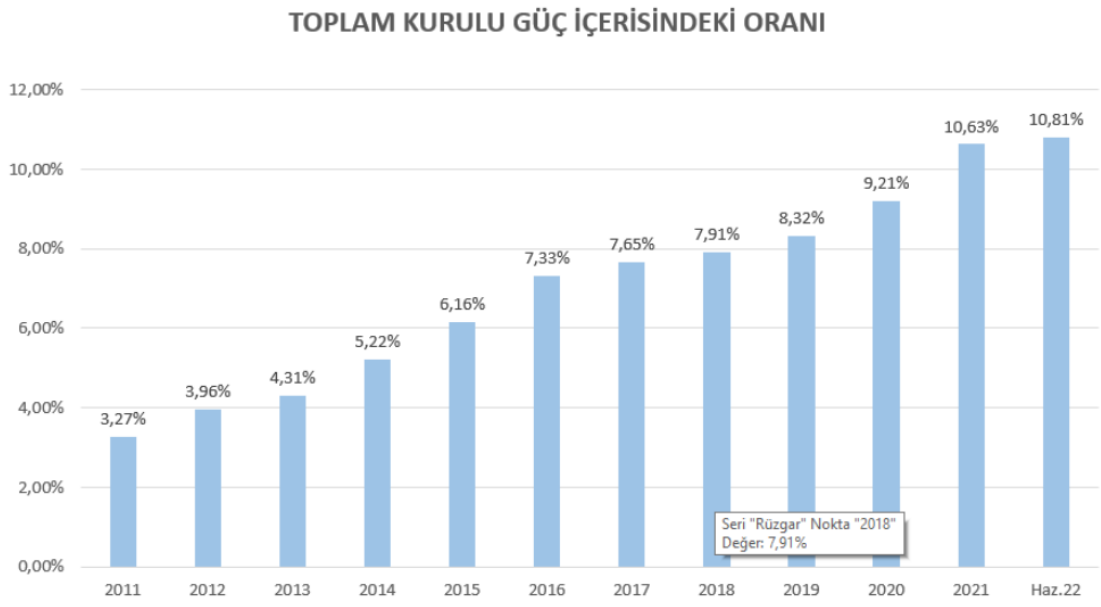
Haziran 2022 itibariyle, Türkiye'de rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 10.976 Mw olarak kaydedilmiş olup, toplam kurulu güç içindeki oranı %10,81'dir. Şekil 8 ve şekil 9'da grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 8: Türkiye'de Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

Şekil 9: Türkiye'de Rüzgâr Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.

1.1.2.6. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle; fosil dışında, biyolojik yapılı organik madde kütlesi olarak ifade edilebilir. Hayvansal ve bitkisel kökenli karbonhidratlar temel bileşenleridir. Bu bileşenlerden oluşan enerji biyokütle enerjisidir.

Örnek vermek gerekirse;

- Tarımsal atıklar (mısır koçanları, saman, yağlı tohumlar)
- Bitki kökenli artıklar,
- Şehir ve kanalizasyon atıkları, endüstriyel atıklar
- Karbonhidrat (patates, buğday, pancar, mısır)
- Hayvan kökenli artıklar,
- Odun,
- Elyaf bitkileri (keten, kenevir, sorgun)
- Organik ve endüstriyel atıklar,

Biyokütle enerjisi de yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Tüm evrende enerji kaynakları arasında büyük bir potansiyel vardır. Üretilen biyokütle zaman, zaman miktar olarak değişse de %10'u civarında ticari olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle katı, sıvı, gaz olarak kullanılabilir. Biyokütle, elektrik üretme, yakıt üretme ve ısınma alanında kullanılır. Biyokütle enerjisi de alternatif enerjilerdendir. Şekilde görüldüğü gibi elde edilen biyoyakıtlar biyokütleden elde edilen ürünlerdir.

Şekil 10: Biyoyakıtların Sınıflandırılması

Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlar

Katı Biyoyakıtlar	***Sıvı Biyoyakıtlar***	***Gaz Biyoyakıtlar***
➢Peletler	➢Biyodizel	➢Biyogaz
	➢Biyoetanol	➢Biyosentez
	➢Biyometanol	➢Biyohidrojen
	➢Biyodimetil eter	
	➢Biyoyağ	
	➢Biyobütanol	

Kaynak: Işık ve Yavuz, 2022: 196

Dünyadaki nüfus artışı, hızla artan sanayileşme hamleleri ekosistemdeki değişiklikler, çevre kirliliğinin artışı, tüm dünyayı mümkün olduğu kadar fosil yakıtlardan

uzaklaştırmaktadır. Çevre, ekosistem ve iklim değişiklikleri üzerine çalışan, çevreci kuruluşlar, temiz enerji, temiz dünya üzerine çalışmalar yaparken yenilenebilir enerjilerde de optimal düzeyde, dengelenerek kullanılması için çalışmalar yapmaktadırlar.

Biyokütle enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir (Türe, 2001: 3):

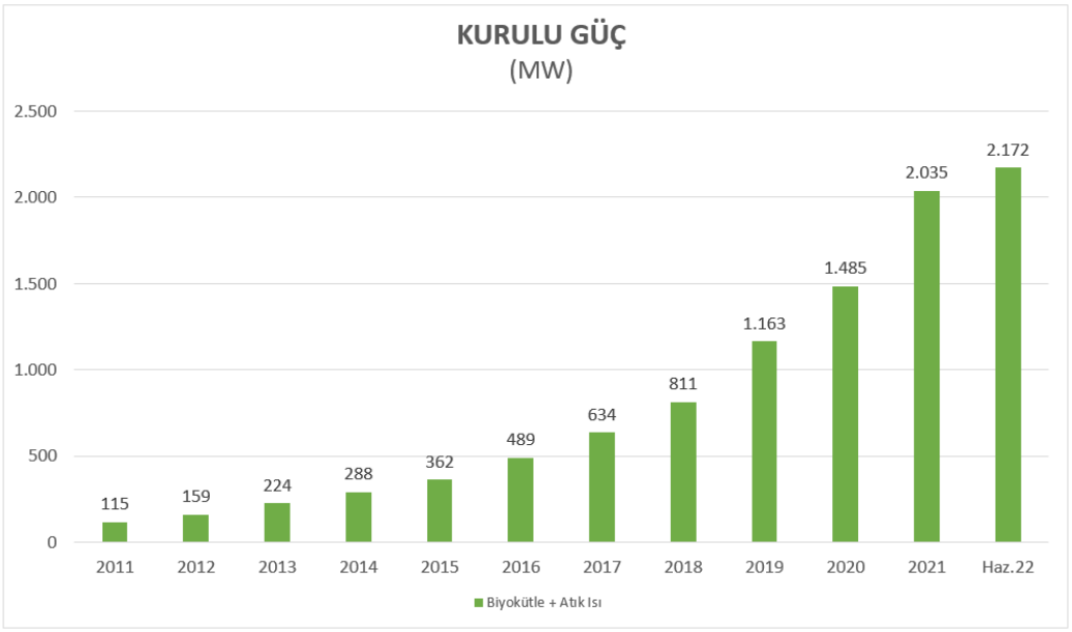
- Her alanda oluşturulabilme ve yetiştirilebilme olanakları vardır.
- Depolanabilir olması mümkündür.
- Biyokütle enerjisinin sera etkisine kıyaslamalı olarak kısıtlı yol açması tercih nedenlerinden biridir.
- Atmosferdeki gaz dengelerine diğer bazı enerji türlerine göre olumlu sonuçları vardır.
- Asit yağmurları bu enerji türünde yoktur.
- Çevre kirliliği oluşturmaması yararlı bir özelliktir. (NOx ve SO2 salınımları çok düşüktür.

Biyokütle enerjisinden taşıtlarda, elektrik ve ısı üretiminde faydalanılmaktadır. Bu işlevleri için geleneksel ve endüstriyel yöntemlerden yararlanılmaktadır. Biyokütle enerjisinin ısı ve elektrik enerjisine çevrimi için yakma yöntemi kullanılır.

Biyokütlenin diğer yakıtlara denk alternatif olarak katı, sıvı, gaz şeklinde biyoyakıt üretim süreci doğrudan yakım ile sağlanan çeşitli kimyasal tepkimelerle yaratılmaktadır (Kapluhan, 2014: 99)

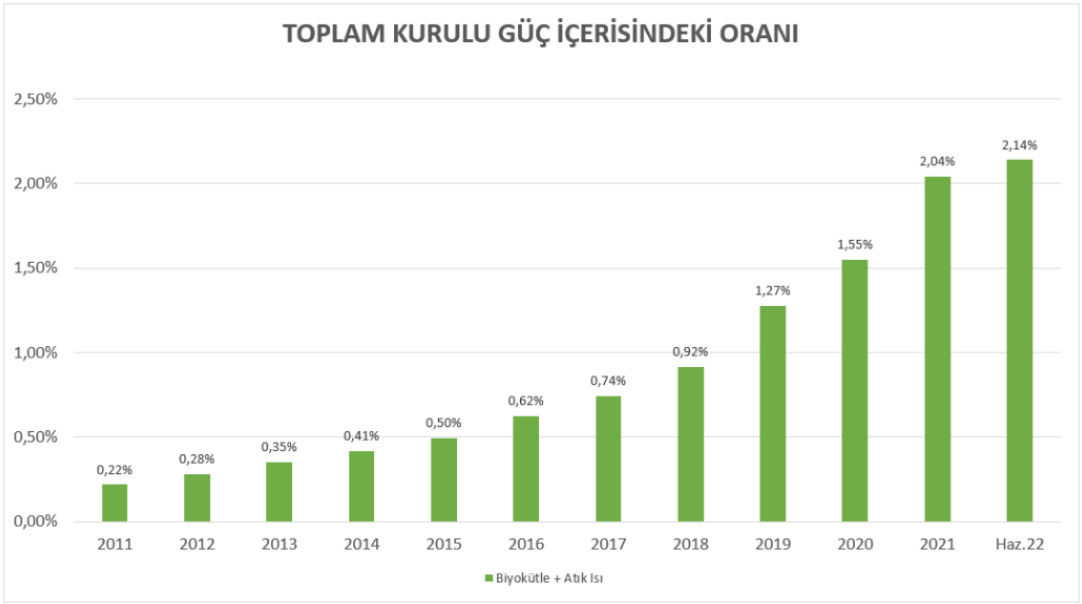
Biyokütle enerji potansiyelini belirlemek amacıyla hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre, değerlendirilebilecek atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık olarak 3,9 MTEP/yıl olarak tahmin edilmektedir. Bu enerji türünde haziran 2022 itibariyle kurulu güç 2.172 Mw olarak belirlenmiştir. Bu güç, toplam kurulu gücün %2.14'ünü oluşturmaktadır. Aşağıda grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 11: Türkiye'de Biyokütle Kaynaklı Kurulu Güç



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

Şekil 12: Türkiye'de Biyokütle Enerjisine Dayalı Gücün Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

1.2. ENERJİ PİYASALARI

Enerji sektörü tüm dünyada kritik bir öneme sahiptir. Sanayi, tarım, üretim ve tüm sektörleri direkt etkiler ve bu açıdan bakıldığında birçok ülkede sıkı bir şekilde takip edilmektedir. Enerji talebi; nüfus artışı, yeni sektörlerin oluşması, teknolojinin ilerlemesi gibi nedenlerle artmaktadır. Artan enerji talebine karşı enerji sağlayıcılar bu taleplere karşılık vermek için yoğun çaba sarf etmektedirler.

Tüm dünyada fosil yakıtların ömürlerinin belirli olması nedeniyle alternatif ve daha ucuz olan yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir kayma söz konusudur. Giderek yenilenebilir enerji kaynakları gelişmektedir.

Türkiye'nin enerji kaynakları ve enerji piyasaları başlığı altında elektrik üretimi, doğal gaz ve petrol kaynaklı tüketimi incelenir. Bu üç enerjinin unsuru ülkenin temel girdilerini oluşturmakta aynı zamanda ekonominin cari dengesinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda doğru politikalar doğru ve gerçekçi durum saptamaları, ülkenin enerji piyasaların gelişmesinde önemlidir.

Enerji piyasalarında tüm dünyada üç temel kriterin özel bir yeri vardır:

- Sürdürülebilirlik: Tüm enerji kaynakları için önemli olsa da enerji kaynakları bakımından hassas olarak değerlendirilmesi gerekir.
- Rekabet edebilme ve rekabet gücünü artırabilme: Yeni enerji kaynaklarına ulaşabilme, bulabilme, rezervlerin yüksekliği rekabet etme gücünü arttırır.
- Arz güvenliği: Enerjinin sağlandığı ülkelerin siyasi durumu arz güvenliğini etkilediği gibi enerjinin ülkeden ülkeye taşınması, nükleer enerjinin olası radyasyon vb. zararlı sızıntıları; fosil enerjilerin iklim değişikliğine ve çevre kirliliğine olumsuz etkileriyle karşılaşılmasının engellenmesi çalışmaları vb. arz güvenliğinin kaçınılmaz olgularıdır.

Bu bölümde enerji piyasalarının alt başlığında petrol piyasaları, doğal gaz piyasaları ve elektrik piyasaları incelenecektir.

1.2.1. Petrol Piyasası

Petrol, fosil enerji kaynaklarındandır. Taş anlamındaki Petrol ve yağ anlamındaki oleum sözcüklerinin birleşiminden oluşmuştur. Muhteviyat olarak karbon ve hidrojenden oluşur. İçinde az miktarda kükürt, hidrojen ve oksijen vardır. Petrol rezervleri çok olan, petrol çıkaran ülkeler, bu petrolü ihraç etmeleri yanında ülkelerinin gereksinimleri içinde kullanırlar. Bu piyasa ülkelere ekonomik ve finansal kaynak sağlamaktadır. Petrol alıcısı ülkeler için ise finansman kaynakları parasal çıkışlardan

ötürü olumsuz etkilenir. Reel milli gelirleri düşer. Yüksek petrol fiyatları nedeniyle, dünyadaki petrol ülkeleri ekonomik göstergelerden, olumlu veya olumsuz etkilenebilirler.

Petrol piyasasının kendine has bir takım özellikleri bulunmaktadır (Dağlı, 2021: 25-26). Bunlar;

- Petrol çıkartan firmaların yatırım tercihleri ekonomik dengeleri etkileyebilir.
- Bu piyasada arz ve talebin bir dengesi söz konusudur. Fiyatlar ciddi bir şekilde genellikle değişmez ve öngörülebilir.
- Petrol rezervi bulma ve petrol ürünleri geliştirme çalışmaları için teknoloji gereklidir ve yeni nesil teknolojiler yakından izlenir.
- Ülkelerin ekonomik düzeyleri, gerek ithalat yapan gerekse ihracat yapan ülkeler olsun petrolü ekonomik satın almak ya da değerli satmak isterler. Bu nedenle ithalat ve ihracat yapan ülkelerin özellikleri kritiktir.
- Petrol yapısı gereği bir doğal kaynaktır ve ekonomileri rahatlama fonksiyonuna sahip olduğu için, petrol piyasası düzenlemelerinde mevcut ülkelerde ya da uluslararası alanda imtiyazlara sahiptir.

1.2.1.1 Dünya Petrol Piyasası

Dünya petrol piyasasının önemli özellikleri ve ayırt edici özellikleri vardır (Ercan, 1996: 6). Ülkelerdeki petrol fiyatlarının kontrol altında tutulabilmesi için petrol üretimine limitler konularak planlı üretim yapılır.

Uluslararası petrol şirketlerinin yatırım politikaları, dünya ekonomik dengelerini olumsuz değiştirebilir. Büyük petrol şirketleri, yeni petrol aramalarında ve petrol çıkarımlarında büyük ve maliyetli yatırımlara gereksinim duyarlar. Ülkelerin petrol arama, üretim çalışmaları esnasında raporlama, muhasebeleştirme ve diğer uygulamalardaki farklılıklar dikkatle izlenmelidir. Petrol piyasalarında petrol ithal eden ülkeler ucuz petrole ulaşmak için, ithal eden ülkeler ise piyasayı yükseltme amacıyla hedefler belirler. Ülkelerin petrol rezervleri, petrolle ilgili ülke yasaları ve karmaşıklıklar dünya konjektürü özenle incelenmelidir. Dünyadaki toplam rezerv miktarı tablo 1'deki gibi gösterilmektedir.

Tablo 1: Dünyadaki Toplam Rezerv Miktarı(Milyar Varil)

YIL	Dünyadaki Toplam Rezerv Miktarı
1980	682,6
1990	1.000,9
2000	1.300,9
2010	1.636,9
2020	1.732,4

Kaynak: Durak, 2022: 11.

Dünyadaki petrol rezervlerinin ülkelere ve yıllara göre dağılım miktarlarına tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 2: Dünyadaki Petrol Rezervlerinin Ülkelere ve Yıllara Göre Dağılım Miktarları (Milyar Varil)

Ülke	**1991 Yılı Rezervleri**	**2000 Yılı Rezervleri**	**2010 Yılı Rezervleri**	**2019 Yılı Rezervleri**	**2020 Yılı Rezervleri**
Venezuela	62,6	76,8	296,5	303,8	303,8
S.Arabistan	260,9	262,8	264,5	297,6	297,5
Kanada	40,1	181,5	174,8	169,1	168,1
İran	92,9	99,5	151,2	157,8	157,8
Irak	100	112,5	115	145	145
Kuveyt	96,5	96,5	101,5	101,5	101,5
BAE	98,1	97,8	97,8	97,8	97,8
Rusya	---	112,1	105,8	107,8	107,8
Libya	22,8	36	47,1	48,4	48,4
Nijerya	20	29	37,2	36,9	36,9
ABD	32,1	30,4	35	68,8	68,8
Kazakistan	---	5,4	30	30	30
Katar	3	16,9	24,7	25,2	25,2
Diğer	203,7	143,7	155,8	145,1	143,8
Toplam	**1.032,70**	**1300,9**	**1636,9**	**1734,8**	**1732,4**

Kaynak: Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği, 2023.

Tüm evrende, yeryüzünün altında rezerv bakımından ne kadar petrol olduğu ve ne kadar üretim yapılabileceğini kesin olarak bilmek olası değildir. Bu nedenle bu

konudaki tablolar ve veriler en iyi bilgiye dayanan öngörü ve tahminlerden oluşturulmuştur. Bu rezerv miktarları, ülkeler için ekonomik ve stratejik önem taşımaktadır.

Dünyadaki yeni rezervlerin araştırılması ve keşfiyle, teknolojideki ilerlemeye bağlı olarak mevcut rezervlerin daha verimli ve etkin kullanılmasıyla, petrol üreticilerinin kendi çıkarlarına uygun olarak rezervlerini farklı gösterimiyle petrol rezervlerinde artış sağlanabilmektedir. (Bayraç, 2019: 55)

Petrol, stratejik bir enerji türüdür. Petrol rezervleri fazla olan ülkeler ekonomik olarak kişi başına ulusal geliri yüksek ülkelerdir. Petrol arzını da diğer petrole gereksinimi olan ülkeler belirler.

Dünyadaki petrol arzını, petrolün talebi ve talebi etkileyen faktörler belirlemektedir. Arz-Talep ilişkisi dışında petrol üreten ülkelerin **(**OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries) petrole ilişkin dünya çapındaki fiyat dengeleme politikaları, jeolojik ve teknolojik etkenler, askeri müdahaleler petrol üretimini etkilemektedir. (Aldıbekova,2018:22)

Dünyadaki toplam petrol üretimi yıllara göre tablo 3'te gösterilmektedir:

Tablo 3: Dünyadaki Toplam Petrol Üretimi (Milyon Ton)

YIL	Dünyadaki Toplam Petrol Üretimi
1970	2.358,9
1980	3.091,1
1990	3.157,9
2000	3.598,3
2010	3.978,6
2020	4.165,1

Kaynak: Durak, 2022: 15.

Petrol türlerinin çıkarıldığı bölgeler içindeki sülfür miktarları önemlidir. Petroldeki sülfür miktarı yoğunsa, ağır petrol olarak değerlendirilir ve bu tür petrol türü fueloil ve asfalt olarak kullanılır. Sülfür miktarı az ise, petrol, hafif petrol olarak işlem görür. Hafif petrol benzin, dizel yakıtı ve gaz yağı olarak sınıflandırılır.

Dünyadaki petrol türleri çıkarıldıkları bölgeler, sülfür oranları tablo 4' teki gibidir:

Tablo 4: Dünyadaki Petrol Çeşitlerinin Sülfür Miktarları

Petrol Çeşitleri	Çıkarılan Bölge	Sülfür Miktarı (%)
Brent	Kuzey Denizi	0,45
Espo	Rusya	0,62
Sharan Bl	Cezayir	0,45
Tapis	Malezya	0,03
LLS	Meksika Körfezi	0,13
RUA LBO	Nijerya	0,12
BONNY LT	Nijerya	0,15
Arap X-Lt	Suudi Arabistan	1,16
Umman	Ortadoğu	1,11
Ans	ABD	0,93
Wcs	Kanada	3,43
Urals(Med)	Rusya	1,3
Syncrude	Kanada	0,05
Wti	ABD	0,45
Daging	Çin	0,11
Bokken (Mn)	ABD	0,18
Duri	Endonezya	0,2
Minas	Endonezya	0,09
Arab Heavy	Suudi Arabistan	2,8
Cabinoa	Angola	0,13
Cerro Negro	Venazuella	3,34
Maya	Meksika Körfezi	3,13
Mars	Meksika Körfezi	2,05
Forcados	Nijerya	0,3
Arab Lt	Suudi Arabistan	1,8
Dubai	BAE	2,13

Kaynak: Durak, 2022: 5.

Ülkelerin nüfusu, ekonomik durumu, iklim özellikleri, yüzölçümü vb. kriterler petrol tüketimini arttırmaktadır.

Dünyadaki petrol tüketiminde OECD (İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkelerinin payı oldukça yüksektir. İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Örgütü 1960'da sözleşmesi hazırlanmış ve 1961 yılının Eylül ayında kurulmuştur. Türkiye de kurucu ülkelerdendir.

OECD ülkelerinde ABD, Kanada, İngiltere, İtalya, Fransa, Japonya, Almanya olmak üzere(G-7 ülkeleri) yedi sanayileşmiş ülkenin payı hayli fazladır (Bayraç, 2019: 47).

Dünyada petrol tüketimi yıllar çapında tablo 5' te olduğu gibi artmaktadır.

Tablo 5: Dünyadaki Petrol Tüketimi(Milyon Ton)

Yıl	Dünyadaki Toplam Petrol Tüketimi
1970	2.231,7
1980	2.984,4
1990	3.146,7
2000	3.568,8
2010	3.985,2
2020	4.017,5

Kaynak: Durak, 2022: 26.

Alım ve satım, her ekonomik üründe ve her ülke için önemlidir. Pazar ve piyasanın oluşması ancak bu olgular sayesinde mümkün olur.

Petrol rezervi olan ve petrol çıkaran ülkeler petrollerinin bir kısmını petrolü olmayan ülkelere ihraç ederler. Petrol ithalatçısı ülkeler bazen siyasi nedenlerle ya da savaşlar sonucunda politik kararlardan etkilenebilir. Petrol fiyatları bu ülkelerin taleplerini ve ekonomik durumlarını olumsuz etkiler.

Ham petrolün dışardan ithal edilmesi ülkelerin gereksinim duydukları enerjinin sağlanması ülkelerin döviz rezervlerinin azalmasına ve milli gelirlerinin düşmesine neden olmaktadır. Ülkenin yerel parası da bu olay sırasında değer kaybederken yerel üreticiler de zarar görmektedir. Bazı ülkeler ithalatı kalkınma modeli olarak değerlendirirken, ithalat yapılan sektörlerde ihracatın arttırılması birincil olarak hedeflenmektedir (Çalışkan ve Çakmak, 2019: 949).

Dünya ham petrol ithalatı ülkelere göre 2019 ve 2020 yılları için tablo 6'da gösterilmiştir:

Tablo 6: Dünya Ham Petrol İthalatı (Milyon Ton)

Ülkeler	**2019**	**2020**
Kanada	34,8	27,9
Meksika	*	*
ABD	338,7	293,7
Güney ve Orta Amerika	21,1	17,8
Avrupa	556,0	475,9
Rusya	*	*
Diğer BDT Ülkeleri	18,5	15,2
Irak	*	*
Kuveyt	*	*
Suudi Arabistan	0,1	0,1
Birleşik Arap Emirlikleri	8,8	11,6
Diğer Ortadoğu Ülkeleri	26,0	22,03
Kuzey Afrika	5,8	8,7
Batı Afrika	0,4	0,5
Doğu ve Güneydoğu Afrika	19,6	16,3
Avustralya	22,9	18,7
Çin	507,3	557,2
Hindistan	221,8	203,9
Japonya	146,9	123,5
Singapur	49,6	46,1
Diğer Asya Pasifik Ülkeleri	287,3	269,0
Dünya Toplam	**2265,6**	**2108,6**

* : 0.05 milyon tondan daha az

Kaynak: Durak, 2022: 32.

Petrol çıkaran ülkeler, çıkardıkları petrol miktarı gereksinimlerinin üzerindeyse ihracat (dış satım) yaparlar. Ülkelerin çıkardıkları petrol miktarları ve toplam rezervleri ihracatçı ülkeleri yıllar bazında miktar bağlamında değişik ihracat miktarlarına yönlendirmektedir.

Bu stratejide de değişik nedenler olabilir. Dünyada gerçekleşebilecek savaşlar, doğal afetler, ülkeler arası ilişkiler nedeniyle ülkeler farklı politikalar geliştirmişlerdir. Tüm ülkeler çıkardıkları petrolü ihraç edebilecekleri gibi, zaman zaman bir kısmını depolama yöntemini kullanırlar. İhracatçı ülkeler fiyat dalgalanmalarına karşı da bu yöntemleri geliştirmişlerdir. Aşağıdaki tabloda hangi ülkelerin yıllar bazında hangi miktarda petrol ihraç ettiği görülmektedir. En fazla petrol ihraç eden ülke görüldüğü gibi 2020 yılında Suudi Arabistan'dır. 2021'de dış satım biraz azalmaktadır. Rusya ise petrol dış satımında ikinci sırada yer almaktadır.

Dünyada petrol üretiminin %32,2'si Ortadoğu'dadır. Tüketim %33,8 Asya-Pasifik ülkelerindedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan Çin, Hindistan, İspanya, Güney Kore gibi ülkeler petrol tüketiminde ön sıralardadır. Bu ülkelerin, özellikle Çin'in nüfusunun büyük oluşu ve ekonomik büyüme düzeyinin %9'lar seviyesinde oluşu petrol tüketimindeki artışı hızlandırmaktadır (Uçak ve Usupbeyli, 2015: 773).

Dünya ham petrol ihracatı ülkelere göre 2019 ve 2020 yılları için aşağıdaki tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7: Dünya Ham Petrol İhracatı(Milyon Ton)

Ülkeler	**2019**	**2020**
Kanada	197,7	189,3
Meksika	58,2	56,8
ABD	142,5	155,3
Güney ve Orta Amerika	146,8	145,7
Avrupa	21,1	28,2
Rusya	289,0	260,0
Diğer BDT Ülkeleri	93,9	93,2
Irak	204,4	178,9
Kuveyt	99,9	96,5
Suudi Arabistan	366,0	349,1
Birleşik Arap Emirlikleri	135,4	142,7
Diğer Ortadoğu Ülkeleri	120,5	107,7
Kuzey Afrika	97,8	51,0
Batı Afrika	226,8	203,7
Doğu ve Güneydoğu Afrika	5,5	3,8
Avusturalya	11,7	9,4
Çin	0,4	1,1
Hindistan	0,1	0,1
Japonya	*	*

Singapur	1,9	1,7
Diğer Asya Pasifik Ülkeleri	39,0	34,6
Dünya Toplam	**2265,6**	**2108,6**

* : 0.05 milyon tondan daha az

Kaynak: Durak, 2022: 20.

1.2.1.2 Türkiye Petrol Piyasası

Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak dünyadaki diğer ülkeler gibi petrole gereksinim duyan bir ülkedir. Ülkemiz petrol zengini bir ülke değildir. Bu nedenle petrol ithal eden bir ülkedir. Petrol rezervleri bakımından olduğu gibi; üretilen petrol bakımından da dünya piyasasına ihracatı olan bir ülke değildir. Petrol ithalatçısı bir ülke olmak tamamen ülke rezervleri ile ilgilidir. Ülkelerin doğal kaynakları bakımından diğer ülkelere bağımlı olması cari açığın artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ödemeler dengesi olumsuz etkilenirken ülkemizin milli geliri yanında, kişi başına düşen milli geliri de düşmektedir.

Türkiye'nin az miktardaki bulunan petrol rezervi ekonomi ve enerji için bir eksiktir. Komşu ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye'nin petrol yatakları açısından şanssız olduğu görülmektedir. (Göksu,1980:145)

Türkiye'de petrol arama çalışmaları ve rezerv miktarları ile ilgili çalışmalar Osmanlı Devleti zamanından başlamıştır. Türkiye çevresindeki ülkelere göre malesef ithalatçı bir ülke durumundadır.

Türkiye'de petrol üretimi istatistikleri 2020 yılı verileriyle tablo 8'deki gibidir:

Tablo 8: Türkiye'deki Petrol Üretimi İstatistikleri

Petrol Üretimi (2020)	3,2 Milyon Ton
Ortalama Günlük Üretim (2020)	60,845 Varil/Gün
Üretimin Tüketimi Karşılama Oranı (2020)	%7,1
Toplam Üretilebilkir Rezerv	209,9 Milyon Ton
Kümülatif Üretim (1954-2020)	161,8 Milyon Ton
Kalan Üretilebilir Rezerv (2020)	48,1 Milyar Ton

Kaynak: Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği, 2023.

2020 verilene göre, Batı Raman/Batman'da bulunan bir ham petrol kuyusu, günlük ortalama 17.963 varil petrol üretimiyle en yüksek üretimi gerçekleştirmektedir. Diğer yandan, Nusaybin/Mardin'deki bir ham petrol kuyusu ise günlük ortalama 768 varil petrol üretimiyle en düşük üretimi sağlamaktadır.

2022 verilerine göre ise, ülkemizde 3,58 milyon ton ham petrol üretimi gerçekleşmesine rağmen, 33,49 milyon ton ham petrol ithalatı yapılmıştır. Bu açıdan bakıldığında petrol üretimi açısından %90 dış ülkelere bağımlı durumda olduğumuz görülmektedir. Ayrıca 70 milyon ton üretilebilir rezervimiz vardır (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

Türkiye’nin ülkelere göre petrol ve petrol ürünleri ithalat yaptığı rakamlar tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9: Ülkelere Göre Petrol ve Petrol Ürünleri İthalatı (ton)

Ülke	Ham Petrol	Motorin Türleri	Fuel Oil Türleri	Havacılık Yakıtları	Denizcilik Yakıtları	Diğer Ürünler	Toplam	Pay (%)
Rusya Federasyonu	12.000.979,01	4.058.127,64	0	362.655,65	4.811,54	2.897.869,42	19.324.443,27	40,75
Irak	12.515.895,85	0	0	0	0	0	12.515.895,85	26,39
Kazakistan	4.245.417,49	5.792,07	0	0	15.726,41	0	4.266.935,98	9
Hindistan		2.178.434,51	0	65.056,44	0	0	2.243.490,94	4,73
Suudi Arabistan	1.664.258,10	236.932,67	0	0	0	0	1.901.190,76	4,01
Nijerya	1.189.695,38	0	0	0	0	0	1.189.695,38	2,51
İsrail		1.016.958,39	31.189,91	0	8.090,00	0	1.056.238,31	2,23
İtalya	60.619,62	900.588,90	33.619,96	0	0	0	994.828,48	2,1
Libya	812.319,58	0	0	0	1.260,00	0	813.579,58	1,72
Yunanistan		631.726,09	0	17.057,93	6.390,00	32.768,10	687.942,12	1,45
Norveç	306.976,24	0	0	0	0	0	306.976,24	0,65
Azerbaycan	243.295,62	0	0	0	1.820,00	0	245.115,62	0,52
Bulgaristan		231.114,90	0	0	0	0	231.114,90	0,49
Birleşik Arap Emirlikleri		196.339,69	0	0	0	0	196.339,69	0,41
Belçika		0	132.564,53	57,28	0	36.393,75	169.015,56	0,36
Hollanda		0	41.577,22	2.604,17	0	92.663,01	136.844,39	0,29
Tunus	129.368,67	0	0	0	4.325,00	0	133.693,67	0,28
Gabon	126.507,97	0	0	0	0	0	126.507,97	0,27
Gana	126.107,14	0	0	0	0	0	126.107,14	0,27
Polonya		0	113.639,36	207,587	0	0	113.846,95	0,24
Mısır	2.323,29	109.825,00	0	0	0	0	112.148,29	0,24
Tayvan		104.744,85	0	0	0	0	104.744,85	0,22
Türkmenistan	62.434,00	0	0	0	15.543,93	0	77.977,94	0,16
Fransa		0	53.970,76	0	0	4.989,74	58.960,50	0,12
İngiltere		0	58.099,19	0	0	15,64	58.114,83	0,12
Finlandiya		0	47.067,69	0	0	0	47.067,69	0,1
Almanya		0	3.620,93	0	0	39.057,05	42.677,98	0,09
Belarus		28.713,82	0	0	0	0	28.713,82	0,06
İspanya		20.957,17	0	0	0	0	20.957,17	0,04
Malta		15.950,00	0	0	0	0	15.950,00	0,03
Fildişi Sahilleri		0	11.349,52	0	0	0	11.349,52	0,02
İsveç		0	11.208,39	0	0	0	11.208,39	0,02
Umman		10.990,02	0	0	0	0	10.990,02	0,02
Romanya		10.694,02	0	0	0	0	10.694,02	0,02
Nijer		0	10.244,96	0	0	0	10.244,96	0,02
Danimarka		0	8.937,63	0	0	0	8.937,63	0,02
Kolombiya		6.000,00	0	0	0	0	6.000,00	0,01
Estonya		0	0	1.098,23	0	0	1.098,23	0
Cezayir		0	0	0	320	0	320	0
İrlanda		0	174,57	0	0	0	174,57	0
Toplam	**33.486.197,96**	**9.763.889,72**	**557.264,62**	**448.737,28**	**58.286,89**	**3.103.756,70**	**47.418.133,16**	**100,00**

Kaynak: EPDK Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2022: 7-8.

Ülkemizin petrol rezervleri ülkemiz için yetersiz durumdadır. Petrol kaynaklarını ekonomiye kazandırmak, dışa bağımlılığı azaltmak hedeflenmekte bu nedenle aramalar sürdürülmektedir. Gabar bölgesinde bulunan petrol rezervinin keşfi, dışa bağımlılığı azaltmak anlamında pozitif bir gelişmedir.

1.2.1.3. Petrol Fiyatlarını Etkileyen Faktörler

Petrol birçok sektörde önemli bir girdi kaynağıdır. Bu nedenle de önemi herkes için oldukça büyüktür. Bu özelliği ile ihracat ve ithalat faaliyetlerini etkiler. Aşağıda belirtilen maddeler petrol fiyatlarını etkileten faktölerdir:

- Petrol arz ve talebinde oluşan denge: Petrolün ikamesi olması ve birçok sektörü etkilemesi nedeniyle petrolle ilgili taleplerdeki değişiklikler genellikle esnek değildir. Bu durum nüfus artışı, petrol hammaddesi kullanan sektörlerin gelişmesi vb. sebeplerle petrol fiyatının olumsuz yönde etkiler.
- Doğal faktörler: Mevsimsel dalgalanmalar ve hava durumu petrolün üretimini de tüketimini de etkileyen bir unsurdur. Kötü hava koşulları üretim noktasında zorlu koşulları getirir ve petrol üretim maliyetleri artar (Gyagri ve diğerleri, 2017:13)
- OPEC: 14 ülkeden oluşan ihracatçı ülkelerin kurduğu bir yapıdır. Tüm dünyadaki rezervlerin üçte ikisine sahip ülkelerdir. Bu birliğin kararları, kotalara uyup uymamaları, bu birliğin dışındaki rezerv sahibi ülkelerin rekabet gücü gibi etkenler petrol fiyatlarını etkilemektedir.
- Siyasi olaylar: Siyasi gerilimler de petrol fiyatlarını etkileyen bir diğer hususdur. Özellikle Ortadoğu'da siyasi istikrasızlık, terör olayları, komşu ülkelerin birbirleriyle ilişkileri gibi olaylar petrol fiyatlarını olumsuz etkilemektedir.
- Vadeli işlem piyasası, spekülatörler ve brokerlar: Petrol fiyatları ile ilgili vadeli işlemler petrol fiyatları ile ilgili diğer önemli bir göstergedir. Petrolün gelecekteki fiyatına göre konum alınmaya çalışılması bu gruptaki insanları etkiler. Vadeli işlemlerdeki değişiklikler petrol fiyatlarını olumlu ya da olumsuz şekilde etkiler.
- Doların değerindeki değişim: Ham petrol uluslararası piyasada ABD Doları üzerinden işlem görür. ABD doları diğer para birimlerine karşı değer kazanması veya değer kaybetmesi durumunda petrol talepleri değişmektedir. Bu durum petrol fiyatlarını etkiler (Gyagri ve diğerleri,2017:11).

1.2.2. Doğal Gaz Piyasası

Doğal gaz fosil yakıtlar arasında çok tercih edilen türev bir petrol ürünüdür. Doğal gaz, petrol gibi yer altı kaynaklarından elde edilen konvansiyonel fosil bir kaynaktır. Doğal gaz ısıtma, soğutma, sıcak su elde edilmesi, pişirme, küçük sanayi atölyelerinde üretim amaçlı kullanılmaktadır (Bayraç, 2018: 14) Kullanım alanları hane halkı ve sanayide olmak üzere geniş alana yayılan bir enerji kaynağıdır. Kokusuz

renksiz bir gazdır. Havadan daha hafiftir. Doğal gazın kokusuz olması avantaj olarak değerlendirilirken kaçakların fark edilememe durumu dezavantaj olarak kullanıcıyı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle doğal gaza bir kokulandırma işlemi yapılmaktadır. Doğal gazın içerisinde karbon miktarı az olduğu için sera etkisi ve zehirleyici karbondioksit etkisi diğer yakıtlara göre daha azdır. Bu etkiler sıvı yakıtların yarısı katı yakıtların ise 1/3'ü kadardır.

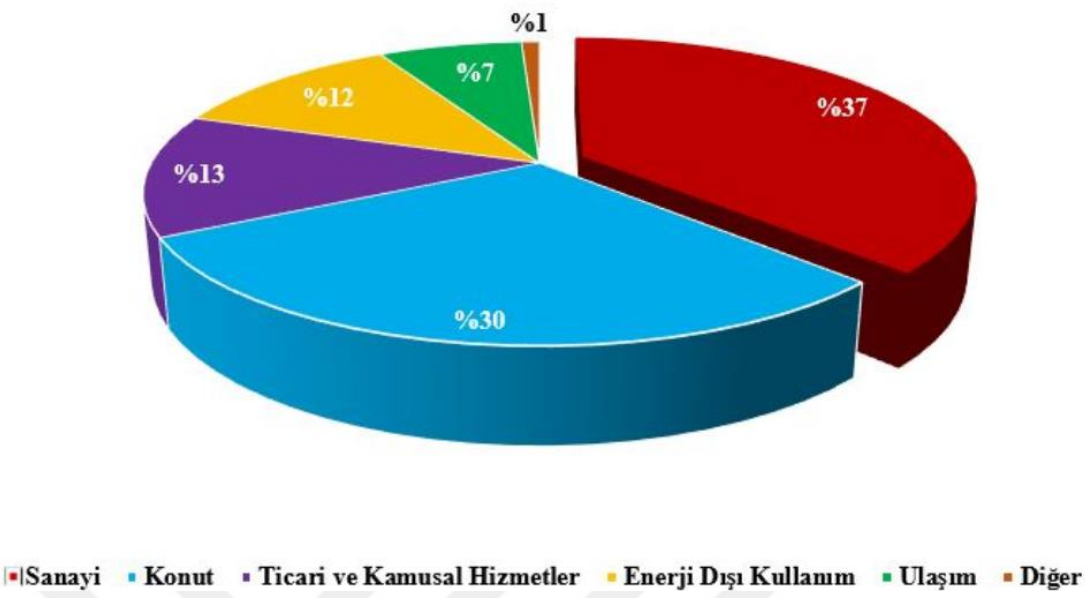
Tarihi kaynaklara göre, doğal gaz ilk kez M.Ö. 900 yıllarında Çin'de kullanılmaya başlanmıştır. Antartika kıtası dışında tüm kıtalarda doğal gaz üretimi yapılabilmektedir. Doğal gaz üretiminde Amerika Birleşik Devletleri, İran, Hollanda, Kanada dünyada en ön sıralardadır. Doğal gaz kullanımında verimlilik düşünülerek basınçlı tank yerine boru hatları ile taşıma tercih nedenidir. Türkiye'de doğal gaz 1970'te bulunmuş, 1976 yılından itibaren fabrikalarda, 1984 yılından sonra da şehirlerde evlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu bölümde dünya doğal gaz piyasası, Türkiye'de doğal gaz tüketimi ve rezervleri ile doğal gaz fiyatlarını etkileyen faktörlere yer verilecektir.

1.2.2.1. Dünya Doğal Gaz Piyasası

Enerji kullanımının artması, mevsim döngülerinin kayması gibi etkenlerle küresel ısınma sorunu giderek artmaktadır. Enerji kaynakları içerisinde fosil yakıtlardan olan doğal gaz diğer fosil yakıtlara göre daha çevre dostu olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Uluslararası ticarette doğal gaz piyasası, yapılan yatırımlarla ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha da gelişmektedir.

Doğal gaz rezervleri tek başına bulunabileceği gibi, petrol üretimi esnasında yanında da yer alabilen yani bulunabilen bir enerji kaynağıdır. Ağırlıklı olarak elektrik üretiminde, sanayide, hizmet sektöründe ve konutlarda kullanılmaktadır. Doğal gazın kullanım alanları şekil 13'te gösterilmiştir.

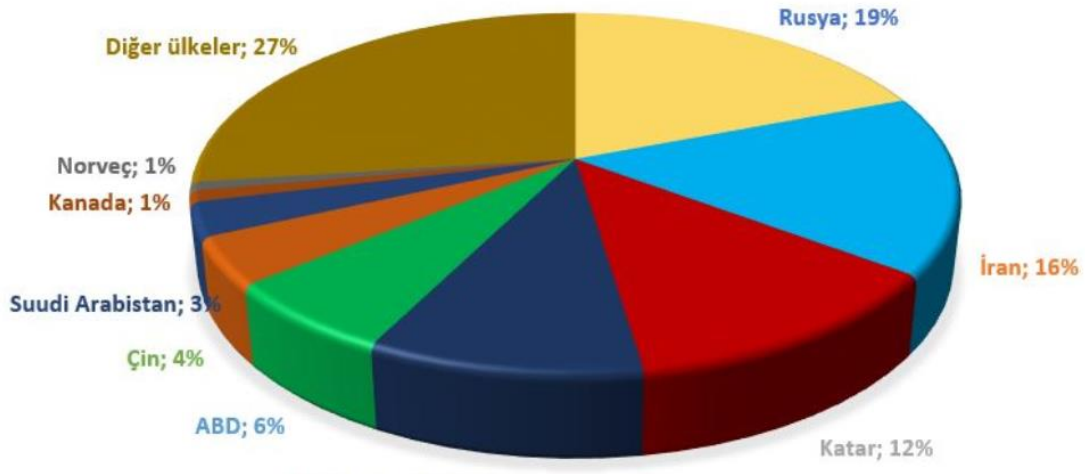
Şekil 13: Doğal Gazın Dünya Genelindeki Kullanım Alanları



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

Ülkelere göre doğal gaz rezervleri şekil 14'te gösterilmektedir.

Şekil 14: Ülkelere Göre Doğal Gaz Rezervleri



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023.

2021 yılına ait verilere göre, dünya doğal gaz rezervi 188,1 trilyon m3 olarak hesaplanmıştır. Bu rezervin en büyük payını %19 ile Rusya almaktadır ve dünya doğal gaz rezervi sıralamasında birinci sıradadır. Aynı yılın üretim verilerine göre ise, ABD

dünyanın en büyük doğal gaz üreticisi ülkesidir ve toplam üretimin %23'ünü karşılamaktadır.

OECD ülkelerinin toplam doğal gaz rezerv miktarı 18 trilyon metreküptür. Dünyadaki doğal araştırma çalışmaları sürmektedir, buna karşın yeni rezerv bulma olgusu azalmaktadır. Tablo 10'da yıllara göre dünya doğal gaz rezervleri gösterilmektedir.

Tablo 10: Yıllara Göre Dünya Doğal Gaz Rezervleri (Trilyon m3)

ÜLKELER	1991 Yılı Rezervleri	2001 Yılı Rezervleri	2015 Yılı Rezervleri	2018 Yılı Rezervleri
Rusya	-	42	32	35
İran	20	26	34	33
Katar	6	26	25	25
Türkmenistan	-	3	18	20
ABD	5	5	10	9
Suudi Arabistan	5	7	8	8
BAE	6	6	6	6
Venezuela	4	4	6	6
Nijerya	3	5	5	5
Cezayir	4	5	5	4
Avusturalya	1	3	4	4
Irak	3	3	4	4
Çin	1	1	4	6
Endonezya	2	3	3	3
Norveç	1	2	2	2
Diğer	71	29	25	19
	125	169	189	194

*Rezerv değerleri trilyon m3'tür.

Kaynak: (Fortes Mühendislik A.Ş., 2023)

1.2.2.2. Türkiye'de Doğal Gaz Tüketimi ve Rezervleri

Türkiye'de doğal gaz rezervi az miktardadır. Araştırma çalışmaları sürdürülmektedir. Bu nedenle farklı ülkelerden boru hatlarından yararlanılarak doğal gaz getirilmektedir. Karadeniz'de bulunan doğal gaz rezervi, dışa bağımlılığımızı azaltabilmesi noktasında önemli bir gelişmedir.

Türkiye'de ilk doğal gaz 1970 yılında Kırklareli/Kurumlar bölgesinde çıkarılmıştır. Şehirdeki çimento fabrikasında kullanılmaktadır.

1975'te Mardin Çamurlu'dan çıkarılan doğal gaz ildeki çimento fabrikasında kullanılmaktadır. Kırklareli/Hamitabat ve İstanbul/Ambarlı santrallerinde doğal gaz elektrik enerjisinde dönüştürülmektedir.

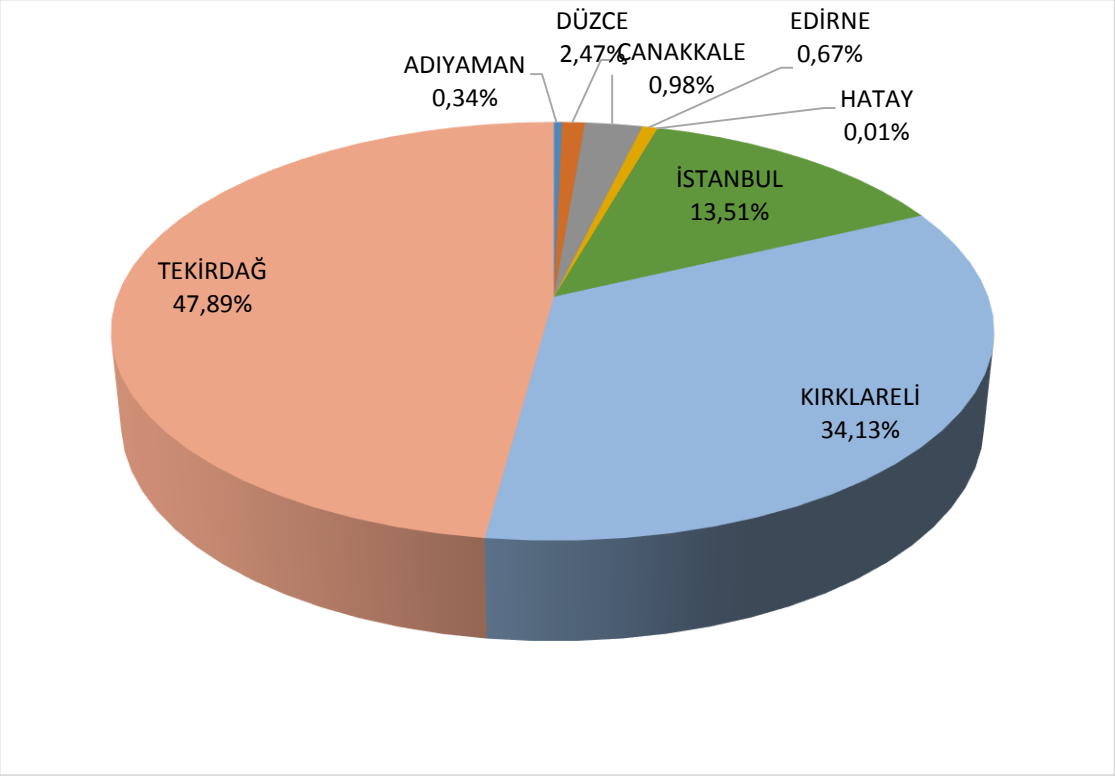
Bunların yanında Adıyaman, Çanakkale, Düzce, Edirne, İstanbul ve Kırklareli'nde doğal gaz çıkarılmaktadır. Türkiye'de çıkarılması mümkün olan doğal gaz miktarı yaklaşık olarak 4,2 milyar metreküptür. 2020 yılında doğal gaz üretim miktarı 441 milyon m3'tür (BOTAŞ, 2023). Ülkemizde en çok doğal gaz çıkarılan bölge Trakya yöresidir. Türkiye'de doğal gaz için 10 yıl süreli bir devamlılık öngörülmektedir. Yeni rezervlere ulaşılamazsa ithalat düzeyi artacaktır. Tablo 11'de 2022 verilerine göre Türkiye'deki doğal gaz üretimi yer almaktadır. Şekil 15'te ise üretim sahalarının bulunduğu illere göre doğal gaz üretim oranları yer almaktadır.

Tablo 11: 2022 Yılı İllere ve Aylara Göre Doğal Gaz Üretimi (Milyon Sm3)

İl/Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Genel Toplam
ADIYAMAN	0,127	0,128	0,132	0,107	0,111	0,112	0,094	0,104	0,088	0,119	0,084	0,097	1,303
ÇANAKKALE	0,216	0,153	0,094	0,108	0,113	0,533	0,884	0,493	0,363	0,295	0,262	0,204	3,716
DÜZCE	0,226	0,211	0,204	0,276	0,337	0,157	0,151	0,103	0,000	0,000	2,647	5,052	9,363
EDİRNE	0,250	0,263	0,281	0,236	0,196	0,182	0,139	0,140	0,138	0,193	0,220	0,300	2,541
HATAY	0,001	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,004	0,004	0,007	0,005	0,045
İSTANBUL	5,080	4,346	4,403	4,562	4,408	4,194	4,132	4,125	3,979	3,812	3,978	4,310	51,328
KIRKLARELİ	10,700	9,101	9,888	8,776	12,515	10,861	9,303	8,598	11,323	13,076	13,381	12,120	129,642
TEKİRDAĞ	15,172	15,126	15,004	14,313	13,985	14,054	14,786	15,229	14,200	16,405	17,240	16,359	181,873
Genel Toplam	**31,772**	**29,329**	**30,010**	**28,381**	**31,668**	**30,096**	**29,491**	**28,799**	**30,095**	**33,904**	**37,818**	**38,447**	**379,810**

Kaynak: EPDK Doğalgaz Sektör Piyasası Raporu, 2022:3.

Şekil 15: 2022 Yılı Üretim Sahalarının Bulunduğu İllere Göre Doğal Gaz Üretim Oranları(%)



Kaynak: EPDK Doğalgaz Sektör Piyasası Raporu, 2022:4.

Ülkemizde ekonomideki gelişmenin hedeflenmesi hane halkının doğal gaz tüketiminin artışı, sanayide elektrik üretimindeki artış, doğal gaz tüketimini arttırmaktadır (Çılbant ve Alma, 2016: 3).

Türkiye Doğal gaz tüketimi için aşağıdaki ülkelerden doğal gaz ithal etmektedir. Tablo 12'deki gibidir.

Tablo 12: Türkiye'nin Doğal Gaz İthal Ettiği Ülkeler

2023 Mart		
İthal Edilen Ülke	**Miktar (Milyon Sm3)**	**Pay(%)**
ABD	344,18	7,55
Azerbaycan	922,81	20,25
Cezayir	522,07	11,45
Fransa	0,00	0,00
İran	916,70	20,11

Mısır	336,84	7,39
Nijerya	0,00	0,00
Norveç	87,13	1,91
Rusya Federasyonu	1.428,05	31,33
Trinidad ve Tobago	0,00	0,00
Genel Toplam	**4.557,77**	**100**

Kaynak: EPDK Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2023: 10.

Ülkemiz belli bölgelerinde az miktarda doğal gaz yataklarına ulaşmış bir ülkedir. İhraç olarak başka ülkelere ihraç şu anki rezervle çok sınırlıdır. Bu nedenle değişik ülkelerden doğal gaz ithalatı yapılmaktadır. Tablo 13 yıllara göre ithal edilen doğal gaz miktarını, tablo 14 yıllara göre doğal gaz ihracat rakamlarını göstermektedir.

Tablo 13: Yıllara Göre İthal Edilen Doğal Gaz Miktarları (Milyon Cm3)

YIL	MİKTAR
2023	23.446
2022	53.106
2021	55.786
2020	44.489
2019	44.343
2018	43.286
2017	46.175
2016	38.203
2015	41.300
2014	39.975
2013	36.095
2012	43.092
2011	39.723

*2023 yılı mayıs ayına kadar gerçekleşen miktarlar.

Kaynak: BOTAŞ, 2023.

Tablo 14: Yıllara Göre Doğal Gaz İhracat Miktarları (Milyon Cm3)

YIL	MİKTAR
2023	95
2022	592
2021	385
2020	588
2019	776
2018	685
2017	642
2016	686
2015	635
2014	644
2013	694
2012	622
2011	726

*2023 yılı mayıs ayına kadar gerçekleşen miktarlar.

Kaynak: BOTAŞ, 2023.

Tablo 15: Yıllara Göre Yurt İçi Doğal Gaz Satış Miktarları (Milyon Cm3)

YIL	MİKTAR
2023*	24.401
2022	52.996
2021	56.668
2020	42.682
2019	43.498
2018	46.857
2017	43.452
2016	37.042
2015	41.063
2014	40.810
2013	37.964
2012	41.436
2011	39.360

*2023 yılı mayıs ayına kadar gerçekleşen miktarlar

Kaynak: BOTAŞ, 2023.

Türkiye doğal gaz ithalatı için her yıl yaklaşık olarak 12-13 milyar dolar ödeme yapmaktadır. Geçen yıl 50 milyar metreküp doğal gaz ithal eden ülkemiz 44.9 milyar m3'ünü evlerde ısıtmada, elektrik enerji üretme diğer sanayi alanlarında kullanmıştır.

1.2.2.3. Doğal Gaz Fiyatlarını Etkileyen Faktörler

Doğal gaz fiyatları birçok değişkene bağlı olarak oluşmaktadır. Dolayısıyla ekonomik süreç içerisinde doğalgaz rezervleri ülkeler özgü değişkenlerle belirlenmektedir. Söz konusu değişkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Dağlı, 2021: 60) :

- Ülkelerin doğal gaz rezervlerinin düzeyleri ve üretim miktarları,
- Doğal gaz stoklama seviyeleri,
- Doğal gaz ithalat ve ihracat hacimleri,
- Yaz ve kış mevsimi varyasyonları,
- Ekonomik büyüme düzeyleri,
- Diğer yakıtların kullanabilirliği ve fiyatları,
- Ülkeler arası savaşlar,
- Kullanılan elektrik miktarının artması,
- Dünyada sanayideki gelişmeler ve kullanımının artması,
- Petrol, doğal gaz vb. elinde bulunduran ülkelerin kendi politik anlayışlarına göre geliştirdikleri stratejiler,
- Ülkelerdeki ekonomik ve finansal krizler.

1.2.3. Elektrik Piyasası

Bu bölümde elektrik piyasalarının niteliksel özelliklerine yer verilecektir. Alt başlıklarda ise elektrik piyasalarının yapılanması, Türkiye; elektrik piyasasının tarihsel süreci, elektrik piyasası temsilcileri, elektrik piyasası istatistiki bilgilerine ve elektrik piyasalarının açıklamalarına yer verilecektir.

Elektrik yaşamın zorunlu bir gereksinimi olarak talebi güçlü bir enerjidir. Ekonomi, yatırım, sanayi geliştikçe, aydınlanma ısınma ihtiyacı arttıkça, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini artırma çabaları yoğunlaştıkça elektrik gereksinimi de artmaktadır. Elektrik, teknolojiden ulaşıma, sağlıktan eğitime çok fazla alanda ihtiyaç duyulan bir enerji türüdür. Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için vazgeçilemez stratejik bir unsurdur.

Teknik olarak MEB'e göre (2011) elektrik, bir akımın elektronları vasıtasıyla serbest bir ortamda çekim gücüyle belli noktalara hareketinden oluşur.

Elektrik üretimi hidro enerji, nükleer kaynaklar, termik kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynakları gibi çeşitli kaynaklardan sağlanır. Bu kapsamda kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, rüzgâr ve güneş elektrik üretiminin girdileri arasında yer alır.

Elektrik enerjisi hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. Modern ekonominin yapı taşlarındadır. Özellikle sanayi de elektrik enerjisi temel bir girdidir ve maliyet unsurlarından önemli bir yapıya sahiptir. Elektrik üretimi ve tüketimi, günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini hesaplamada kullanılan ölçütlerdedir.

Mühendislik yönüyle ele alındığında elektrik kavramı elektriğin üretilmesi süreci, elektriğin nakli süreci ve elektriğin arzı süreci olmak üzere 3 boyutlu olarak değerlendirilmektedir. Elektrik üretim süreci günümüzde elektrik santralleri kanalıyla gerçekleştirilmektedir. Elektrik nakli süreci ise yine, iletim, dağıtım ve sistem yönetimi boyutlarıyla ele alınmaktadır. Elektriğin arzı süreci ise doğrudan doğruya elektriğin tüketimini ifade etmektedir (Boisseleau, 2004: 2 ; Bicil, 2015: 17).

Dağıtım sürecine konu olan elektriğin %35 - %50'sine kadarı üretim maliyetini oluşturmaktadır. Elektrik üretim süreci, iletken yapıdaki bir tel yardımıyla manyetik alan içerisindeki hareket yoluyla gerçekleşmektedir. Söz konusu dönüş için gereken buhar, akarsu, rüzgâr gülü ya da benzer şekilde yakıt enerjisinin yanması yoluyla sağlanmaktadır. Elektrik santrallerinin büyük çoğunluğunda ticari yaklaşım nedeniyle yakıt, itici güç olarak kullanılmaktadır. Yakıt olarak kullanılan materyaller arasında kömür ilk sırayı almakta, bunun yanı sıra petrol, doğal gaz, uranyum gibi materyaller de kullanılmaktadır. Elektrik üretimi kapsamında maliyetleri ve faaliyetleri farklılıklar arz eden farklı santraller bulunmaktadır. Üretim sürecine girildiğinde maliyetler ve faaliyet kullanılan yakıtın niteliğine bağlı olarak farklılaşmaktadır (Hunt, 2002: 18-20). Hidroelektrik santraller, sabit maliyet açısından yüksek olmasına rağmen değişken maliyet bakımından düşük olduğu için ve ayrıca yüksek maliyetli nükleer santraller, baz yük taleplerini karşılamak amacıyla devreye alınırlar. Ayrıca üretimin tamamlanabilmesi için görece hidroelektrik santraller ve nükleer santrallere göre termik santraller de gündeme alınabilmektedir (Bicil, 2015: 17).

Tüm dünyada ekonominin, sanayinin gelişmesi enerji tüketimini ve gereksinimini arttırmaktadır.

19. yüz yılsonlarında üretim süreçlerinin bilimsel temalı olarak gerçekleştirilmeye başlanmasıyla birlikte ölçek ekonomisi kavramı gündeme gelmeye başlamıştır. Özellikle Taylor felsefesinde anlam bulan ölçek ekonomisi elektrik

enerjisinin üretimi bakımından değerlendirildiğinde de büyük santrallerin daha fazla faaliyet göstermesine sebep olmuştur. Dolayısıyla 19. yüz yılsonlarında büyük santraller inşa edilmiş ve fakat inşa süreçleri uzun zaman dilimlerine yayılmış, planlama süreçleri karmaşık süreçlere dönüşmüştür. Teknolojik gelişmeler ışığında doğal gaz kullanan yeni santraller gündeme gelmiş bu santraller kombine çevrim santrali olarak adlandırılmıştır. Kombine çevrim santralleri günümüzde hali hazırda kullanılmaya devam etmektedir. Kombine çevrim santrallerinin günümüzde kullanılmasının temel sebebi, katı yakıt kullanan santrallere göre kombine çevrim santrallerinin daha çevreci olması ve kurulum süreçlerinin daha rahat yürütülebilmesidir (Colpier ve Cornland, 2002, 309-311; Hunt, 2002, 19.; Bicil, 2015: 18)

Elektrik enerjisi üretilirken nakil süreci kapsamında değerlendirilen enerjinin iletimi toplam maliyetin %5-%15'ini oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi nihai kullanıcılara ulaştırılırken bakır ve alüminyum tellerden oluşan bir iletim sistemi kullanılır. Bu süreçte elektrik enerjisi üretildikten sonra depolanamama özelliği nedeniyle sistem yöneticisi tarafından santral ve nakil süreci arasındaki bağlantı sürekli olarak denetime tabi tutulmaktadır. Elektriğin son tüketim fiyatı açısından değerlendirildiğinde iletim maliyetlerinin de ne denli olduğu bu denetimin boyutu değerlendirildiğinde anlaşılmaktadır. İletim sürecinde yaşanabilecek bir kopukluk enerji kaybı ile sonuçlanacak dolasıyla üretilen enerjinin tamamının tüketilmemesi sorununu gündeme getirecektir. Söz konusu bu fark da bir maliyet kalemi olarak ortaya çıkacaktır (Hunt, 2002: 20; Bicil, 2015: 19).

Elektrik piyasasında iletim süreci, yüksek gerilime haiz elektriğin taşınması olarak değerlendirilmektedir. Yüksek gerilime haiz elektriğin santraller şebekeye geçirilmesi süreci ve elektriğin niteliği itibariyle depolanamaması değerlendirildiğinde iletim faaliyetlerinin enerji arzı güvenliği açısından ne denli önemli olduğu daha iyi anlaşılabilir. Nakil sürecinin ilk basamağını oluşturan iletim, maliyet ve koordinasyon açısından değerlendirildiğinde bir tekel piyasası niteliği taşımaktadır. İletim faaliyetleri yönetilirken ölçek ekonomisinin de dikkate alınması bu durumu destekler niteliktedir (Aydın, 2010:37; Bicil, 2015: 19).

Nakil faaliyetlerinin ardından gelen dağıtım süreci gelmektedir. Bu noktada dağıtım faaliyetinin tanımlanması da yerinde olacaktır. Buna göre dağıtım faaliyeti elektrik enerjisinin iletim sisteminden alınıp son tüketicilere götürülmesi sürecini ifade etmektedir. Elektrik dağıtımı, üretilen elektriği son kullanıcıya değin götürülmesini ifade eder. Bu bağlamda bu şebeke, trafo merkezleri, orta ve alçak gerilim hatları, ölçü devreleri, dağıtım transformatörleri vb. bileşenlerden oluşur. Başka bir ifadeyle dağıtım

faaliyeti aslında alçak, orta ve yüksek gerilimli elektrik enerjisinin taşınması anlamına gelmektedir. İletim ve dağıtım faaliyetlerinin elektrik piyasasında nakil bileşeni kapsamında ele alınmasına rağmen iletim üretim yönlü olarak değerlendirilirken, dağıtımın son tüketici yönlü değerlendirilmesi esastır.

Dağıtım faaliyetlerinin yürütüldüğü hatlarda yapılacak bir iyileştirme yüksek maliyet anlamına geldiğinden ve ayrıca fiziksel olarak bu yatırımı gerçekleştirmek oldukça güç olduğundan dağıtım sürecinin de tekelci bir nitelik taşıdığını söylemek yanlış olmayacaktır.

Elektrik piyasasında iletim süreçleri ile dağıtım süreçleri rekabet edilebilecek farklı bir nakil hattını kurmanın mantıksız olması sebebiyle rekabet görülmemekte ve fakat üretim ve nakil süreçlerini tamamlamış elektrik ile ilgili olarak verilen hizmetlerde rekabetçi bir piyasa niteliği sergilenmektedir.

Elektrik piyasasını diğer emtia piyasalarından ayırt edici özellikler bulunmaktadır. Elektrik piyasasındaki fiyat oluşum süreci fiziksel dengeler ile doğrudan ilişkilidir. Elektriğin günümüz teknolojisiyle depolanamaz oluşu (depolama teknolojisinin gelişmesi için yüksek teknoloji ve yatırım gerektirmesi ve depolama alanlarını çok sınırlı olması günümüzde söz konusudur), arz ve talebin eş zamanlı olarak dengelenmesi ihtiyacı olması gibi özellikler piyasanın kendine özgü yapısını oluşturur. Sistem işleticisi olarak adlandırılan piyasa aktörü bu yapının ışığında piyasa dengesini sağlamakla görevlidir. Talep esnekliği düşük olan elektrik piyasası bununla birlikte kısıtlı iletim yapısına sahiptir. Bu yönden sistem işleticisi gerçek zamanlı planlama ve dengeleme ile kısıt yönetimi yapmaktadır. Ekonomik dengelemenin yanında yük atma ve yük alma talimatları kısıt yönteminin araçlarıdır (Gökalp, 2022: 5).

Elektrik piyasasının sıçrama ve pik yapma, oynaklık, yüksek frekans, takvim etkisi, ortaya dönme özelliği ve mevsimsellik özellikleri vardır. Bu konulara üçüncü bölümde elektrik piyasasında oynaklık modellemesi ile ilgili yazın taramasında değinilmiştir.

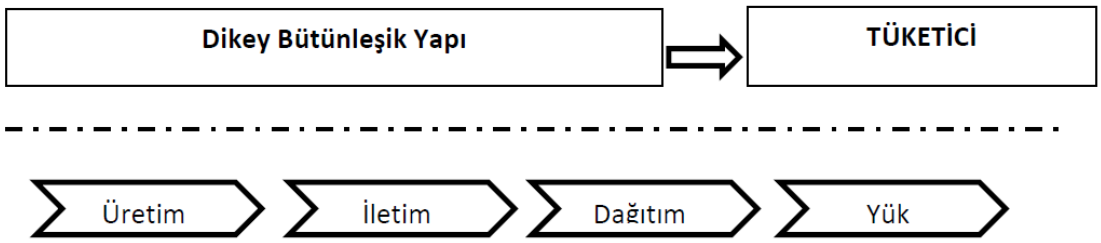
1.2.3.1. Elektrik Piyasalarının Yapılanması

Hunt (1996) elektrik piyasaları için dört model tanımlamaktadır. Bunlar; perakende satış rekabeti modeli, monopol model, toptan satış rekabeti modeli, tek alıcı modelidir.

Elektrik enerjisi sektörü genel olarak dikey bütünleşik bir yapıya sahiptir. Bu yapı üretim, dağıtım, iletim ve arz kademelerinin dikey olarak bütünleşmesinden oluşur.

Sektörün tek bir firmanın egemen olduğu monopol bir yapıya sahip olması görüşü son yıllarda değişerek birden fazla firmanın rekabetine dayanan yapıya geçiş hızlanmıştır. Ancak bu yapının üretim kademesinde rekabeti artırırken iletim ve dağıtımın tek elden yürütülmesinin ölçek ekonomisi ve coğrafi koşullar nedeniyle daha etkin olacağı düşünülmektedir (Cengiz, 2006: 126). Şekil 16'da dikey bütünleşik yapı yer almaktadır.

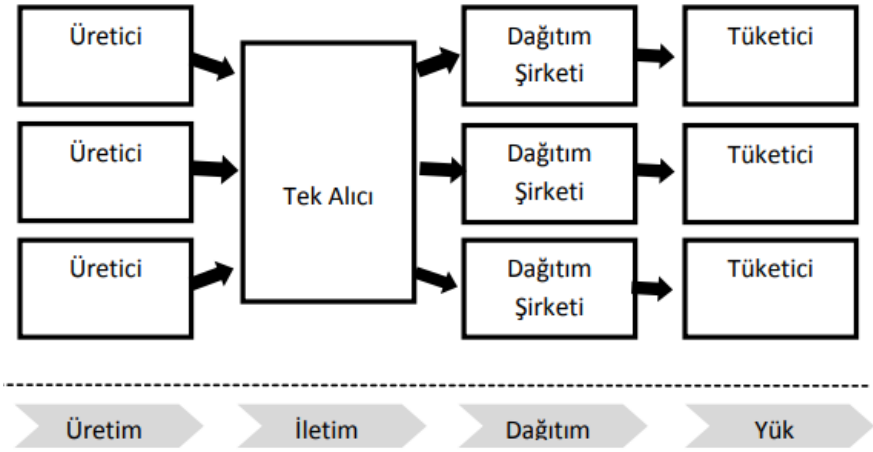
Şekil 16: Dikey Bütünleşik Yapı



Kaynak: Boisselau, 2004: 65'ten aktaran Çetintaş ve Bicil, 2015: 7.

Tek alıcı modeli olarak adlandırılan sistemde bir otorite monopol yapıdan farklı olarak üreticilerle anlaşmalar yaparak tedarik sağlamakta ancak dağıtıcı rolünü tek başına üstlenmektedir. Dağıtıcı şirket son kullanıcı açısından monopol olmakla birlikte, üreticiler arasında rekabet sağladığı için monopol modele göre daha esnek bir model olma özelliğini taşımaktadır. Bu model için dikkat çekici bir husus üreticilerin alım garantisinin olmaması nedeniyle uzun vadeli anlaşmalara ihtiyaç duymasıdır (Çetintaş ve Bicil, 2015: 7-8). Şekil 17'de tek alıcı modeli yer almaktadır.

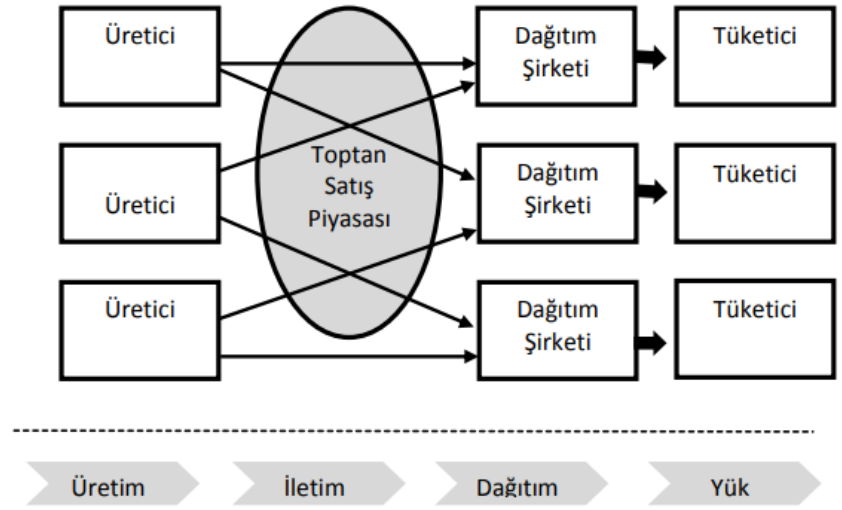
Şekil 17: Tek Alıcı Modeli



Kaynak: Boisselau, 2004: 66'dan aktaran Çetintaş ve Bicil, 2015: 8.

Toptan satış rekabeti modeli üretim ile birlikte toptan satış faaliyetlerinin de rekabetçi halde olduğu piyasaları ifade eder. Modelde üreticiler otorite aracılığı olmaksızın dağıtım şirketleri, toptan satış şirketleri ve büyük ölçekli tüketicilere satış yapabilmektedir. Üreticiler rekabette olduğu gibi toptan satış piyasası sayesinde rekabete dağıtım şirketleri ve büyük ölçekli tüketiciler de dahil olmaktadır (Hunt, 2002'den aktaran Çetintaş ve Bicil: 9). Şekil 18'de toptan satış rekabeti modeli yer almaktadır.

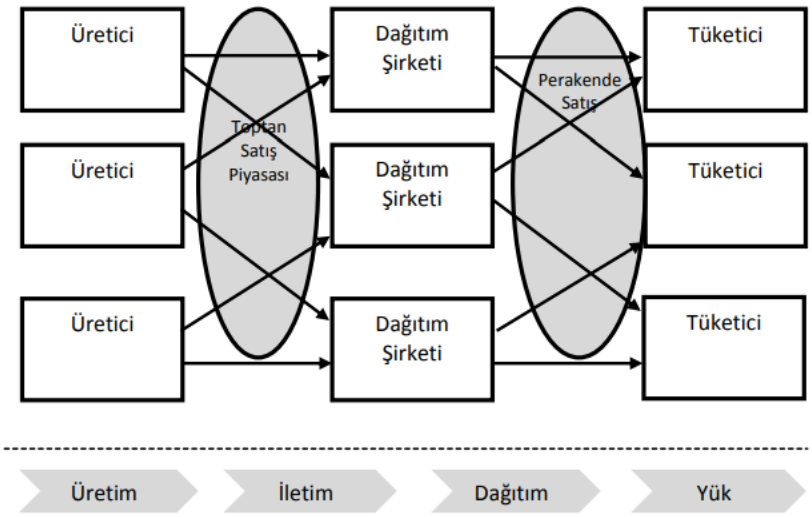
Şekil 18: Toptan Satış Rekabeti Modeli



Kaynak: Boisselau, 2004:67'den aktaran Çetintaş ve Bicil, 2015: 8.

Perakende satış rekabeti modelinde ise son kullanıcılar diğer modellerden farklı olarak istedikleri tedarikçiyi seçme özgürlüğüne sahiptirler. Rekabet düzeyi genişleyerek perakende satış şirketlerini de kapsamına almaktadır. Modelde yatay olarak artan rekabet üretici kesiminde fiyat baskısı oluşturabilmektedir. Daha rekabetçi bir piyasa olarak etkin olduğu düşünülmekle birlikte aynı zamanda yetersiz düzenlemeler varlığında az tüketim görülen bölgelerde dağıtım hizmetinin yüksek fiyatlanması gibi olumsuzlukların görülmesi muhtemeldir (Çetintaş ve Bicil, 2015: 9). Şekil 19'da perakende satış rekabeti modeli yer almaktadır.

Şekil 19: Perakende Satış Rekabeti



Kaynak: Boisselau, 2004:68'den aktaran Çetintaş ve Bicil, 2015: 9.

Gelişmekte olan ülkelerde elektrik enerjisi sektörünün genel yapısına bakıldığında; iş gücü verimliliğinin düşük olması, hizmet kalitesinin ve kurulu tesis altyapısının azlığı, sistemsel kayıpların fazlalığı, nüfusun belirli bir kısmının tam olarak hizmetlerden faydalanamaması, fiyat yapısının yeni yatırımları teşvik edici özelliğinin olmaması gibi faktörler ön plana çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelere de bakıldığında sektörün işlem maliyetleri ve politik nedenlerden dolayı maliyet yapısından kaynaklanan birtakım sıkıntılara sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda verimli bir enerji sektörünün inşası için rekabetçi bir piyasa yapısı şart görünmektedir.

Rekabetçi toptan piyasa, faaliyet giderlerinin optimize edilmesi, teknoloji yatırımlarının artırılması ve daha etkin bir yapının oluşturulması açısından önemlidir. Bu yapıda maliyet yönü tüketiciden üreticiye doğru kayarak, tüketicilerin istedikleri

üreticiyi seçmesiyle fiyat rekabetinden tüketicilerin pozitif yönde yararlanması söz konusu olacaktır (Cengiz, 2006: 129).

1.2.3.2. Türkiye'de Elektrik Piyasasının Tarihsel Süreci

Elektrik enerjisi üretimi, Türkiye'de 1888 yılında İstanbul'daki Haliç Tersanesi'nde kurulan elektrik fabrikasının faaliyete geçmesiyle başlamıştır (Engin ve Gülsoy, 2016; 148). Türkiye için elektrik enerjisi kullanımı tarihsel bağlamda ilk olarak 1902 yılında Tarsus ilçesinde kurulmuş olan hidroelektrik santrali ile görülmüştür. 2 kW'lik bir dinamo ile başlayan süreçte Tarsus ilçesinin sokakları ve ileri gelenlerin evlerinin aydınlatma ihtiyacı karşılanmıştır. Daha sonrasında 1914 yılında faaliyete geçen Silahtarağa Termik Santrali kayda değer bir üretim yapılabilmiş olan ilk tesistir ve 1983 yılına dek hizmet vermiştir. 1939 yılı sonrasında yabancı şirketlerin tekelindeki yerel dağıtım ağları belediyelere devredilerek devletleştirilmiştir. 1923 yılında 33 MW kurulu güç ve 45 milyon kWh yıllık üretim kapasitesi, 1935 yılında 126.2 MW kurulu güç ve 213 milyon kWh yıllık üretime yükselmiştir. Bu süreçte elektrik sağlanan il sayısı 43'e çıkmıştır. 1935 yılında 2805 sayılı kanun ile kurulmuş olan Etibank'ın üç temel görevinden biri elektrik işletmeciliği olarak belirlenmiştir. 1935 yılında Maden Tetkik Arama ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi de kurulmuştur. İller Bankası 1945 yılında ve Devlet Su İşleri 1953 yılında elektrik sektöründe faaliyet göstermeye başlamıştır. Bu dönemde Devlet Su İşleri ve İller Bankası'nın katkılarıyla birçok hidroelektrik ve termik santral inşa edilerek Türkiye'nin elektrik sistemiyle entegrasyonu sağlanmıştır (Aydın, 2010:6-7 ve Karamustafaoğlu, 2007:28-29).

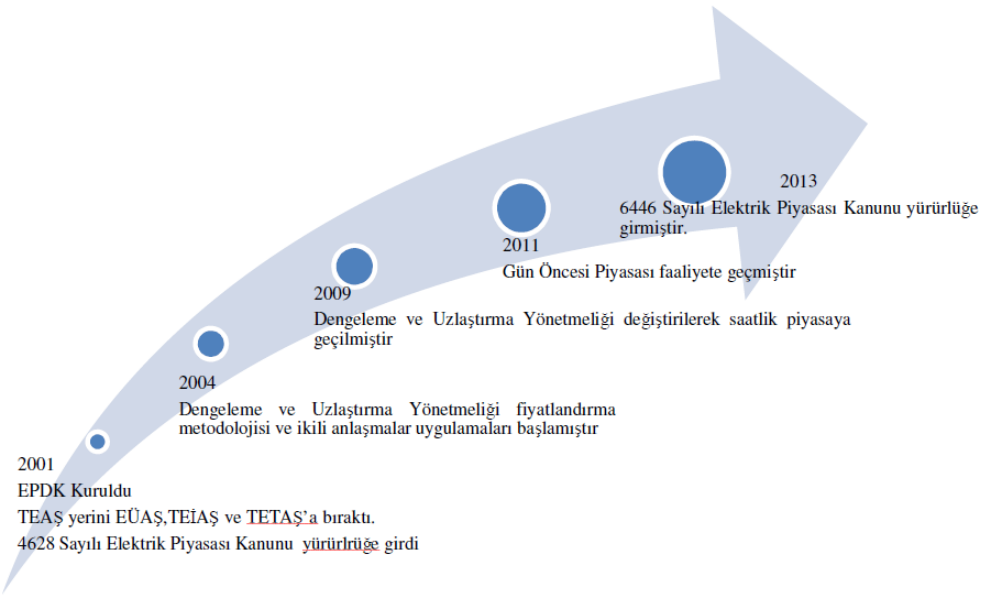
1948 yılında Zonguldak Çatalağzı Termik santrali ulusal enerji sisteminin başlangıcı niteliğindedir. 1954 yılında Devlet Su İşleri'nin kuruluşuna değin elektrik üretim ve dağıtımı Etibank öncülüğünde ilerletilmiştir. 1956 yılında Seyhan Barajına bağlı hidroelektrik santrali, Ankara yakınlarındaki Sarıyar Hidroelektrik Santrali, Kütahya'ya bağlı Tunçbilek Termik Santrali faaliyete geçmiştir. 1950'li yıllarda en büyük elektrik üretim projesi olan Atatürk Barajı ve HES, Nazilli'de Kemer Barajı ve HES, Kırşehir Hirfanlı Barajı ve HES, Manisa'da Demirköprü Barajı ve HES faaliyete geçmiştir.1970 yılında 1312 sayılı yasa ile Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurularak bir bütünlük sağlanma yoluna gidilmiştir. Planlı olarak elektrik üretim, iletim ve dağıtımının organizasyonu ve işletilmesi tekel olarak TEK'e devredilmiştir. Bu yıllarda Gökçekaya barajı, Seyitömer Termik Santrali, Keban Barajı gibi projelerle Türkiye'nin kurulu gücü 5118 MW'ye üretim kapasitesi 23 Milyar 275 Milyon kWh'ye yükselmiştir. 1984 yılında

TEK'in tekel statüsü kaldırılarak yerli ve yabancı şirketlere üretim tesisi kurma ve mülkiyeti TEK'te kalma şartıyla işletme hakkını devralma izni verilmiştir. 1980'li yıllarda Yap İşlet Devret adı verilen sistem ile üretim tesislerinin sermayedarlar tarafından finansmanı ve faaliyeti, üretilen enerjinin TEK tarafından satın alınması modeli yaygınlaşmıştır. 1993 yılında üretim ve iletimden yetkili TEAŞ ve dağıtımdan yetkili TEDAŞ olmak üzere iki şirket haline çevrilmiştir (Vikipedi, 2023).

Çeşitli yasal düzenlemelerle 2000'li yıllara kadar yap işlet devret, yap işlet ve işletme hakkı devir modelleri devam etmiştir.

Türkiye elektrik piyasasında reform 2001 yılına dayanmaktadır. 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, radikal bir değişiklikle elektrik üretim ve satış faaliyetlerini rekabete açarken, iletim ve dağıtım faaliyetlerini düzenleme altına almıştır. Bu sayede dikey bütünleşik piyasa yapısını değiştirmiştir. Bu kanunla, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) kurularak, piyasadaki aktörlerin bu kurumlarla uyumlu hale getirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye Elektrik Üretim ve İletim Anonim Şirketi (TEAŞ), Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ) ve Türkiye Elektrik Anonim Şirketi (TEİAŞ) olarak üç yeni kuruma bölünmüştür. Şekil 20 2000'li yıllardan 2013 yılına kadar olan reform sürecinin özetini göstermektedir.

Şekil 20: Türkiye Elektrik Piyasasında Reform Süreci



Kaynak: Bicil, 2015: 30.

2004 yılında Geçici Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği yayımlanmıştır. 2006 yılında Dengeleme Güç Piyasası Mekanizması 1. Aşama devreye girmiş, TEİAŞ bünyesinde Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) kurulmuş, ortaya çıkan dengesizlikler farklı periyotlarda uzlaştırılmaya başlanmıştır. Saatlik fiyatlandırma ve uzlaştırma işlemleri, 2009 yılında devreye alınan Gün Öncesi Planlama Mekanizması ile başlamıştır. Gün Öncesi Piyasası Mekanizması ile birlikte, 2011 yılında Teminat ve Avans Ödeme Mekanizması da devreye alınmıştır.

2013 yılında yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Kanunu olan 6446 sayılı kanun, organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi ve bu piyasalarda gerçekleştirilen mali uzlaştırma işlemleri ile ilgili faaliyetleri 'piyasa işletim faaliyeti' olarak tanımlamaktadır. Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında 18.06.2015 tarihinde Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ) kurulmuş olup, organize toptan elektrik piyasalarının işletim faaliyetlerini piyasa işletim lisansıyla yürütmektedir. Aynı zamanda, 6446 sayılı kanunun gereği olarak EPİAŞ, TEİAŞ tarafından piyasa işletim lisansı altında yürütülen organize toptan elektrik piyasalarının mali uzlaştırma işlemlerini ve diğer mali işlemlerini gerçekleştirmektedir. EPİAŞ'ın yükümlülüklerine ve haklarına ilişkin ayrıntılar, aynı kanunun 11. maddesinde kapsamlı bir şekilde belirtilmiştir (Elektrik Piyasası 6446 Numaralı Kanunu, 2023):

- Organize toptan elektrik piyasalarında yeni piyasaların oluşturulması için çalışmalar gerçekleştirmek ve bunları EPDK'ya sunmak,
- Bakanlık tarafından uygun görülmesi durumunda, organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi amacıyla oluşturulan veya ileride oluşturulabilecek uluslararası elektrik piyasalarına katılmak ve bu doğrultuda uluslararası elektrik piyasası işletmecisi kuruluşlara ortak veya üye olmak,
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından belirlenen usul ve esaslara göre piyasa işletim tarifelerini belirlemek ve bu tarifeleri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna sunmak.

EPİAŞ elektrik piyasası ile ilgili faaliyetlerine bakıldığında; 2015 yılında EPİAŞ, Piyasa İşletim Lisansı almış ve Piyasa faaliyetleri PMUM'dan EPİAŞ'a devrolmuştur. Yine aynı yıl Gün İçi Piyasası (GİP) açılmıştır. 2016 yılında Şeffaflık Platformu kullanıma açılmıştır. 2016 yılında Serbest Tüketici Portalı ve Yeni Gün Öncesi Piyasası (GÖP) yazılımı kullanıma başlamıştır. 2019 yılında, Vadeli Elektrik Piyasası'nın (VEP) EPİAŞ tarafından işletilmesine izin veren kanun değişikliği yayımlanmıştır. 2021 yılında Vadeli Elektrik Piyasası (VEP) açıldı, Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti (YEK-G) Sistemi kullanıma açılmıştır. (EPİAŞ, 2023).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu internet sitesi incelendiğinde “Elektrik Piyasası Mevzuat Listesi” başlığı altında ilgili tüm mevzuatlar listelenmiştir (EPDK, 2023)

Kanunlar:

5346 (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun),

4628 (Eski Elektrik Piyasası Kanunu),

6408 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile Özel Tüketim Vergisi Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun,

Güncel 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu,

Bakanlar Kurulu Kararları:

2015/8317 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı,

2013/5625 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı,

2015/8317 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’nda yer alan bazı sürelerin uzatılmasına ilişkin ekli Kararın yürürlüğe konulmasına ilişkin karar,

Acele Kamulaştırma ile ilgili karar,

2002/3983 Doğal Gaz Piyasası Hazırlık Dönemi,

Mahkeme Kararları:

06/10/2012 tarihli ve 28433 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Anayasa Mahkemesi Kararı,

4628 Sayılı Kanun’da Bazı Maddelerin yürütmesinin Durdurulması,

06/10/2012 tarihli ve 28433 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Anayasa Mahkemesi Kararı,

Yönetmelikler:

Enerji Piyasası Bildirim Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Talep Tahminleri Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Kapasite Mekanizması Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği,

Elektrik Şebeke Yönetmeliği,

Elektrik Piyasası İthalat ve İhracat Yönetmeliği,

Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi Teşkilat Yapısı ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik,

Elektrik Piyasasında Dağıtım ve Tedarik Lisanslarına İlişkin Tedbirler Yönetmeliği,

Dağıtım Sistemindeki Kayıpların Azaltılmasına Dair Tedbirler Yönetmeliği,

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik,

Elektrik Piyasası Tadillere ve İletim Faaliyeti ile Vazgeçilen Faaliyetlerin Devrine İlişkin Yönetmelik,

Organize Sanayi Bölgelerinin Faaliyetlerine İlişkin Yönetmelik,

Elektrik Piyasasında Yapılacak Denetimler ile Ön Araştırma ve Soruşturmalarda Takip Edilecek Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik,

Elektrik Piyasasında Faaliyet Gösteren Üretim ve Dağıtım Şirketlerinin Lisansları Kapsamındaki Faaliyetlerinin İncelenmesine ve Denetlenmesine İlişkin Yönetmelik (Danıştay 13. Dairesinin 2013/1864 E. sayılı dosyasında açılan iptal davasında 13/6/2017 tarihinde 2017/1932 sayılı K. İle Yönetmeliğin iptaline karar verilmiştir.),

Elektrik Piyasası Tüketici Hizmetleri Yönetmeliği,

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği,

Enerji Sektöründe Kullanılan Endüstriyel Kontrol Sistemlerinde Bilişim Güvenliği Yönetmeliği,

Rüzgâr veya Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği,

Elektrik Piyasasında Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti Belgesi Yönetmeliği,

Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Satın Alma ve Satış İşlemleri Uygulama Yönetmeliği,

Elektrik Piyasasında Dağıtım ve Perakende Satış Faaliyetlerine İlişkin Kalite Yönetmeliği,

Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği,

Elektrik Dağıtım Sistemi Yönetmeliği,

Tebliğler:

Fiyat Eşitleme Mekanizması Tebliği,

6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 16'ncı Maddesi Uyarınca Yıllara Sair Uygulanacak Para Cezaları Hakkında Tebliğler,

Elektrik Piyasasında Kullanılacak Sayaçlar Hakkında Tebliğ,

Elektrik Piyasasında Mali Uzlaştırma Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğin Yürürlükten Kaldırılmasına Dair Tebliğ,

Perakende Enerji Satış Fiyatlarının Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ,

Dağıtım Sistemi Gelirinin Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ,

İletim Sistemi Gelirinin Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ,

Piyasa İşletim Gelirinin Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ,

Elektrik İPC 2018 Yılı Tebliğ,

2018 Yılında Elektrik İPC Hakkında Tebliğ'de Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ,

Son Kaynak Tedarik Tarifesinin Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ,

Elektrik Piyasasında Dağıtım Bağlantı Bedellerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ,

Usul ve Esaslar:

Elektrik Piyasası Usul ve Esasları,

Elektrik Piyasası Kurul Kararları,

Elektrik Piyasası Piyasa Kurul Kararları,

Elektrik Piyasası Tarife Kurul Kararları,

Elektrik Piyasası Diğer Mevzuatlar:

Yenilenebilir Enerji Kaynakları,

Su Kullanım Hakkı Anlaşması Hakkında Yönetmelik,

Nükleer Güç Santralleri,

Enerji Verimliliği,

Genel Aydınlatma Yönetmeliği ve Tebliği,

Jeotermal Kaynaklar,

Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Faaliyetleri,

Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvuruları.

Türkiye' de Elektrik Piyasa Yapısı,

1.2.3.3. Elektrik Piyasası Temsilcileri

Elektrik piyasasında elektriğin niteliksel özellikleri nedeniyle 3 yönlü bir katılımcı grubu bulunmaktadır. Bunlar, üreticiler, tüketiciler ve perakendecilerdir.

Üreticiler; elektrik üretim santrallerinin sahipleridirler ve doğrudan doğruya elektrik üretiminden sorumlu olan taraftır. Üreticinin temel amacı, üretimini gerçekleştirdiği elektriği elektrik piyasaları yoluyla tüketici ve perakendecilere satmak

yoluyla satıp kar maksimizasyonunu sağlamaktır (Abhinav ve Pindoriya, 2018: 57; Çiçek, 2021: 41).

Tüketici grup ise elektriğin son kullanıcılarıdır. Son kullanıcılar spot ya da vadeli piyasalar kanalıyla elektrik enerjisi satın alabilmekte, diğer taraflardan üreticilerle anlaşmalar imzalayabilmekte ya da perakendecilerden üretilmiş enerjiyi satın almaktadırlar. Burada perakendeciler olarak ifade edilen grup elektrik dağıtıcı şirketlerdir. Dağıtım şirketleri doğrudan doğruya elektrik piyasasına katılmayan taraflara da elektrik temin etmektedir.

Perakendeci grubun amacı ise kar maksimizasyonudur. Bu noktada son tüketicilere üretilmiş elektrik enerjisi ulaştırılarak ve farklı rekabet araçları kullanılarak kar potansiyelinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

Elektrik piyasasında piyasa temsilcileri olarak piyasa operatörü, bağımsız sistem operatörü ve enerji piyasası düzenleme kurumu faaliyet göstermektedir. Piyasa operatörü, piyasanın işleyiş kuralları çerçevesinde hareket ederek enerji ticaret sürecinin oluşumunu organize ederken, bağımsız sistem operatörü elektrik piyasasına ilişkin elektrik güç sisteminden teknik yönüyle sorumludur. Piyasayı düzenleme kurumu ise piyasanın oluşum kurallarını belirler ve bu kuralların taraflar tarafından dikkate alınmasını takip ederek kurallara işlerlik kazandırır (West ve diğerleri, 2014: 196; Çiçek, 2021: 41).

Teknik boyutuyla ele alındığında, elektrik piyasaları; üreticiler, iletim, dağıtım ve tüketicilerden oluşur.

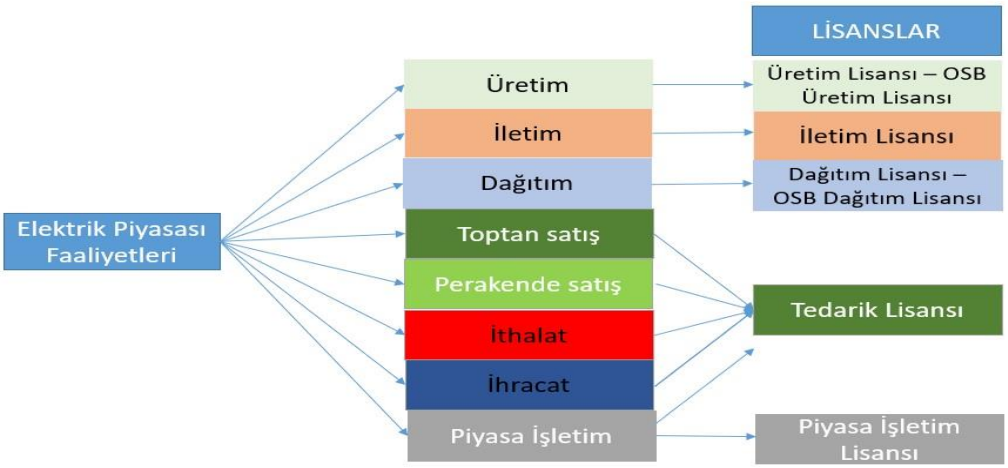
Türkiye'de tedarik yapısını oluşturan sistemde üretim, iletim, dağıtım ve perakende satış ile kurumlar yapı şekil 21'de gösterilmiştir. Zincirin önemli bir kısmı kamu kuruluşlarından oluşmaktadır. Şekil 22'de ise aralarındaki ilişki gösterilmiştir.

Şekil 21: Türkiye'de Elektrik Piyasasında Yer Alan Tedarik Aktörleri



Kaynak: Afşar ve Büyükkeklik, 2016: 82.

Şekil 22: Türkiye'de Elektrik Piyasasında Yer Alan Temsilcilerin Arasındaki İlişkiler



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

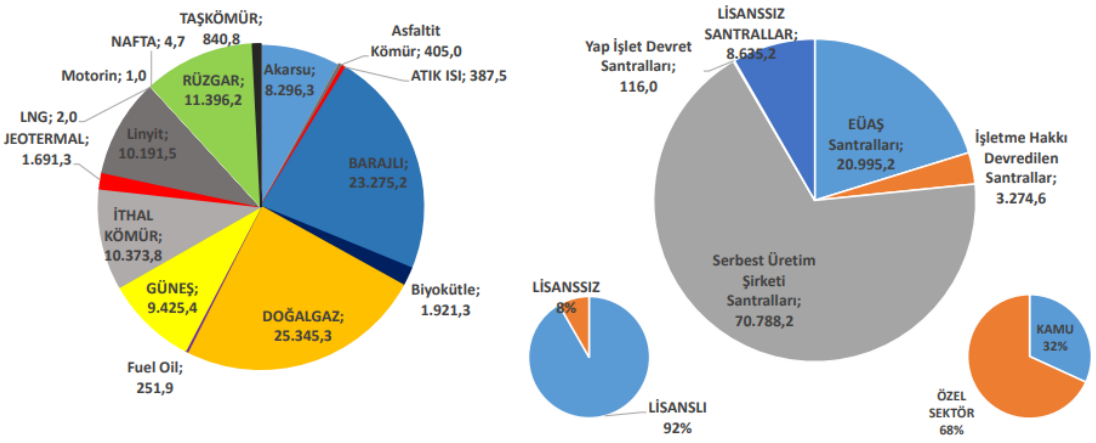
1.2.3.4. Türkiye Elektrik Piyasası İstatistiki Bilgiler

Türkiye elektrik piyasası hakkında bilgi vermeden önce, Türkiye elektrik piyasası istatistiki bilgilerine yer verilmiştir.

2022'de elektrik üretimimiz, kömürden %34,6, doğal gazdan %22,2, hidrolik enerjiden %20,6, rüzgârdan %10,8, güneşten %4,7, jeotermal enerjiden %3,3 ve diğer kaynaklardan %3,7 oranında sağlanmıştır. Mayıs 2023'ün sonunda, ülkemizin kurulu gücü 104.672 MW seviyesine yükselmiştir. 2023 yılı Mayıs ayı sonunda ise kurulu gücümüzün kaynaklar bazında dağılımı şu şekildedir: hidrolik enerji %30,2, doğal gaz %24,2, kömür %20,8, rüzgâr %11, güneş %9,6, jeotermal %1,6 ve diğer kaynaklar %2,5. Ayrıca ülkemizdeki elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2023 yılı Mayıs ayı sonu itibarıyla (lisanssız santraller dahil) 12.057'ye ulaşmıştır. Bu santrallerin dağılımı ise şu şekildedir: 751 hidroelektrik, 67 kömür, 361 rüzgâr, 63 jeotermal, 346 doğal gaz, 9.979 güneş ve 490 diğer kaynaklı santral bulunmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

Şekil 23'te kaynaklara ve kuruluşlara göre kurulu güç grafiği yer almaktadır.

Şekil 23: Kaynaklara ve Kuruluşlara Göre Kurulu Güç (%)



Kaynak: TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı Kurulu Güç Aralık Raporu, 2022.

Geçmiş yıllara ait verilerle birlikte, 2022 yılı sonuna kadar lisanslı ve lisanssız kurulu güç, talep, elektrik üretimi, faturalanan ve gerçek tüketim, ithalat ve ihracat verileri tablo 16 sunulmuştur. Tablo 17'de 2022 yılı sonu itibarıyla kaynak bazında kurulu güç ve üretim değerlerine, tablo 18'de ise 2022 yılı elektrik piyasasında gerçekleştirilen lisans işlemlerine, şekil 24'te 2022 yılı aylar itibarıyla elektrik ithalatına, şekil 25'de ise yılı aylar itibarıyla elektrik ihracatına yer verilmiştir.

Tablo 16: Lisanslı ve Lisanssız Kurulu Güç, Puant Talep, Lisanslı ve Lisanssız Elektrik Üretimi, Tüketim, İthalat ve İhracat Verileri

	Birim	2019	2020	2021	Değişim (%) 2020-2021	2022	Değişim (%) 2021-2022
Lisanslı Kurulu Güç	MW	84.960	89.067	92.273	3,6	95.174	3,1
Lisanssız Kurulu Güç	MW	6.309	6.823	7.547	10,6	8.635	14,4
Puant Talep	MW	49.281	49.852	56.304	12,9	52.286	-7,1
Lisanslı Üretim	GWh	294.251	294.248	320.081	8,8	311.779	-2,6
Lisanssız Üretim	GWh	9.825	11.347	12.217	7,7	12.738	4,3
Faturalanan Tüketim	GWh	229.598	233.397	253.057	8,4	253.621	0,2
Fiili Tüketim	GWh	301.983	304.999	330.440	8,3	327.221	-1,0
İthalat	GWh	2.212	1.888	2.329	23,4	6.414	175,4
İhracat	GWh	2.789	2.484	4.187	68,6	3.710	-11,4

Kaynak: EPDK Elektrik Piyasa Gelişim Raporu, 2022:18.

Tablo 17: 2022 Yılı Sonu İtibarıyla Kaynak Bazında Kurulu Güç ve Üretim Değerleri

KAYNAK TÜRÜ	TOPLAM KURULU GÜÇ* (MW)	ORAN (%)	TOPLAM ÜRETİM* (MWh)	ORAN (%)
Hidrolik	31.571,48	30,41	67.194.934,69	20,71
Rüzgâr	11.396,17	10,98	35.140.858,14	10,83
Güneş	9.425,44	9,08	15.435.661,31	4,76
Jeotermal	1.691,34	1,63	10.918.764,88	3,36
Biyokütle	1.921,31	1,85	9.080.038,21	2,80
Yenilenebilir	**56.005,73**	**53,95**	**137.770.257,22**	**42,45**
Doğal Gaz	25.732,79	24,79	70.827.228,33	21,83
Linyit	10.191,52	9,82	44.745.695,96	13,79
İthal Kömür	10.373,80	9,99	63.259.657,34	19,49
Taş Kömürü	840,77	0,81	3.242.363,27	1,00
Asfaltit	405,00	0,39	1.568.085,50	0,48
Fuel Oil	251,93	0,24	718.653,16	0,22
Nafta	4,74	0,00	0,00	0,00
Lng	1,95	0,00	0,00	0,00
Motorin	1,04	0,00	2.385.741,41	0,74
Termik	**47.803,53**	**46,05**	**186.747.424,97**	**57,55**
TOPLAM	**103.809,26**	**100,00**	**324.517.682,20**	**100,00**

*Lisanslı ve lisanssız santraller dahil edilmiştir.

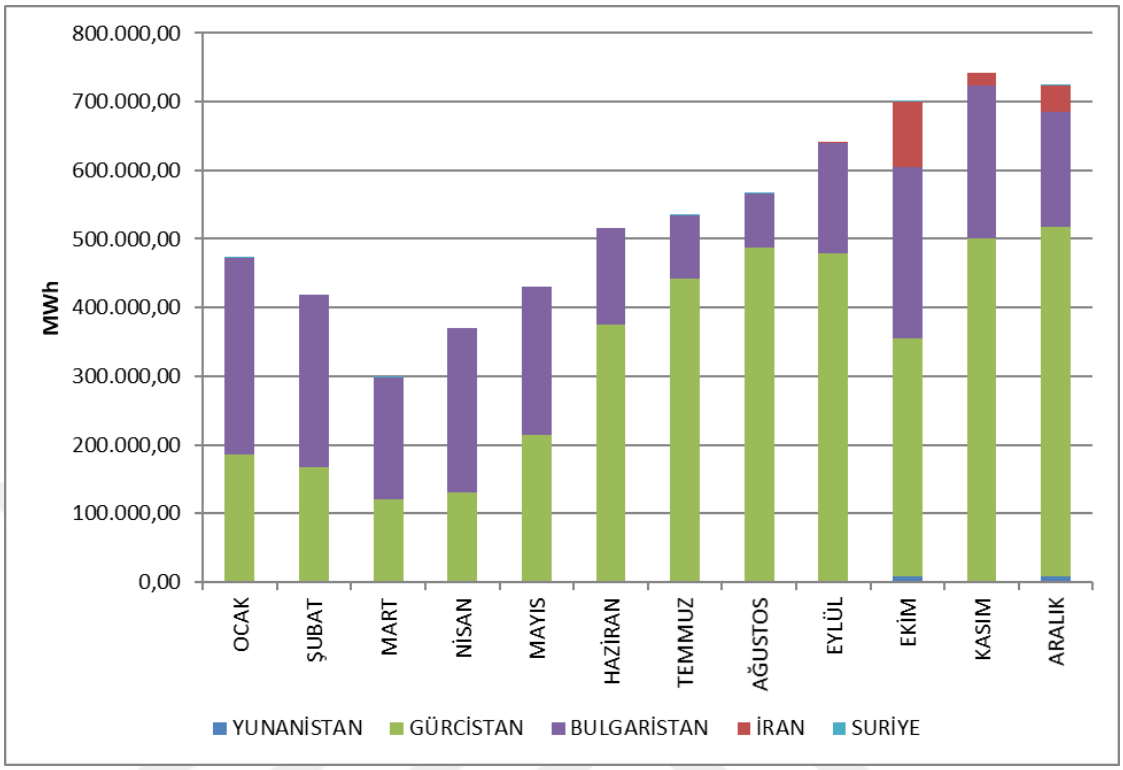
Kaynak:(EPDK Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, 2022:iii)

Tablo 18: 2022 Yılı Elektrik Piyasasında Gerçekleştirilen Lisans İşlemleri (Adet)

Lisans Tipi	Lisans Başvurusu	Lisansın Verilmesi	Lisansın Sona Ermesi/ Erdirilmesi	Lisans İptali	Dönem Sonu Yürürlükteki Lisans Sayısı
Dağıtım Lisansı	-	-	-	-	**21**
İletim Lisansı	-	-	-	-	**1**
OSB Dağıtım Lisansı	8	7	-	-	**196**
OSB Üretim Lisansı	-	-	-	-	**3**
Ön Lisans	549	91	51	1	**236**
Piyasa İşletim Lisansı	-	-	-	-	**2**
Tedarik Lisansı	78	77	3	2	**303**
Üretim Lisansı	40	63	55	5	**1.905**
Toplam	**799**	**315**	**109**	**8**	**2.744**

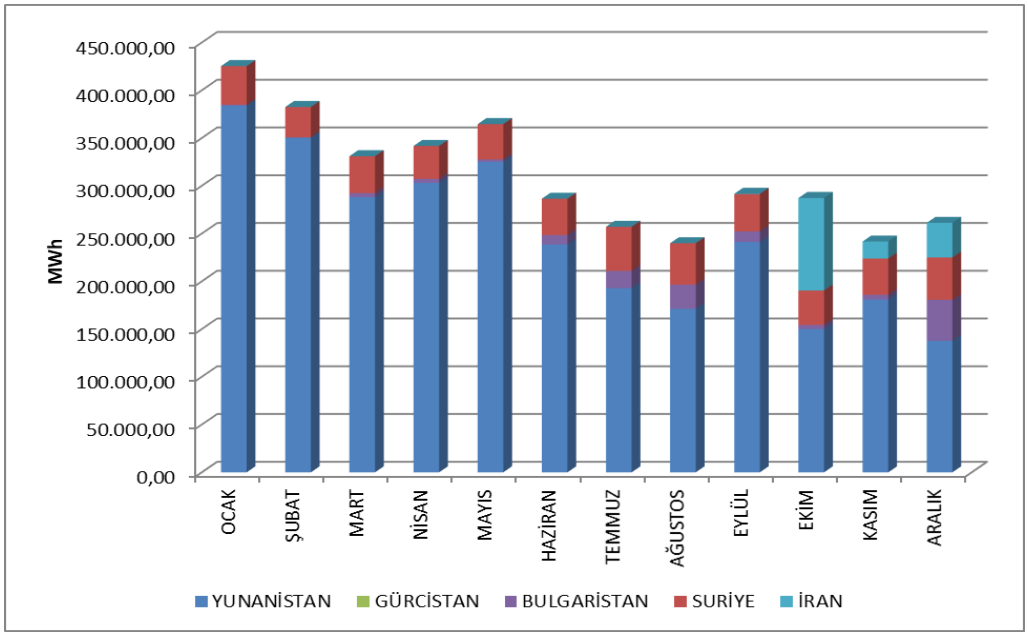
Kaynak:(EPDK Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, 2022:ii)

Şekil 24: 2022 Yılı Aylar İtibarıyla Elektrik İthalatı (MWh)



Kaynak:(EPDK Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, 2022:61)

Şekil 25: 2022 Yılı Aylar İtibarıyla Elektrik İhracatı (MWh)

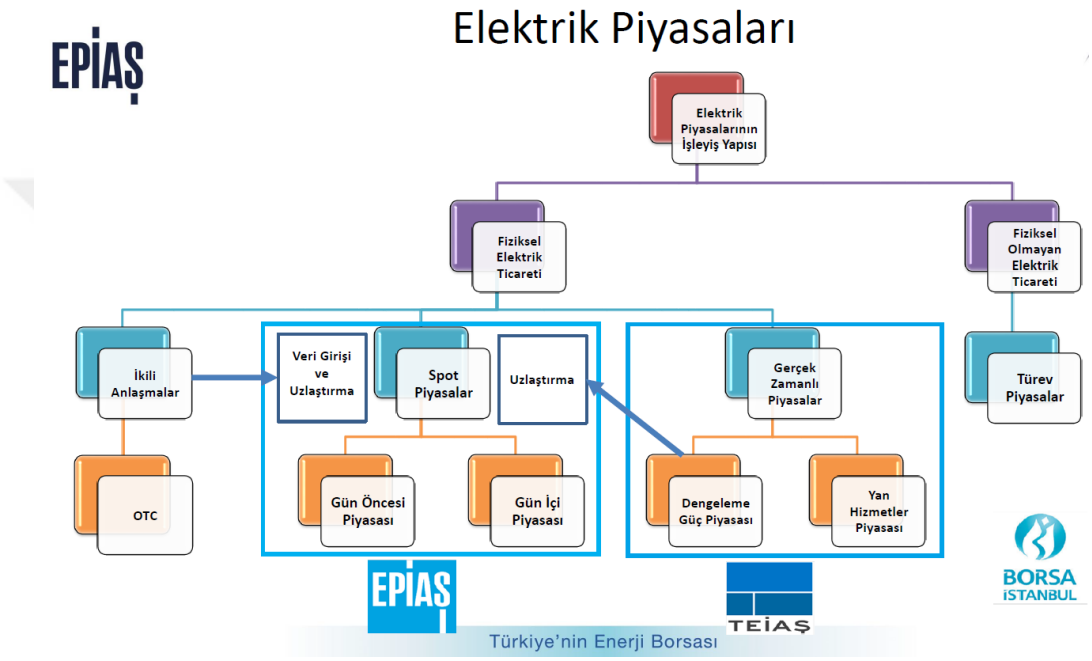


Kaynak: EPDK Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, 2022:62.

1.2.3.5. Türkiye Elektrik Piyasası

Elektrik piyasaları fiziksel ve fiziksel olmayan piyasalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel olmayan elektrik ticareti türev piyasalarda Borsa İstanbul üzerinden ilerlemektedir. Şekil 25'te Türkiye Elektrik Piyasalarının Yapısı yer almaktadır.

Şekil 26: Türkiye Elektrik Piyasalarının Yapısı



Kaynak: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2023.

Türkiye'de elektrik piyasasının mevcut yapısı dengeleme mekanizması ile desteklenen ikili anlaşmalar piyasası modeli olarak belirlenmiştir. Türkiye'de spot piyasalar, Gün Öncesi Piyasası (GÖP) ve Gün İçi Piyasası (GİP) olmak üzere piyasa işletmecisi Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ) tarafından organize edilmektedir. Türkiye'de elektrik piyasasının yapısı ve aktörleri ile ilgili mevzuat olan Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'ne göre EPİAŞ piyasa işletmecisi olarak Gün Öncesi ve Gün İçi piyasalarının işletimi, işlemlerin gerçekleşmesi, piyasa aktörlerinin alacak ve borçlarının bildirimi faaliyetlerini yürütmektedir (Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, 2023; Gökalp, 2022:7).

Dengeleme Güç Piyasası (DGP) ve Yan Hizmetler piyasası (YHP) ise sistem işletmecisi TEİAŞ tarafından organize edilmektedir. Anlık dengenin kaliteli arzı

sağlayacak biçimde oluşturulmasını, yan hizmet ve dengeleme mekanizmalarının da bu oluşumu destekleyecek şekilde yürütülmesini sağlar. İletim hattı kaynaklarının satın alınması da TEİAŞ yükümlülüğündedir. Vadeli işlem (futures) sözleşmeleri ve opsiyon sözleşmeleri EPİAŞ bünyesinde, elektrik fiyatlarındaki değişikliklere risk yönetimi yapmak ve piyasada likidite sağlamak amacıyla kullanılır. İleri tarihli piyasa, katılımcılarını karşı taraf riskinden koruyan bir piyasadır. Fiziksel teslimat söz konusudur.

Teoride spot piyasanın rekabetçi yapısıyla ilgili diğer piyasaları da düzenleyeceği düşünülmektedir. Örneğin spot veya dengeleme piyasalarında belirlenecek fiyatların referans fiyat niteliği taşıması nedeniyle diğer piyasalardaki elektrik fiyatları da aynı yönlü olarak etkileyecektir (Pinczynski ve Kasperowicz, 2016:153).

Piyasalar ve sistem işletmecisi aktörler uzun vadeli arz güvenliği ve yatırım teşviki amaçlarını ikili anlaşmalar, vadeli işlemlere ilişkin borsalar ve tezgah üstü piyasalar yardımıyla gerçekleştirmektedir. Piyasa katılımcıları bu durumda fiyat riskinden korunma ve finansal optimizasyon elde etme fırsatına kavuşmaktadırlar. Gün içi piyasası ve gün öncesi piyasası, üretim ve tüketim optimizasyonunu sağlamak amacıyla piyasalar ve sistem işletmecileri tarafından kullanılmaktadır. Bu piyasalar aynı zamanda piyasa katılımcılarına portföy dengeleme, ek ticaret olanakları ve fiziksel optimizasyon fırsatları sunmaktadır. Dengeleme güç piyasası ve yan hizmetlerden oluşan dengeleme piyasaları ile de piyasa ve sistem işletmecileri için sistem ve arz güvenliği piyasa katılımcıları için yeterli, kaliteli ve sürekli elektrik enerjisi sunulmaktadır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2023).

Türkiye'de organize toptan elektrik piyasaları, elektrik enerjisi, kapasite veya perakende alım satımların yapıldığı ve merkezi bir aracı tüzel kişilik tarafından organize edilerek işletilir. Merkezi tüzel kişiliklerin piyasa işletim lisansına sahip olması gerekmektedir. Bu piyasalar arasında gün öncesi piyasa (GÖP), gün içi piyasa (GİP) ve elektrik enerjisi veya kapasiteye dayanan standardize edilmiş elektrik sözleşmeleri ile türev ürünlerin işlem gördüğü sermaye piyasası da yer almaktadır. Borsa İstanbul Anonim Şirketi tarafından işletilen bu piyasaların yanı sıra dengeleme güç piyasası (DGP) ve yan hizmetler piyasası (YHP) gibi elektrik piyasaları da TEİAŞ tarafından organize edilip işletilmektedir (Karık ve diğerleri, 2017: 855).

Elektrik toptan satışı, elektriğin nihai kullanıcılar dışında kalan diğer kullanıcılara satışını ifade etmektedir. 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda elektriğin toptan satışı; "Elektrik enerjisinin ve/veya kapasitesinin tekrar satışı için satışı" şeklinde

tanımlanmıştır. Toptan satış piyasası bir anlamda elektriğin yeniden satışını amaçlayan bir piyasadır (Gökalp, 2022: 6).

Gün Öncesi Piyasasında (GÖP) yapılan ticarette spot olarak yapılan ticaret alıcı ve satıcının sıfır (0) anında eşzamanlı olarak anlaşma ve teslimin aynı zamanda ödemenin gerçekleştiği piyasa türüdür. Gün içi piyasasında (GİP) yapılan işlemler 12-36 saat öncesini kapsamaktadır. Elektrik piyasasının yapısal özelliklerinden dolayı spot fiyatları oynak bir yapıya sahiptir (Anderson ve diğerleri 2007'den aktaran Gökalp, 2022: 7).

Elektrik piyasalarında ikili anlaşmaların varlığı ve payının artması ideal bir kurgu gibi gözükse de, elektriğin depolanamaması, arz ve talebinin tahminlerden sapması gibi özellikleri nedeniyle spot piyasalar ve gerçek zamanlı piyasalar oluşması kaçınılmazdır. Gerçek zamanlı fiyat riskine katlanmak istemeyen katılımcılar, ikili anlaşmalara göre bağlanmamış enerji dengesizliklerini gidermek için ilk basamak olarak GÖP'te işlem yaparlar. Piyasa katılımcıları işlem yaparken bir sonraki günün her bir saaati için alış ve satış tekliflerini vermekte ve oluşan arz ve talep eğrilerinin kesiştirilmesiyle Piyasa Taka Fiyatı (PTF) oluşur. Ayrıca piyasa takas miktarı da bu noktada belirlenir. Saatlik, blok ve esnek teklifler katılımcılar tarafından GÖP'te verilebilir. Her günün sonun da farklı bir PTF ortaya çıkar. GÖP'ün iki temel fonksiyonu vardır. Bunlardan birincisi piyasa fiyatını oluşturmak iken diğeri ertesi gün için saatlik bazda üretim planını oluşturmaktır. GİP ise fiziksel teslimattan bir saat öncesine kadar işlem yapılabildiği için dengesizliği azaltma aracı olarak işlemlerin yapıldığı bir piyasadır. GÖP'te oluşan PTF spot piyasa katılımcıları için ciddi bir gösterge niteliğindedir. Gerçek piyasalardan farklı olarak GÖP, yenilenebilir de dahil tüm katılımcıların teklifte bulunabileceği bir piyasa olduğu için, bilinmeyen süreçlerden arındırılmış, mevcut tüm arz imkanlarının oluştuğu ve hesaba katıldığı bir piyasadır. Bu açıdan buradaki fiyat referans niteliğindedir (Gökalp, 2022: 11).

GÖP'te teklif verme yaklaşımlarının temel olarak üç faktöre bağlı olduğu gözlemlenmektedir. İlk olarak, düşük değişken maliyeti olan baz yük için fiyattan bağımsız teklifler verilmektedir, çünkü bu yükün devreden çıkarılması maliyetlidir. İkinci olarak, ayarlanabilir yükler için (hızlı devreye girme süresi olan) teklifler, değişken maliyete ve alternatif yakıt geçişinin maliyetine göre belirlenebilmektedir. Üçüncü olarak, ikili anlaşmalar daha önce belirtildiği gibi önceden sabitlenmiş fiyatlı genellikle bir yıllık anlaşmalardır ve spot piyasa talebini ve dolayısıyla kırılganlığı azaltmaktadır (Kaya, 2013: 15).

GÖP'ün genel esasları şu şekildedir (EPİAŞ, 2023):

- Lisans sahibi tüzel kişiler, gün öncesi piyasasına katılmak için Gün Öncesi Piyasası Katılım Anlaşması'nı imzalayarak piyasa katılımcısı olabilirler.
- Gün Öncesi Piyasası işlemleri günlük ve saatlik bazda gerçekleştirilir. Her bir gün, 00:00'dan başlayıp ertesi gün 00:00'da sona eren saatlik zaman dilimlerinden oluşur.
- Gün öncesi piyasası teklifleri bir sonraki günden başlayarak 5 gün sonraya kadar verilebilir.
- Fiyat ve miktarlar, gün öncesi piyasasının uzlaştırmasında günlük bazda ve her bir saat için belirlenir.
- Uzlaştırma hesaplamalarının sonucunda, piyasa katılımcıları günlük avans ödeme bildiriminde belirtilen tutarları piyasa işletmecisine öder veya piyasa işletmecisi tarafından ödenir. Bu bildirimler, ertesi gün merkezi uzlaştırma bankası aracılığıyla ilgili piyasa katılımcılarına duyurulur.
- Teminat mektupları her gün saat 10:30'a kadar piyasa işletmecisine sunulurken, diğer teminatlar saat 11:00'a kadar merkezi uzlaştırma bankasına sunulur, piyasa katılımcısı tarafından sunulur.

Tezin uygulama kısmında piyasada oluşan ve referans niteliği ve ciddi bir gösterge taşıyan GÖP' te oluşan PTF kullanılmıştır. PTF' nin günlük ağırlıklı ortalama verisi tezin uygulama kısmında veri olarak kullanılmıştır. Uygulama bölümünde kullanılan gözlem serisi hakkında bilgi verilecektir.

1 Temmuz 2015 tarihinde GİP faaliyete geçmiştir. GİP, dengeleme güç piyasası ile GÖP arasında bir köprü rolü oynayarak sürdürülebilirlik ve dengeleme amaçlanmıştır. Gerçek zamana daha yakın ticaret imkanı ile piyasa katılımcılarının portföylerini dengelemeleri kolaylaşmıştır. Katılımcılar santrallerde yaşanan arızalar, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki üretim dalgalanmaları ve tüketimde görünen oynaklıklar gibi öngörülmesi zor değişikliklerde korunma imkanına kavuşabilmektedirler. Ayrıca diğer piyasalardaki atıl kapasiteleri bu piyasada değerlendirerek ek bir alışveriş alanı açılmış olmaktadır. Piyasaların likiditesine olumlu katkı yapan bu durum piyasaların etkinliği açısından da önemlidir. GİP' in genel esasları şu şekildedir (EPİAŞ, 2023):

- Gün içi piyasasında, tekliflerin hemen ardından sürekli ticaret yöntemiyle eşleşmeler gerçekleşir.
- Piyasa kapanış saatine kadar, gün içi piyasası katılımcıları her gün 18:00'den itibaren PYS üzerinden bir sonraki gün için gün içi piyasası tekliflerini piyasa işletmecisine sunar.

- İşlemler saatlik bazda gerçekleştirilir ve gün içi piyasası, günün 00:00'da başlayıp ertesi gün 00:00'da sona erer.
- Gün içi piyasasının kapı kapanış zamanı, fiziksel teslimatın bir saat öncesine denk gelir ve gün içi piyasasındaki işlemler bu zaman dilimi içinde herhangi bir anda gerçekleşebilir.
- Gün içi piyasası teklifleri için fiyat alt limiti 0 TL/MWh olarak belirlenmiştir.
- İki farklı teklif tipi bulunmaktadır: Saatlik ve blok teklifler. Saatlik kontratlar için sunulan teklifler bölünebilirken, blok kontratlar için sunulan teklifler bölünemez.
- Katılımcılar, tekliflerine bitiş zamanı belirleyebilir ve tamamını eşle veya yok et veya olanı eşle ve yok et seçeneklerinden birini kullanabilir. Tamamını eşle veya yok et seçeneğiyle sunulan bir teklif hemen eşleşir veya yok edilir, teklif defterinde yer almadan. Olanı eşle ve yok et seçeneğiyle sunulan bir teklif ise teklif defterinde yer almadan hemen mevcuttaki uygun tekliflerle eşleştirilerek yok edilir. Katılımcılar, teklife bitiş zamanı belirlememe veya tamamını eşle veya yok et veya olanı eşle ve yok et seçeneğini kullanmama durumunda, teklifler ilgili kontratın kapı kapanış zamanına kadar geçerli olur.
- Daha iyi fiyat, satış tekliflerinde daha düşük bir fiyatı ifade ederken, alış tekliflerinde ise daha yüksek bir fiyatı ifade eder.
- Aynı saatlik kontrat için eşit veya daha iyi fiyatlı saatlik karşı teklifler olduğunda, eşit miktardaki karşı teklifler tamamen eşleşirken, farklı miktarlara sahip karşı tekliflerde kısmi eşleşme, en düşük miktarlı teklifin miktarıyla aynı olacak şekilde gerçekleşir.
- Aynı miktarda ve aynı veya daha yüksek fiyatlı karşı tekliflerin olduğu durumda, aynı blok kontratta tam bir eşleşme gerçekleşir.
- Teklif defterinde daha önce girilen teklifin fiyatı, gerçekleşen işlemin fiyatıdır.

Dengeleme ve uzlaştırma piyasası olarak adlandırılan piyasanın amacı toplam arzı toplam talebe denk olacak şekilde ayarlayıp dengede tutmaktır. Dengeleme mekanizmasıyla ikili anlaşmalardan doğan açıkları tamamlanarak gün öncesi, gün içi ve gerçek zamanlı dengeleme olmak üzere üç şekilde faaliyetler gerçekleştirilir. Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM), Türkiye'de dengeleme ve uzlaştırma işlemlerinden sorumlu olan bir kuruluştur ve TEİAŞ'a bağlıdır. Bunun için üretim ve tüketim tesisleri izlenerek, bu kuruluşlara yük artırımı ve azaltımı yönünde direktifler verilmektedir (Karık ve diğerleri, 2017: 855).

Yan Hizmetler Piyasasının (YHP) sistem işletmecisi tarafından Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nde tanımlanan hizmetlerden oluşan yan hizmetler, sistem işletme

güvenliği ve sistem bütünlüğünü sağlamak amacıyla kullanılır. Yan hizmetlerin sağlanması, TEİAŞ'a, hizmeti sunabilecek gerçek veya tüzel kişiler tarafından sistem işletmecisi tarafından ihtiyaç duyulan yan hizmetlerin sunulmasıyla gerçekleştirilir. Bu süreçte, yan hizmetin alınacağı tesisin belirlenmesi, gerçek veya tüzel kişilerin tespiti, gerektiğinde yan hizmet anlaşmalarının imzalanması ve bu süreçlerden kaynaklanan alacak ve borç işlemlerinin yürütülmesi için TEİAŞ tarafından ilgili idari işlemler gerçekleştirilir (TEİAŞ Piyasa Yönetim Sistemi, 2023).

Türkiye'de, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından her yıl belirlenen serbest tüketici limitleri uygulanmaktadır. Bu limitin üzerinde elektrik tüketimi yapan tüketiciler serbest tüketici olarak adlandırılmaktadır. Serbest Tüketici Yönetmeliği'ne göre serbest tüketici, elektrik enerjisi tüketen gerçek veya tüzel kişileri ifade eder. Bu kişiler iletim sistemine doğrudan bağlı olarak tedarikçi seçme özgürlüğüne sahiptir. Serbest tüketici limiti, teknoloji ve elektrik enerji sisteminin ilerlemesiyle her yıl daha fazla azaltılmaktadır (Afşar ve Büyükkeklik, 2016: 83). Örneğin 2022 yılında 1100 KWh olan serbest tüketici limiti 2023 yılında 1000 KWh ye düşürülmüştür.

Avrupa Birliğine uyum kapsamında serbest tüketici limitinin kaldırılması hedefler arasındadır. Limit kalktığında tüm kullanıcılar serbest tüketici olacaklarından elektrik dağıtım şirketlerinin müşteri talebini çekmek için daha fazla rekabete girecekleri düşünülmektedir. Bu kapsamda tarifeler ve destek hizmetlerinin çeşitlenmesi kaçınılmaz olacaktır.

Son olarak bu gölümde vadeli işlemler hakkında bilgi verilecektir.

Vadeli işlem (futures) sözleşmeleri ve opsiyon sözleşmeleri EPİAŞ bünyesinde, elektrik fiyatlarındaki değişikliklere risk yönetimi yapmak ve piyasada likidite sağlamak amacıyla kullanılır. İleri tarihli piyasa katılımcılarını karşı taraf riskinden koruyan bir piyasadır. Fiziksel teslimat söz konusudur. Spot elektrik piyasalarında, piyasa katılımcıları portföylerini dengelemek ve fiziksel optimizasyon yapmak amacıyla faaliyet gösterebilirler. Öte yandan, vadeli elektrik piyasasında, piyasa katılımcıları fiyat riskinden korunma (hedging) sağlayarak gelecekteki fiyat beklentilerini görebilme imkanına sahiptirler. Bu nedenle, spot ve vadeli elektrik piyasaları birbirini tamamlayan ve farklı piyasa katılımcılarının ihtiyaçlarını karşılayan piyasalar olarak değerlendirilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM
FİNANSAL VARLIKLAR İÇİN OYNAKLIK MODELLEMESİ

1970'li yıllardan itibaren finansal serbestleşmenin ve küreselleşmenin hızlanmasıyla finansın uluslararasılaşması söz konusu olmuş, bilişim altyapısındaki gelişmeler buna hız katmış, buna karşın yetersiz düzenlemeler ve denetim eksiklikleri finansal başarısızlıklara yol açmıştır. Finansal başarısızlıklar derinleşerek finansal krizleri beraberinde getirmiştir. Özellikle finansal varlık fiyatlarında ortaya çıkan dalgalanmalar (oynaklık, volatilite) risk ölçümü ve risk yönetiminin önemini artırmıştır. Bu bölümde, öncelikle finansal zaman serilerinin temel yapısı ele alınmış ardından oynaklık modelleri açıklanmıştır.

2.1. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Finansal zaman serileri, genellikle yüksek oynaklık içerdiklerinden normal dağılıma uymazlar. Normal dağılım için temelde basıklık (kurtosis) ve çarpıklık (skewness) değerleri dikkate alınır. Normal dağılım için serinin basıklık değerinin 3 ve çarpıklık değerinin 0 olması gerekir. Serinin basıklık değeri 3'ten büyük olduğunda şişman, kalın kuyruklar (fat tail), serinin çarpıklık değeri sıfırdan farklı olduğunda asimetrik etkiler oluşmakta, böylece yapılan analizlerin sonuçları yanıltıcı olmaktadır (Ural, 2010: 77).

Özellikle yüksek oynaklık dönemlerinde asimetrik etkilerle daha belirgin hale gelen aşırı basıklık ve çarpıklık değerleri yanında oynaklık kümelenmeleri bulunması finansal zaman serileri açısından temel istatistiksel özellikler olarak ortaya çıkmaktadır (Harris ve Küçüközmen, 2001: 367; Çifter, 2004: 1; Harris ve Sollis, 2003: 233; Brooks, 2002: 437-438; Jondeau, Poon ve Rockinger, 2007: 9-10). Bu özelliklere sahip veriler açısından normal dağılım varsayımına dayalı olarak oluşturulan modeller tutarsız sonuçlar vermektedir.

2.1.1. Aşırı Basıklık

Finansal piyasalarda yaşanan dalgalanmalar nedeniyle oynaklık düzeyi yükseldiğinden, ortalamadan sapan gözlemler nedeniyle dağılım sivri (leptokurtotik) hale gelmekte ve bu seriler şişman kuyruklu (fat tail) olarak anılmaktadır. Normal

dağılımda basıklık değeri 3 olup bunun üzerinde kalan kısım aşırı basıklık (excess kurtosis) olarak ifade edilmektedir.

Risk göstergesi olarak kabul edilen varyans veya ifadesi ve yorumlaması daha kolay olduğundan risk göstergesi olarak tercih edilen varyansın karekökü olan standart sapma değeri arttıkça oynaklık da artmakta ve şişman kuyruk yapısı belirginleşmektedir. Bu yapıda sapma oluşturan gözlemler kuyruk bölgesi dışında kalarak ölçüme katılmadığından oynaklık ve dolayısıyla risk eksik hesaplanmaktadır. Bu yüzden, şişman kuyrukları dikkate alan dağılımlar (örneğin Student-t veya genelleştirilmiş hata dağılımı-GED) ile modelleme yapmak daha tutarlı sonuçlar vermektedir.

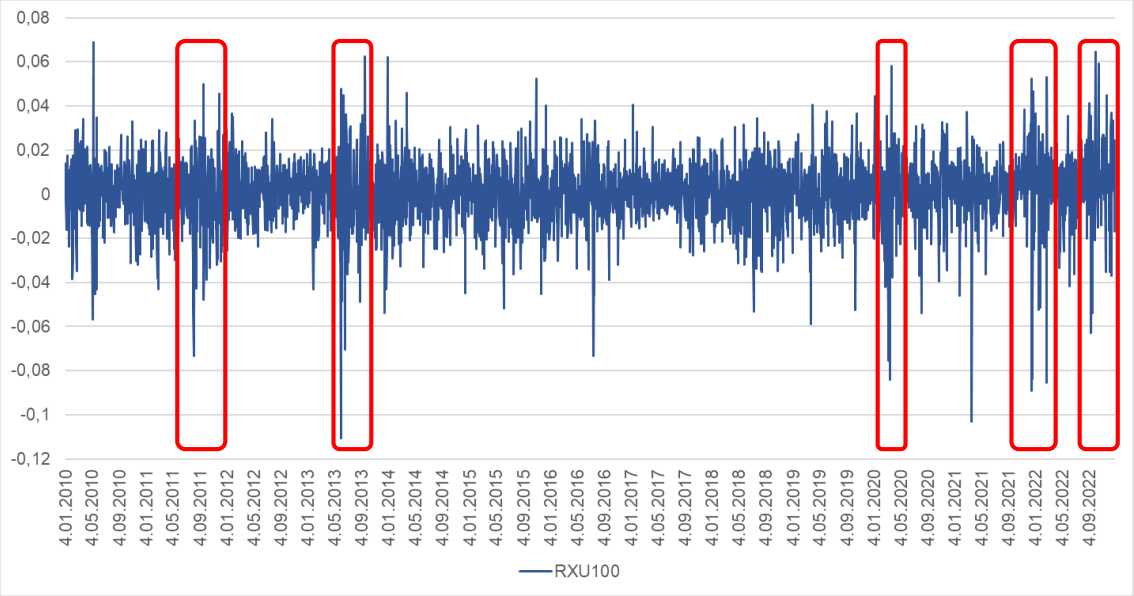
2.1.2. Asimetrik Yapı ve Kaldıraç Etkisi

Uluslararası ve/veya ulusal düzeyde ekonomik anlamda ve özellikle finansal piyasalarda yaşanan gelişmeler, pozitif şok (iyi haber) veya negatif şok (kötü haber) etkisi oluşturmaktadır. Pozitif ve negatif şoklar yatırım kararları üzerinde farklı etkilere sahiptir. Bunun yanında negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği kabul edilmektedir. Bu yüzden finansal varlık getirileri üzerinde şokların etkilerinin ayrıştırılması önemli hale gelmektedir. Bunun için, modele bir kaldıraç parametresi (asimetri katsayısı) ilave edilmekte ve kaldıraç parametresinin istatistiksel olarak anlamlı bulunması halinde, negatif ve pozitif şokların oynaklık üzerindeki etkisi ayrıştırılabilmektedir.

2.1.3. Oynaklık Kümelenmesi

Finansal zaman serilerinde, zaman süresi boyunca oynaklık eşit (sabit) olmayıp belirli dönemlerde artma veya azalma eğilimi göstermektedir. Birbirini takip eden şekilde artan dalgalanma veya azalan dalgalanma dönemleri oynaklık kümelenmesi (volatility clustering) olarak ifade edilmektedir. Bu durumda finansal varlık getiri serileri açısından yüksek getiriler yüksek getirileri, düşük getiriler düşük getirileri izlemektedir. Aşağıdaki şekilde 04.01.2010-30.12.2022 tarihleri arasındaki günlük verilerden elde edilen BİST 100 endeksi logaritmik getiri serisi (RXU100) için belirli dönemlerdeki oynaklık kümelenmeleri görülmektedir.

Şekil 27: BİST 100 Endeksi Getiri Serisinde Oynaklık Kümelenmesi



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

2.2. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ

Analiz konusu değişkene ait temel bilgileri verdiğinden ekonometrik modelleme aşamasına geçmeden önce temel tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanarak yorumlanması gerekmektedir. Finansal risk analizi ve oynaklık modellemesinde kullanılan tanımlayıcı istatistikler; en küçük değer, en büyük değer, ortalama, basıklık, çarpıklık değerleri ile varyans ve varyansın karekökü olan standart sapma olarak sıralanabilir. Daha önce açıklandığı üzere asimetrik yapının varlığı için çarpıklık, şişman kuyruğun varlığı için basıklık ve oynaklık düzeyi için standart sapma değerleri dikkate alınmaktadır.

En küçük ve en büyük değerler, analize konu finansal varlığın en düşük ve en yüksek getiri değerleri göstermektedir. Analizlerde en çok kullanılan aritmetik ortalama, seriyi oluşturan gözlemlerin toplamının serideki gözlem sayısına oranı şeklinde ifade edilir ve aritmetik ortalama (μ) aşağıda yer alan formül yardımıyla hesaplanır:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Finansal varlıklara ilişkin getiri serileri açısından temel tanımlayıcı istatistikler arasında en önemlileri standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerleridir. Standart sapma ki risk analizlerinde daha çok tercih edilen adıyla oynaklık, varyansın karekökü alınarak hesaplanan risk ölçütüdür. Standart sapma (σ) serideki gözlemlerin aritmetik ortalamadan sapmalarının karelerinin toplam değerinin, gözlem sayısının bir eksiğine bölünmesi ve çıkan sonucun karekökünün alınmasıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n-1}}$$

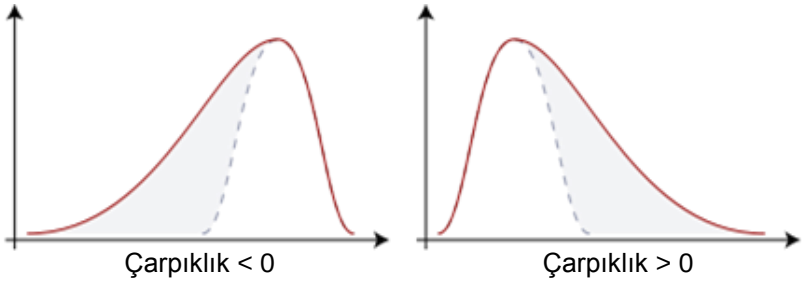
İstatistiksel modellerle belirli bir olayın ortaya çıkma sıklığını veya olasılığını açıklayan dağılımlara olasılık dağılımları denir. Bunlar arasında en sık karşılaşılanı simetrik bir dağılım olan normal dağılımdır. Finansal varlık getirilerinin de genelde normal dağıldığı varsayılır.

Herhangi bir finansal varlık getiri serisinin dağılımının simetrik yapı gösterip göstermediği çarpıklık katsayısı ile anlaşılır. Çarpıklık aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} p_i \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^3$$

Normal dağılımda çarpıklık katsayısı 0 olur. Çarpıklık 0'dan küçükse serinin sol-negatif çarpık (left tailed-skewed), çarpıklık 0'dan büyükse serinin sağ-pozitif çarpık (right tailed-skewed) bir dağılım gösterdiği anlaşılır. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere, sol-negatif çarpık dağılım uzun sol kuyruğa, sağ-pozitif çarpık dağılım uzun sağ kuyruğa sahip olmaktadır.

Şekil 28: Skewness (Çarpıklık) Değerinin Etkileri



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Basıklık değeri, serinin normal dağılıma göre nasıl bir sivrilik yapısında olduğunu göstermektedir. Özellikle finansal zaman serilerinde sıkça şişman, kalın kuyruk (fat tail) olarak ifade edilen sivri dağılım söz konusu olmaktadır. Normal dağılım için 3 olması gereken basıklık değeri, finansal zaman serilerinde 3'ten büyük çıkar. Özellikle finansal dalgalanma ve kriz dönemlerinde hem oynaklık ölçütü olan standart sapma hem de basıklık değerleri yükselir. Aynı zamanda asimetrik etkiler de oluşacağından çarpıklık değeri de 0'dan farklı olur. Basıklık aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} p_i \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^4$$

Dağılımın normal dağılıma uygunluğu istatistiksel bir teknik olan Jarque Bera testi ile araştırılabilir. Çarpıklık ve basıklık değerlerine bağlı olarak Jarque Bera (JB) test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$JB = n \cdot \left[\frac{\gamma^2}{6} + \frac{(\delta - 3)^2}{4} \right]$$

Burada, gözlem sayısı n, çarpıklık değeri γ ve basıklık değeri δ ile ifade edilmek üzere hipotez testi aşağıdaki gibi gerçekleştirilir:

H_0 : Normal dağılıma uymamaktadır.

H_1 : Normal dağılıma uymaktadır.

Elde edilen JB test istatistiği 2 serbestlik derecesinde χ^2 tablo değeri ile karşılaştırıldığında, JB test istatistiği değeri tablo değerinden küçük olursa H_0, büyük olursa H_1 hipotezi kabul edilmektedir.

2.3. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİ AÇISINDAN OLASILIK DAĞILIMLARI

Oynaklık modellemelerinde tutarlı sonuçlar elde edebilmek için doğru olasılık dağılımının kullanılması önem arz etmektedir. İstatistikte farklı olasılık dağılımları bulunmakla birlikte, referans olarak kabul edilen Normal dağılım dışında finansal zaman serisi analizlerinde en sık olarak Genelleştirilmiş Hata Dağılımı (Generalized Error Distribution-GED), Student-*t* ve Skewed (Çarpık) Student-*t* ile yapılan modeller anlamlı sonuçlar vermektedir (Dowdy ve Wearden, 1990: 161; Rice, 1987: 168; Jorion,

2009: 47-54; Bolgün ve Akçay, 2005: 153; Hansen, 1994: 705-730; Tsay, 2005: 108; Zuoxiang, Bin ve Nadarajah, 2009: 1884) .

2.3.1. Normal (Gauss) Dağılım

Alman kökenli matematikçi Carl Friedrisch Gauss (1777-1855) tarafından geliştirilen normal (gauss) dağılım, birçok rassal süreci yeterince açıklayabildiğinden en önemli sürekli olasılık dağılımı olarak kabul edilmektedir. Bu önem diğer tüm dağılımların belli bir gözlem sayısından sonra normal dağılıma yakınsamalarından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden finansal varlık getirilerine ilişkin analizler çoğu kez normal dağılım varsayımı altında gerçekleştirilmektedir. Normal dağılım fonksiyonu, ağırlığı merkezde olan ve kuyruklarda sıfıra yaklaşarak azalan çan şeklinde bir görüntüye sahiptir.

Finansal piyasalarda yaşanan bazı dalgalanmalar finansal varlık getirileri açısından şişman kuyruk ve asimetrik yapı sorunu oluşturmaktadır. Bu yüzden, normal dağılım varsayımıyla gerçekleştirilen analizler sonuçları hatalı yorumlara neden olabilmektedir. Bu bağlamda daha tutarlı sonuçlara ulaşabilmek üzere şişman kuyruk sorunu yanında asimetrik yapıyı da dikkate alan olasılık dağılımlarının (örneğin Student-t, GED gibi) kullanılması gerekmektedir.

Normal dağılım, ilk iki moment olan ortalama (μ) ve varyans (σ^2) ile ifade edilebilir. Ortalama, konum hakkında varyans ise yayılma hakkında bilgi verir. Normal dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \qquad N(\mu,\sigma^2)$$

2.3.2. Student-t Dağılımı

1908 yılında William Sealy Gosset tarafından Student-t dağılımı geliştirilmiştir. Normal dağılıma benzeyen simetrik bir yapıya sahip olan Student-t dağılımı, olasılık dağılımı olarak kullanılmaktadır, ancak dalgalanmaların etkisini yani şişman kuyruk yapısını dikkate alan, normal dağılıma göre daha sivri bir dağılımdır. Genellikle şişman kuyruk özelliğine sahip finansal zaman serileri için Bollerslev (1987) Student-t dağılımının kullanılmasını önermiştir Student-t fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$f(x)=\frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}\right)\sqrt{\upsilon\pi}}\cdot\left(1+\frac{x^2}{\upsilon}\right)^{-\left(\frac{\upsilon+1}{2}\right)}$$

Serbestlik derecesi $\upsilon>2$ olmak koşuluyla dağılım, sıfır ortalamalı $\upsilon/(\upsilon-2)$ varyanslı simetrik bir dağılımdır.

2.3.3. Çarpık Student-t (Skewed Student-t) Dağılımı

Student-*t* dağılımı normal dağılım gibi simetrik olduğundan serideki asimetrik yapı göz ardı edilmektedir. Bu boşluğu gidermek üzere asimetrik yapıyı da göz önünde bulunduran ve Hansen (1994) tarafından çarpık (Skewed) Student-t dağılımı ortaya konulmuştur.

Çarpık (Skewed) Student-t dağılımında yer alan asimetri katsayısı $\lambda=0$ olduğunda bu dağılım Student-t dağılımına ve kuyruk şişmanlığını belirleyen serbestlik derecesi $\upsilon=\infty$ olduğunda ise normal dağılıma dönüşmektedir. Bununla birlikte, Çarpık (Skewed) Student-*t* dağılımı Fernandez ve Steel (1998) tarafından da ele alınmış ve asimetri katsayısı ξ ile tanımlanmıştır. Hansen ile Fernandez ve Steel tarafından kullanılan asimetri katsayıları arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$\lambda=\frac{\xi^2-1}{\xi^2+1}$$

Asimetri katsayısı ξ ve kuyruk şişmanlığını belirleyen serbestlik derecesi υ olmak üzere Çarpık (Skewed) Student-*t* dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$f(x)=T\left\{ln\Gamma\left(\frac{\upsilon+1}{2}\right)-ln\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}\right)-\frac{1}{2}ln\left[\pi(\upsilon-2)\right]+ln\left(\frac{2}{\xi+\frac{1}{\xi}}\right)+ln(s)\right\}$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{t=1}^{T}\left\{ln\sigma_t^2+(1+\upsilon)ln\left[1+\frac{(sz_t+m)^2}{\upsilon-2}\xi^{-2I_t}\right]\right\}$$

Burada, $I_t=\begin{cases}z_t\geq-\frac{m}{s}ise & 1\\ z_t<-\frac{m}{s}ise & -1\end{cases}$ olmaktadır.

Asimetri katsayısı negatif ise dağılım sola, pozitif ise dağılım sağa çarpıktır. Burada m ve s, standartlaştırılmamış Çarpık (Skewed) Student-t dağılımının sırasıyla ortalama ve standart sapması katsayılarını ifade etmektedir:

$$m = \frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon+1}{2}\right)\sqrt{\upsilon-2}}{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}\right)} \cdot \left(\xi - \frac{1}{\xi}\right) \qquad s = \sqrt{\left(\xi^2 + \frac{1}{\xi^2} - 1\right) - m^2}$$

2.3.4. Genelleştirilmiş Hata Dağılımı

Yüksek frekanslı (günlük, dakikalık, saniyelik vb.) zaman serilerinde özellikle spekülatif fiyat hareketlerinin olduğu koşullarda şişman kuyruk sorununu Student-t dağılımından daha iyi kapsayan bir dağılım olarak Nelson (1991) tarafından Genelleştirilmiş Hata Dağılımı (Generalized Error Distribution-GED) geliştirilmiştir.

Aşağıdaki denklemde serbestlik derecesi olan $\upsilon = 2$ olduğunda finansal varlık getiri serisi simetrik yani normal, $\upsilon > 2$ olduğunda ince kuyruk, $\upsilon < 2$ olduğunda şişman kuyruk özelliği göstermektedir. GED dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$f(x) = \frac{\upsilon \exp\left(-\frac{1}{2}\left|\frac{x}{\lambda}\right|^{\upsilon}\right)}{\lambda 2^{\left(1+\frac{1}{\upsilon}\right)}\Gamma\left(\frac{1}{\upsilon}\right)}$$

Burada, $-\infty < x < \infty$ olmak üzere, υ serbestlik derecesini $\left(0 < \upsilon \leq \infty\right)$ ve $\Gamma(.)$ gamma fonksiyonunu göstermektedir. λ katsayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2^{\left(-\frac{2}{\upsilon}\right)}\Gamma\left(\frac{1}{\upsilon}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{\upsilon}\right)}}$$

2.4. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNDE DURAĞANLIK

Zaman serisi analizlerinin tutarlı sonuçlar verebilmesi için en önemli konulardan biri serinin durağan olmasıdır. Bu yüzden modelleme ve öngörümleme aşamasından önce serinin durağanlık yapısının incelenmesi gerekmektedir.

Herhangi bir zaman serisi modeli geliştirilirken, elde edilen stokastik (rassal) süreç eğer zamana bağlı olarak değişim gösteriyorsa seri durağan değildir. Ancak stokastik süreç eğer zaman boyunca sabit ise, seri durağandır (Kutlar, 2005: 252; Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2007: 57; Chatfield, 2004: 13).

Zaman serilerinin durağanlığını belirlemek için birim kök testi (unit root test) kullanılmaktadır. Serinin birim kök içermesi durumunda durağan olmadığı ifade edilmektedir. Durağanlık araştırması için en sık kullanılan birim kök testleri Augemented Dickey Fuller (ADF), Phillips–Peron (PP) ve Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin (KPSS) olarak sıralanabilir (Gujarati, 1995: 711-713).

ADF ve PP testlerinde boş hipotez (H_0) serinin birim kök içerdiği yani durağan olmadığı yönünde iken; KPSS testi için boş hipotez (H_0) ise serinin birim kök içermediği yani durağan olduğu yönündedir. Bu durumda modelleme yapılabilmesi için ADF ve PP testlerinde boş hipotezin reddedilmesi, KPSS testinde ise boş hipotezin kabul edilmesi gerekmektedir.

Finansal zaman serilerinin yukarıda açıklanan temel özellikleri, oynaklık analizi ve öngörümlemesinde ancak koşullu değişen varyans modelleri kullanılarak tutarlı sonuçlar elde edilebileceği yönünde bilgi vermektedir. Özellikle finansal varlık getiri serilerinde oynaklığın zaman içinde değiştiği bilinmektedir. Bu yüzden, varyansın dönem içinde sabit kalmayıp değiştiğini varsayan modelleri kullanmak daha tutarlı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

2.5. KOŞULLU DEĞİŞEN VARYANS MODELLERİ

1980'li yıllara kadar, stokastik değişkene ait varyansın analiz dönemi içinde aynı yani sabit kaldığı durumu dikkate alan sabit varyans (homoskedasticity) esasına dayalı modeller uygulanmıştır. Ancak finansal zaman serilerinin sabit varyansa sahip olmadığı, analiz dönemi içinde belirli aralıklarda oynaklık kümelenmeleri içerdikleri için varyansın değiştiği bilinmektedir. Bu noktada, oynaklık kümelenmesi nedeniyle koşullu değişen varyans (conditional heteroskedasticity) dikkate alınarak daha tutarlı analiz sonuçlarına ulaşılması uygun olmaktadır (Baltagi, 2000: 375). Bir finansal zaman serisinde, özellikle yüksek fiyat dalgalanması yaşanan dönemindeki varyans farklı ise, bu seri "koşullu değişen varyanslı seri" olarak ifade edilir.

Koşullu değişen varyans modellerinin başlangıcı; Engle (1982) tarafından ileri sürülen Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity–ARCH) modeli ile ARCH modeline katkı niteliğinde Bollersev

(1986) tarafından ileri sürülen Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity–GARCH) modelleridir. Bugün, koşullu değişen varyans modellerinin çok sayıda türevi bulunmaktadır. Tezin üçüncü bölümünde sadece asimetrik etkileri dikkate alan TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri kullanıldığından, burada ARCH ve GARCH temel modellerinden sonra sadece TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri açıklanmıştır.

2.5.1. ARCH Modeli

Koşullu değişen varyans kavramı ilk kez Engle (1982) tarafından Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (ARCH) modeliyle ileri sürülmüştür. Modelin temelinde, geçmiş dönem hata terimlerine bağlı olan koşullu varyansın zaman içinde değiştiği ve koşulsuz varyansın ise değişmemesi söz konusudur. Finansal alandaki şok bir gelişme hata teriminin karesine, oynaklık düzeyi ise koşullu değişen varyansa karşılık gelmekte ve ARCH modeli kullanılarak şokların oynaklık üzerindeki etkisi tahminlenebilmektedir. ARCH modeli, *p* dönem kadar önce yaşanan bir şokun, bu dönemin varyansı üzerinde bir etki oluşturduğunu kabul etmektedir.

Bir ARCH süreci, *p* dönem kadar gecikmeli hata terimini $\left(\varepsilon_t\right)$ ve σ_t^2 hata terimlerine ait koşullu varyansı göstermek üzere ARCH(*p*) modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \alpha_1\varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2\varepsilon_{t-2}^2 + \alpha_3\varepsilon_{t-3}^2 + \cdots + \alpha_p\varepsilon_{t-p}^2$$

Bu model *p* dönem için genellendiğinde aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p}\alpha_i\varepsilon_{t-i}^2 \qquad \left(\omega_0 > 0 \text{ ve } \alpha_i \geq 0\right)$$

ARCH modelini tahminlemek üzere öncelikle ARCH etkisinin varlığı araştırılır. Bu etkinin varlığını sınamak için genel olarak iki test kullanılmaktadır (Ural, Demireli ve Aydın, 2022: 62-63).

Bunlardan birincisi olan McLeod ve Li (1983) tarafında geliştirilen Ljung-Box *Q(m)* istatistiği, *m* gecikme sayısı serbestlik derecesinde χ^2 dağılımına sahiptir. Elde edilen test değeri belirlenen serbestlik derecesi ve güven aralığında χ^2 tablo değerinden küçükse alternatif hipotez $\left(H_1\right)$ reddedilmekte, böylece ARCH etkisinin olmadığı kararı verilmektedir. Aksi halde ise otokorelasyonun ve dolayısıyla ARCH etkisinin olduğuna, hata terimlerinin durağan olmadığına karar verilmektedir. Bu

durumda Ljung-Box *Q* ve Q^2 istatistikleri için test hipotezleri aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

H_0: Getirilerde otokorelasyon yani ARCH etkisi yoktur.

H_1: Getirilerde otokorelasyon yani ARCH etkisi vardır.

Özetle, *Q(m)* ve *Q^2(m)* istatistikleri, *m* serbestlik derecesinde ve belirlenen güven aralığında χ^2 tablo değerinden küçükse H_0 hipotezi, büyükse H_1 hipotezi kabul edilmektedir.

İkinci test, Engle (1982) tarafından geliştirilen Lagrange Multiplier (ARCH-LM) testidir. Bu teste ilişkin hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

H_0 : ARCH etkisi yoktur. $(\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \cdots = \alpha_p = 0)$

H_1 : ARCH etkisi vardır. (En az bir $\alpha_i > 0$)

ARCH-LM test istatistiği, yine belirlenen serbestlik derecesi ve güven aralığında χ^2 dağılımına sahiptir. *T* gözlem sayısı ve R^2 modelin belirlilik (determinasyon) katsayısı olmak üzere T x R^2 olarak hesaplanan test değeri, belirlenen serbestlik derecesi ve güven aralığında χ^2 tablo değeri ile karşılaştırılır. Buna göre, elde edilen ARCH-LM test değeri χ^2 tablo değerinden küçükse H_0 hipotezi, büyükse H_1 hipotezi kabul edilir (Enders, 1995: 148-149). Tek değişkenli modeller için 1 serbestlik derecesinde %95 ve %99 güven seviyelerinin χ^2 tablo değerleri sırasıyla 3,842 ve 6,635 olmaktadır.

2.5.2. GARCH Modeli

Bollerslev (1986) hem daha fazla geçmiş bilgiye dayanan hem de daha esnek bir gecikme yapısına sahip olan Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH-Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) modelini ARCH modelinin tamamlayıcısı niteliğinde geliştirmiştir. GARCH modelinin temel katkısı, yeni bir değişken olaraak koşullu değişen varyansın gecikmeli değerini de modele dahil etmesidir. GARCH(*p*,*q*) modelinde, *p* ARCH terimindeki gecikmeleri *q* ise GARCH terimindeki gecikmeleri göstermektedir (Patterson, 2000: 173). GARCH(*p*,*q*) modeli aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir:

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad \left(\omega_0 > 0 \text{ ve } \alpha_i, \beta_j \geq 0\right)$$

ARCH ve GARCH modellerinde model durağanlığının sağlanması önem arz eder. Bunun için aşağıdaki gibi bazı kısıtlamalar söz konusudur (Tsay, 2005: 105-114):

ARCH modeli için durağanlık kısıtı: $\sum_{i=1}^{p}\alpha_i < 1$

GARCH modeli için durağanlık kısıtı: $\left(\sum_{i=1}^{p}\alpha_i + \sum_{j=1}^{q}\beta_j\right) < 1$

GARCH modeliyle elde edilen α_i katsayısı kısa β_j katsayısı ise uzun hafıza etkisini yani seride yaşanan şokların bellekte tutulma süresini göstermektedir. Buna göre (Patterson, 2000: 717-718):

$\left(\sum_{i=1}^{p}\alpha_i + \sum_{j=1}^{q}\beta_j\right) < 1$ ise şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkileri sona ermiştir.

$\left(\sum_{i=1}^{p}\alpha_i + \sum_{j=1}^{q}\beta_j\right) = 1$ ise şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkileri süreklidir (persistent).

$\left(\sum_{i=1}^{p}\alpha_i + \sum_{j=1}^{q}\beta_j\right) > 1$ ise şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkileri daima hafızadadır.

Yazın taraması incelendiğinde, yapılan analizlerde ARCH ve GARCH parametrelerinin genellikle birer gecikmeli değerleri $(\alpha_1 \text{ ve } \beta_1)$ en uygun modelleme sonuçlarını vermektedir (Ural, 2010: 92).

Engle tarafından geliştirilen ARCH ve Bollerslev tarafından geliştirilen GARCH modelleri, koşullu değişen varyans modellerinin temelini oluşturmaktadır. 1980'li yıllarda sadece bu iki temel model kullanılmakta iken, 1990'lı yıllarda finansal ekonometri yazınında ve bilgi işlem teknolojisindeki gelişmelerle birlikte tek değişkenli pek çok GARCH tipi türev modeller geliştirilmiştir. Bu türev modellerden en sık kullanılanları IGARCH, EGARCH, TGARCH, GJRGARCH, NGARCH, PGARCH, APGARCH, HYGARCH, FIGARCH modelleridir.

ARCH ve GARCH modellerinde hata terimlerinin gecikmeli değerlerinin kareleri dikkate alındığından, iyi (pozitif) ve kötü (negatif) haberlerin/şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkisi aynı kabul edilmektedir. Bununla birlikte, karar alıcıların negatif şoklar yani kötü, olumsuz haberlerden daha fazlaca etkilendikleri bilinmektedir. Bu noktada negatif ve pozitif haberlerin/şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkilerini ayrıştırmak önem kazanmaktadır. Modele dışarıdan bir kaldıraç (asimetri)

parametresi dahil edilerek bu ayrıştırma sağlanmaktadır. Şokların, haberlerin asimetrik etkilerini dikkate alan ve sıkça analizlerde kullanılan modeller TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleridir.

2.5.3. TGARCH Modeli

Zakoian (1994) tarafından şokların, koşullu değişen varyans üzerindeki asimetrik etkisini açıklamak üzere Eşik (Threshold) GARCH (TGARCH) modeli geliştirilmiştir. TGARCH(*p*,*q*) modeli aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p}\left(\alpha_i + \gamma_i N_{t-i}\right)\varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q}\beta_j\sigma_{t-j}^2 \qquad \left(\omega_0 > 0 \text{ ve } \alpha_i, \beta_j, \gamma_i \geq 0\right)$$

Burada N_{t-i} negatif gecikmeli hata terimlerinin bir göstergesi olup aşağıdaki biçimde negatif ve pozitif şokları ayrıştırmayı sağlar (Tsay, 2005: 130; Bolgün ve Akçay, 2005:342-343):

$$\left.\begin{array}{l} \varepsilon_{t-i} < 0 \text{ ise, } 1 \\ \varepsilon_{t-i} \geq 0 \text{ ise, } 0 \end{array}\right\} = N_{t-i}$$

Burada, $\varepsilon_{t-i} \geq 0$ olduğunda $N_{t-i} = 0$ değerini alır ve pozitif bir şokun varyans üzerindeki etkisi $\alpha_i\varepsilon_{t-i}^2$ kadar olur; buna karşın $\varepsilon_{t-i} < 0$ olduğunda $N_{t-i} = 1$ değerini alır ve negatif bir şokun varyans üzerindeki etkisi $\left(\alpha_i + \gamma_i\right)\varepsilon_{t-i}^2$ kadar olur. Modelde $\gamma_i > 0$ olmak koşuluyla $\alpha_i\varepsilon_{t-i}^2 < \left(\alpha_i + \gamma_i\right)\varepsilon_{t-i}^2$ sonucu çıkacağından, finansal piyasalarda yaşanan negatif şokların oynaklığı daha fazla artırdığı söylenebilecektir.

TGARCH modeli için durağanlık kısıtı aşağıda yer almaktadır:

$$\left(\sum_{i=1}^{p}\alpha_i + \sum_{j=1}^{q}\beta_j + k\gamma\right) < 1$$

Burada k katsayısı, durağanlığın dağılıma uygunluğunu sağlamak için kullanılan ve 0,50 değerine karşılık gelen bir katsayıdır.

2.5.4. EGARCH Modeli

Üssel (Exponential) GARCH (EGARCH) modeli Nelson (1991) tarafından geliştirilmiştir. EGARCH modelinin yardımıyla bir yandan asimetrik yapının koşullu varyans üzerindeki etkisi bir yandan da koşullu varyansın negatif değerler alma

olasılığı giderilmiş, böylece logaritmik formda bir model kurulabilmiştir. EGARCH(*p*,*q*) modeli aşağıdaki denklem yardımıyla gösterilebilir:

$$\ln\left(\sigma_t^2\right) = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \frac{\left|\varepsilon_{t-i}\right| + \gamma_i \varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

EGARCH modeli için asimetri katsayısı $\left(\gamma_i\right)$ sıfırdan farklı bir değer aldığında $\left(\gamma_i \neq 0\right)$ koşullu değişen varyans üzerinde asimetri etkisinden söz edilebilir. Eğer, $\gamma_i > 0$ ve ayrıca istatistiksel olarak anlamlıysa geçmişte yaşanmış pozitif şokun/haberin; aksine, $\gamma_i < 0$ ve ayrıca istatistiksel olarak anlamlı ise, geçmişte yaşanmış negatif şokun/haberin oynaklığı daha çok artırdığı ifade edilebilir. Ancak genel beklenti negatif finansal şokların oynaklığı daha çok artırdığı yönündedir.

2.5.5. APGARCH Modeli

Ding, Granger ve Engle (1993) tarafından sunulan Genelleştirilmiş Asimetrik Üslü ARCH (APGARCH-Generalized Asymmetric Power ARCH) modeli, asimetrik ve şişman kuyruklu yapıya sahip seriler için etkili bir tahminleme modeli olarak geliştirilmiştir. Ding, Granger ve Engle (1993), yüksek frekanslı zaman serilerinde getiri ve varyansın doğrudan karesi yerine, kaçıncı kuvveti ile modellenmesi gerektiğini analiz etmişlerdir. APGARCH(*p*,*q*) modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\sigma_t^{\delta} = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \left(\left|\varepsilon_{t-i}\right| - \gamma_i \varepsilon_{t-i}\right)^{\delta} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^{\delta} \qquad \left(\omega_0 > 0 \text{ ve } \alpha_i, \beta_j \geq 0\right)$$

Denklemde; α_i ARCH, β_i GARCH, γ_i kaldıraç (asimetri) ve δ kuvvet parametrelerni ifade etmektedir. Kaldıraç etkisi -1 ile +1 arasında değerler alırken, kuvvet parametresi 0'dan büyüktür $\left(\delta > 0\right)$. γ_i negatif olduğunda, geçmişteki pozitif şokların bugünkü koşullu varyans üzerinde daha fazla etkiye yol açtığı anlamına gelmektedir. Tam karşıt olarak, γ_i pozitif olduğunda, geçmişteki negatif şokların, bugünkü koşullu varyans üzerinde daha fazla etkiye yol açtığı anlamına gelmektedir.

APGARCH modelinin tahminlenmesinde elde edilen kuvvet parametresi $\left(\delta\right)$ 2'ye yakın olursa koşullu varyansın modellenmesinin daha uygun olacağı anlaşılmaktadır. Bu anlamda model, geleneksel GARCH modeline yaklaşmaktadır. APGARCH modelinin durağanlık kısıtı aşağıdaki formül ile gösterilebilir:

$$\alpha_i E\left(|z|-\gamma_i z\right)^{\delta}+\beta_j<1$$

Buraya kadar yapılan açıklamalarda, finansal zaman serilerinin temel özellikleri, tanımlayıcı istatistikleri ve koşullu değişen varyans modelleri ele alınmıştır. Finansal zaman serilerine ilişkin oynaklık düzeyinin belirlenmesinde sabit varyans esasına dayalı çalışmaların yetersizliğine karşın koşullu değişen varyans esasına dayalı modellerin daha tutarlı sonuçlar vereceği unutulmamalıdır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ELEKTRİK PİYASASINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ VE YAPISAL KIRILMALARIN PİYASA ETKİSİNİN ANALİZİ

3.1. ELEKTRİK PİYASASINDA OYNAKLIK MODELLEMESİ İLE İLGİLİ YAZIN TARAMASI

Elektrik, finansal varlıklardan ve diğer ürünlerden fiziksel olarak ayrı niteliklere sahiptir. Arz ile talebin sürekli ve anlık olarak dengelemesi gereken bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden, büyük bir kısım elektrik piyasasında yarım saatlik veya saatlik zaman dilimlerinde elektrik ticareti gerçekleştirilir. Elektrik dünya da temel ihtiyaç maddesi olarak kullanılan ama yeteri kadar depolanamayan bir üründür. Bu durum, diğer enerji kaynaklarına kıyasla fiyatlarının farklı bir gelişim göstermesine neden olur.

Elektrik piyasaları, dünyada yeniden yapılandırmalarla oluşturulmuş ve bu piyasalarda elektrik fiyatlarının oynaklığı artmıştır, elektriğin kendine özgü özelliklerinin fiyatlar üzerindeki etkileri ön plana çıkmıştır. Bu özelliklerin elektrik aktörleri tarafından tamamen anlaşılması ve risklerin öngörülebilir olabilmesi için piyasa tarafından kritik önem taşımaktadır.

Elektrik fiyatlarının ortalamaya dönme, mevsimsellik, yüksek frekans, takvime bağlılık, teknolojik üstünlük, oynaklık, sıçrama ve pik yapma gibi özellikleri vardır. Diğer finansal varlıklara kıyasla elektrik fiyatları daha yüksek oynaklık gösterebilmektedir. Birden çok çalışma ve araştırmada; finansal alanda, kayıp ve kazanç noktalarının belirlenmesi amacıyla, oynaklık üzerine yapılmıştır.

Türkiye'de, belirli bir zaman süreci içinde elektrik fiyatlarının oynaklığının fiyat dalgalanmalarıyla olan ilişkisini ortaya koyan çalışmaların neredeyse hiç yapılmadığı görülmektedir. Bununla birlikte yurt dışında elektrik fiyatları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Karmaşık bağımlılık yapısına sahip çok değişkenli fiyat serilerini ele alan çalışmalar ise oldukça sınırlıdır (Maciejowska ve Weron, 2015:806).

Elektrik fiyatlarının özelliklerini modellemek ve incelemek için kullanılan veriler zaman serisi niteliğinde olduğundan, bu serilerin durağanlığı belirlenmelidir. Serilerin özelliklerinin belirlenmesi için durağanlık testlerinin sonucuna göre uygun nicel metodlar seçilmelidir.

De Vany ve Walls (1999) tarafından yapılan çalışma, elektrik piyasa fiyatlarının durağanlık sağlamadığını ortaya koymuştur. Serilerin durağan olması, stokastik yöntemlerle ilişkili regresyon teknikleri ve ARCH veya GARCH modellerini içeren tekniklerin kullanılmasını gerektirir.

Durağan serilere yönelik kullanılan yöntemler, söz konusu serilerin hem deterministik hem stokastik özelliklerini belirlemeyi amaçlar. Deterministik özellikler genellikle analize konu serilerde sabit bileşen, trend bileşeni ve mevsimsel bileşenin varlığını tespit etmeyi hedefler. Serilerin stokastik özellikleri ise değişkenlerin durağanlık özelliğine sahip olup olmadığıyla ilgilenir (Tarı, 2005: 380).

Serilerin deterministik ve stokastik özelliklerinin incelenmesi, zaman serileriyle yapılan analizlerin standart istatistik teorisiyle değerlendirilebilmesi için gereklidir (Tarı, 2005: 381).

Finansal piyasalar ile elektrik piyasaları arasında çok sayıda farklılık bulunmaktadır. Finansal piyasalarda gözlemlenen ilişkiler daha çok nicel modeller aracılığıyla kolayca açıklanabilirken, enerji piyasaları daha karmaşık bir tabloyu yansıtmaktadır. Finansal piyasalarda işlem gören finansal varlıklar kaydi olarak saklanabilir ve hava koşullarından etkilenmeden transfer edilebilir. Buna karşın enerji piyasaları, üreticiler ve kullanıcılar arasındaki ilişkileri yansıtan fiziksel ürünlerin üretimini, saklamasını, alım satımını içeren davranışları sergilemektedir. Depolama, ulaştırma, teknoloji ve iklim koşulları, elektrik spot fiyatlarının modellemesi ve incelemesinde önemli faktörlerdir (Pilipovic, 1998: 61).

Elektrik endüstrisinin arz tarafında, fosil yakıt gibi girdilerin stoklanması ve ulaştırılması düşünülürken, talep tarafında ise son kullanıcılar üretilen elektriğin tüketim tarafıyla ilgilenmektedir. Hane halkları, ısınma, serinleme ve ev içindeki faaliyetler için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Endüstriyel kullanıcılar, sürekli ve kesintisiz üretim faaliyeti yürütebilmek için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Elektrik kesintilerinde üretim hatlarının durdurulması ve tekrar başlatılmasının maliyeti yüksektir (Pilipovic, 1998: 75).

Elektrik endüstrisi içinde yer alan üreticiler, son kullanıcılar ve bunlar arasında yer alan aracı kurumlar, elektrik fiyatlarının davranışını etkileyen faaliyetlerde bulunmaktadır. Elektrik fiyatlarının gözlemlenebilir en belirgin özellikleri şunlardır: Mevsimsel etkiler, oynaklık kümelenmeleri, fiyatlar üzerindeki etkilerin sürekli ve kalıcı olması, anlık sıçramalar ve pik değerlerin görülmesi, fiyatların zaman içinde ortalama değere dönme eğiliminde olması.

Spot elektrik fiyatlarının gelecekteki değerlerine bağlı olmamaları, nihai kullanıcıların belirsiz fiyatlarla karşılaşmaması için sayısal yöntemlerle spot elektrik fiyatlarının doğru bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. (Lucia ve Schwartz, 2002: 8).

Spot elektrik fiyatlarının karmaşık özelliklerini belirlemek amacıyla zaman serileri analizine dayanan teknikler uygulanmaktadır.

Goto ve Korolyi (2003) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Avustralya, Nord Pool ve ABD piyasalarında yapılan analizlerde, farklı bölgelerdeki fiyatların önemli istatistiksel özelliklerini ARCH modeli kullanılarak ortaya koymuşlardır. Ayrıca, fiyatların mevsimsel özelliklerini de ARCH modelleri aracılığıyla başarılı bir şekilde belirlemişlerdir.

Elektrik enerjisi piyasalarında düzenlemelere tabi olan ülkelerde, elektrik üretimi ve dağıtımı süreçleri belirli kurallar çerçevesinde gerçekleştirilir. İlk başlarda, düzenleyici kurumlar elektrik fiyatlarını üretim maliyetlerine dayanarak sabit bir şekilde belirlemekteydi. Ancak sonraki düzenlemelerle birlikte, elektrik fiyatları arz ve talep koşullarına dayalı olarak rekabetçi bir şekilde dinamik olarak belirlenmeye başlamıştır. Bu durum elektrik fiyatlarında belirsizlik yaratmaktadır. Elektrik talebi çeşitli faktörlere bağlı olarak, iklim koşulları, mevsimsel etkiler, bölgesel yoğunluklar ve son kullanıcıların yerleşim durumu gibi faktörler tarafından belirlenirken, elektrik arzı da üretim santrallerinin konumu, üretim payları, iletim ağı yapısı ve üretim maliyetleri gibi faktörlerden etkilenmektedir. Düzenlemeye tabi olan piyasalarda, fiyatlar zaman içinde değişkenlik göstermekte ve bazen olağanüstü yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Bu oynaklık, dağıtıcılar, üreticiler ve piyasa düzenleyicileri için önemli bir konudur. Oynaklık, karmaşık faktörlerin etkileşimleri sonucunda ortaya çıkan bir olgudur ve hala aktif bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Elektrik stoklanamadığından ve talebin fiyat esnekliği düşük olduğundan, arz ve talepteki olumsuz değişimler ile iletim hatlarındaki fiziksel kısıtlamaların etkisi daha da büyük hale gelmektedir.

Elektrik fiyatlarının belirlenmesi üzerine yapılan araştırmaların kapsamlı bir literatürü mevcuttur. Bazı çalışmalar, fiyatların istatistiksel ve matematiksel açıdan stokastik özelliklerini modellemeye odaklanırken, diğer çalışmalar arz ve talep temelli ekonomik denge modellerine yoğunlaşmıştır. Elektrik üreticileri ve dağıtıcılarının piyasa güçleri, elektrik fiyatlarındaki davranışları açıklamak için incelenmiştir. Elektrik iletiminin fiyatlandırılması, regülasyonun sağladığı yararlar, üretim tesislerinin değerlendirilmesi ve iletim faaliyetleri hakkında yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, elektrik fiyatlarının belirlenmesi konusunda geniş bir anlayış sağlamak amacıyla yapılmıştır.

Elektrik talebini, iklim koşulları ve ekonomik faaliyetler gibi faktörler etkilemektedir. Buna karşın talep, esnek olmayan bir niteliğe sahiptir. Talebin düşük seviyelerde olduğu durumda, üreticiler düşük marjinal maliyetlerle çalışan kurulu

güçlerini kullanmak suretiyle elektrik üretimini gerçekleştirirler. Bununla birlikte, yaz ve kış ayları, haftanın belirli günleri ve hatta gün içerisinde belirli saatlerde talep arttığında, yüksek marjinal maliyetlerle çalışan üretim birimleri devreye girer. Bu durum, elektrik talebinin değişken doğasını yansıtmaktadır. Lucia ve Schwartz (2002), Escribano ve diğerleri (2002), Guthrie ve Videbeck (2002), Knittel ve Roberts (2001) gibi çalışmalar, mevsimsel etkileri incelemiştir.

Talebin yükselmesiyle birlikte, maliyeti yüksek olan üretim santralleri devreye girer ve bu durum fiyatlar üzerinde artış etkisi yaratır. Öte yandan, bu tür santrallerin veya üretim birimlerinin devre dışı kalmasıyla birlikte fiyatlar eski düzeylerine dönme eğilimi gösterir. Bu durum, fiyatların ortalama değere yakınsama eğilimi ile açıklanabilir. Deng (2000), Robinson (2000), Knittel ve Roberts (2001), Escribano ve diğerleri (2002) gibi çalışmalar, ortalamaya dönüş modelleri üzerine çalışmışlardır. Bazı çalışmalar, fiyatların oluşumunda ortalamaya dönüş eğiliminin derecesini, zamana bağlı koşullu oynaklık ve ani fiyat yükselişleriyle açıklamışlardır.

Elektrik fiyatlarındaki oynaklık, zaman içinde arz ve talep miktarındaki dalgalanmalar ile iklim koşullarıyla ilişkilidir. Robinson ve Baniak (2002) tarafından yapılan bir çalışma, İngiltere'deki arz değişikliklerinin oynaklık üzerindeki etkisini parametrik olmayan yöntemlerle incelemiştir. Bu modelin elektrik için bazı kısıtlamaları olduğu bulgulanmıştır.

Piyasanın fiyat davranışlarını etkileyen faktörlerini inceleyen birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, fiyat esnekliğini, mülkiyet yoğunluğunu, santral kapasitelerini, üretim teknolojisini, elektrik piyasalarının organizasyonunu ve gönüllü veya zorunlu yapılarını, iletim aşamasının yapısını ve fiyatlandırmasını inceler.

Wolak (2000) tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, Galler, İngiltere, Yeni Zelanda, Nord Pool ve Avustralya'daki elektrik piyasalarında üretim tarafının büyük ölçüde özelleştirildiğini ve fiyatların yüksek oynaklıkla ilişkili olduğunu açıklamıştır. Aynı zamanda, zorunlu katılımın olduğu piyasalarda daha yüksek fiyat oynaklıkları gözlemlenmiştir. Mount (1999) ise İngiltere'de ani fiyat artışlarının arz tarafında baskın iki önemli üreticinin sahip oldukları piyasa gücüyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Knittel ve Roberts (2001) tarafından gerçekleştirilen bir araştırma, elektrik fiyatlarında ters kaldıraç etkisinin varlığını ortaya koymuştur. Bu etki, pozitif şokların fiyat serilerinde negatif şoklara göre daha büyük bir oynaklığa neden olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, yüksek marjinal maliyetlere dayandırılmaktadır. Ayrıca, modelleme sürecine sıcaklık değişkenini eklemenin, modelin tahmin gücünü artıracağı belirtilmektedir.

Elektriğin yapısı gereği, diğer emtia piyasalarına göre elektrik fiyatlarının davranışı farklıdır. Elektrik stoklanamadığı için arbitraj olanağı bulunmamaktadır. Bu durum, elektrik fiyatlarının analizine ve doğru tahminlenmesine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Knittel ve Roberts (2001) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, elektrik fiyatları, mevsimsel olarak ısınma ve soğutma ihtiyaçlarından etkilenen güçlü bir faktöre sahiptir. Kuzey Kaliforniya'da yaz aylarında artan elektrik talebi, özellikle soğutma amaçlı kullanıma bağlı olarak yükselmektedir. Yüksek sıcaklıklar, elektrik fiyatlarının ilkbahar mevsimine kıyasla daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Kış aylarında ise elektrik fiyatları genellikle en düşük seviyelerdedir. Bu durum, ısınma ihtiyaçlarının çoğunlukla doğal gazla karşılanmasından kaynaklanmaktadır. Elektrik piyasaları ayrıca dağıtım ve iletim aşamalarındaki kısıtlamaları da yansıtmaktadır.

Elektrik piyasaları, iletim ve dağıtım aşamalarının kısıtlamalarını da yansıtmaktadır. Üretilen elektrik, üretim noktasından talep edilen noktaya kadar iletim ve dağıtım hatları üzerinden ilerlemektedir. Her bir hat belirli bir kapasiteye sahiptir ve belli bir zamanda taşıyabileceği maksimum elektrik miktarını ifade eder.

Elektrik fiyatlarının oynaklığı diğer emtia fiyatlarından farklı olarak yüksek bir süreklilik arz etmektedir. Elektrik fiyatları, talep hareketlerinden fazlasıyla etkilenmekte, günlük, haftalık ve mevsimsel etkilere bağlı olarak güçlü dalgalanmalar göstermektedir. Fiyatların pozitif şokları, negatif şoklara göre fiyattaki oynaklığı daha fazla artırmakta ve böylece ters kaldıraç etkisi görülmektedir.

Elektriğin stoklanmasının mümkün olmaması ve sürekli taleple dengelenmesi, elektrik spot fiyatlarının temel özelliklerini yansıtmaktadır. Elektrik anlık olarak üretilmeli ve tüketilmelidir, bu nedenle stoklama imkanı bulunmamaktadır. Talep ve arz arasındaki anlık denge, spot elektrik fiyatlarının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Elektrik piyasalarında stoklama olmaması, olağandışı durumların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Üretim tesisleri maksimum kapasitelerde çalışabilmektedir ve elektrik talebi sınırları aştığında normal fiyat seviyelerinden daha yüksek fiyatlar ortaya çıkmaktadır. Gün içinde üretim tesislerindeki sorunlar, iklim değişiklikleri ve iletim hatlarındaki problemler nedeniyle fiyatların oynaklığı artmaktadır. Elektrik fiyatlarının ortalamaya dönme eğilimi olduğu da tespit edilen bir diğer özelliktir.

Elektriğin niteliksel özellikleri özetle aşağıdaki gibidir:

Enerji piyasalarında finansal piyasalardaki gibi güçlü bir ortalamaya dönme eğilimi bulunmaktadır.

- Ortaya Dönme Özelliği: Elektrik fiyatları, büyük dalgalanmalar göstermesine rağmen uzun vadede her zaman ortalamaya geri dönme eğilimindedir. Belirli bir ölçüde ortalamaya dönüş eğilimi sergilerler, yani elektrik spot fiyatları denge fiyatlarına yaklaşır. Spot fiyatlar genellikle denge fiyatları etrafında dalgalanır. Stokastik özellikler, spot fiyatları denge fiyatından uzaklaştırmaya çalışırken, deterministik özellikler ise fiyatları denge fiyatına yaklaştırmaya çabalar. İklim koşulları, bu denge fiyatını etkileyen en önemli faktördür. Spot fiyatlar, hem iklim koşulları hem de talepteki değişimler gibi etkilerle ortalamaya dönüş eğilimindedir. Savaşlar, kuraklık, doğal afetler ve benzer olaylar beklenmedik bir arz ve talep dengesizliğine neden olur. Söz konusu olaylar ne kadar çabuk ortadan kaybolursa ya da normale dönerse, ortalamaya dönüş söz konusu olur ve bu durum ölçülebilir (Pilipovic, 2007: 23).

Elektrik fiyatlarının ortalamaya dönüş eğilimi oldukça güçlüdür. Elektrik fiyatının olağandışı bir seviyeden ortalamaya geri dönüşü çok daha hızlı gerçekleşir, bu yüzden olağandışı fiyat sıçramaları genellikle daha kısa süreli olur (Huisman ve Mahieu, 2003: 425).

- Mevsimsellik: Elektrik talebi mevsimsel olarak dalgalanmaktadır. Güneş ışığından yararlanılan saatler ve sıcaklık gibi iklim koşulları elektrik spot fiyatlarında oldukça belirgin farklılıklara yol açar. Bu nedenle, günlük spot fiyatların saatler, haftanın günleri ve yılın aylarına göre değiştiğinin bilinmesi önemlidir (Bierbrauer, ve diğerleri, 2003). Elektrik fiyatlarındaki mevsimsel davranış, arz ve talepteki mevsimsel dalgalanmalara bağlı olarak özellikle spot fiyatlarında görülür (Weron, 2006:32).

Elektrik, insan faaliyetleri ve mevsim koşullarından oldukça etkilenir. Bu özelliği ile dinamik bir yapıdadır.

Ayrıca çok soğuk ya da çok sıcak dönemlerde elektrik talepleri farklılaşır. Bu durum da elektrik fiyatlarının karmaşık yapısı ile ilgili önemli bir konudur.

- Oynaklık, Sıçrama ve Pik Yapma Özellikleri: Elektrik piyasalarının en dikkat çeken özelliklerinden biri, spot fiyatlarda ani ve genellikle beklenmedik şekilde ortaya çıkan sivri uçlardır. Bu sivri uçlar, fiyatların oldukça kısa sürede önemli derecede yükselmesi ve ardından önceki seviyelere geri dönmesi şeklinde gerçekleşir (Weron, 2006:25).Spot elektrik fiyatlarının belirlenmesinde etkili olan özelliklerden birisi de fiyatların oynaklığıdır. Spot fiyatlar günlük olarak değişim gösterirken, değişimin büyüklüğü rastgele olarak gerçekleşir. Arz talebi aştığında, elektrik marjinal maliyet üzerinden satılır. Talep arzı aştığında ise elektrik fiyatları sıçrama gösterir. Oynaklık, modellerin stokastik bileşeni ve elektrik spot fiyatlarının önemli bir açıklayıcısıdır.

Ayrıca, değerleme ve risk yönetimi için önemli bir veri oluşturur (Robinson ve Baniak, 2002: 1487; Bystrom, 2003: 5).

Elektrik spot fiyatlarındaki oynaklık, arz ve talep yapısından kaynaklanmaktadır. Elektrik talebi kısa dönemde elastik değildir. Çünkü elektrik temel bir ihtiyaç olup arıza veya aşırı sıcaklık gibi durumlarda bile tüketiciler talebi azaltamazlar. Bu durumda fiyatlarda ani değişimler görülebilir. Ayrıca her bir piyasanın arz yapısı da spot fiyatların yüksek seviyelerine etki eder. Fiyatlar, arz ve talebi dengelemek amacıyla piyasada oluşur. Fiyatların düşük seviyelerde olduğu dönemlerde, üreticiler düşük marjinal maliyetlerle üretim yaparlar. Talep arttıkça, yüksek marjinal maliyetlerle çalışan üreticiler devreye girerek yüksek fiyat seviyelerinde üretim yaparlar. Talebin fiyat esnekliği olmaması, iletim kapasitesindeki kısıtlar ve sistemdeki arızalar gibi faktörler kısa dönemde elektrik spot fiyatları oynaklığını artırır. Arz ve talep eğrilerinin dik olduğu piyasalarda, talepteki artışlar fiyatlarda ciddi yükselişlere yol açabilir (Escribano ve diğerleri, 2002)

- Yüksek Frekans: Elektrik fiyatlarında saatlik veya yarın saatlik frekanslar söz konusudur. Bu özelliği ile oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.
- Takvim Etkisi: Elektrik taleplerini, resmi tatil günleri ve hafta sonları oldukça etkiler. Taleplerin farklılaşması spot piyasadaki elektrik fiyatlarını etkiler.

Elektrik fiyatları üzerine yeni bulgulardan biri, oynaklık üzerinde asimetrik bir etkinin varlığını göstermektedir. Asimetrik oynaklık, olumsuz yani kötü haberler karşısında oynaklığın artmasını, olumlu yani iyi haberler karşısında ise oynaklığın azalmasını ifade eder. Solibakke (2002) yaptığı çalışmada, spot fiyatların oynaklığındaki bu asimetrik faktörü tespit etmiştir. Spot elektrik fiyatlarının oynaklığı, sektörün yapısı ve gücüne bağlanmıştır. Örneğin, az sayıdaki santralin bulunduğu bir endüstride, yüksek talep miktarıyla karşılaşıldığında üreticiler sürekli olarak maksimum kapasitede çalışacak ve bu gelişme elektrik fiyatlarını artıracaktır.

Genel görüş, zaman serilerinin uzun dönemde düzgün bir trend gösterdiği, bazen yaşanan dışsal şoklar nedeniyle kısa süreli olarak trend etrafında dalgalanmalar yaşandığı ancak ortalamaya dönerek trend etrafında etrafında durağan bir karaktere sahip olduğu yönündedir. Ancak son yıllarda zaman serisi analizlerinin gelişimi ile iktisadi değişkenlerin çoğunda trendlerin bizzat kendilerinin de dalgalanma gösterdiklerini ortaya konulmuştur. Nitekim bazı şokların etkileri birkaç dönemde yok olurken bazıları kalıcı olabilmektedir. Kalıcı şoklar, serinin belli bir değere doğru yaklaşmasını engellemektedir. Bu şokların, öngörülemeyen tesadüfi niteliği nedeniyle söz konusu trend “stokastik trend” olarak adlandırılmaktadır.

Türkiye'de, elektrik fiyatlarının oynaklığının fiyat dalgalanmalarıyla olan ilişkisini araştıran çalışmaların çok az yapıldığı gözlemlenmektedir. Genellikle spot elektrik piyasasında oluşan elektrik fiyatlarının tahminine göre odaklanan çalışmalar vardır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde belirli bir zaman aralığında, elektrik piyasası günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatlarının asimetrik varyans modelleriyle analizine yer verilecektir. Karmaşık olan spot elektrik piyasasındaki PTF'nin dalgalanmaların analiz sonuçlarına göre yorumlara yer verilecektir.

3.2. KULLANILAN VERİ SETİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ

Elektrik piyasa takas fiyatlarının ele alınmasındaki en önemli etken günümüzde tüm dünyada hem üretim hem de tüketim sürecinde ekonomik karar birimlerince yoğun olarak talep edilmesi ve veri olarak kullanılmasıdır. Elektrik piyasası için 01.07.2015 – 31.12.2022 dönem aralığı (2.741 gözlem) tercih edilmiştir. Türkiye Elektrik Piyasası için dönüm noktası olan 1 Aralık 2011 tarihinde, hedeflenen elektrik piyasası için büyük bir adım atılarak, günümüzde kullanılan Gün Öncesi Piyasası sistemi oluşturulmuştur. Ancak söz konusu dönem aralığının başlangıç tarihi olarak 01.07.2015 seçilmesinde; Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun (EPDK) 11.06.2015 tarihli toplantısında, gün öncesi piyasasında ve dengeleme güç piyasasında asgari ve azami fiyat limitlerinin belirlenmesine ilişkin usul ve esaslar belirlenmiş, 21.06.2015 tarih 29393 sayılı resmi gazetede yayınlamış ve 01.07.2015 tarihinde ise bu usul ve esasların yürülüğe girmesi etkili olmuştur. Ayrıca aynı yıl EPİAŞ lisansını almış ve faaliyetlerine başlamıştır. Bu açıdan verilerin kullanılması için sağlıklı bir başlangıç yılıdır. Ayrıca gün içi piyasası da 01.07.2015'te devreye girmiştir. Ancak piyasada referans olarak kullanılan gün öncesi piyasa takas fiyatı analizlerde kullanılmıştır. Elektrik piyasası günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları (EAOPTF) üzerinden logaritmik birinci dereceden farklar alınarak günlük getiri serileri (REAOPTF) aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$R_t = ln\left(P_t / P_{t-1}\right) \quad t = 1, 2, 3,..n$$

Burada;

R_t; günlük getiriyi,

P_t; t zamanındaki piyasa ortalama takas fiyatını,

P_{t-1}; t-1 zamanındaki piyasa ortalama takas fiyatını göstermektedir.

Piyasa takas fiyatı üzerinden logaritmik birinci farklar alınarak hesaplanan 2.740 adet getiri serisine (REAOPTF) ilişkin tanımlayıcı istatistiklere Tablo 19'da yer verilmiştir.

Tablo 19: Tanımlayıcı İstatistikler

	REAOPTF
Gözlem Sayısı	2.740
Ortalama	0,001259
Standart Sapma	0,213841
Minimum	-2,262510
Maksimum	2,433042
Basıklık	35,13293
Çarpıklık	0,61508
Jarque-Bera Testi (p-Değeri)	118.052,70 (0,0000)

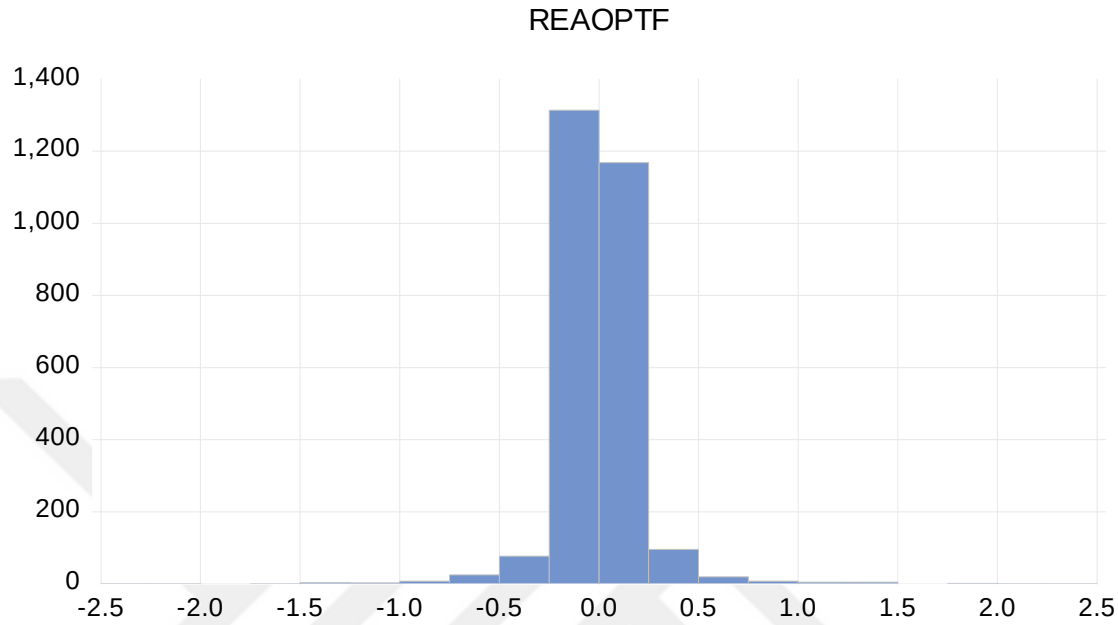
Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 19 incelendiğinde; ortalama getiri (0,001259) pozitif olup oynaklığı gösteren standart sapma değeri 0,213841, en büyük azalışı ifade eden minimum değeri -2,262510 iken en büyük artışı ifade eden maksimum değeri 2,433042 olarak hesaplanmıştır. Standart sapmanın yüksek olması piyasada belirsizliğin de yüksek olduğunu göstermektedir. Simetrik özellik içeren normal dağılımda basıklık (kurtosis) değerinin 3 ve çarpıklık (skewness) değerinin 0 olması beklenir. Ancak burada, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi 35,13293 değeriyle aşırı basık (excess kurtosis) ve 0,61508 değeriyle pozitif (sağ) çarpık özellik sergilemektedir. Bu yüzden getiri serisinde asimetrik özellik yanında şişman kuyruk (fat tail) problemi bulunmaktadır. Çarpıklık katsayısının pozitif olması dağılımın sağ taraftaki kuyruğunun daha uzun olduğunu ve serideki negatif getirilerin daha yüksek frekansa sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin normal dağılımdan farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Normal dağılım özelliği serinin basıklık ve çarpıklık katsayıları yanınnda aslında yine basıklık ve çarpıklık katsayılarına dayalı olarak hesaplanan Jarque-Bera (JB) test istatistiği ile de ölçülebilmektedir. Jarque-Bera test değeri istatistiksel olarak anlamlı olup değişkeniin normal dağıldığını kabul eden sıfır hipotezi (H_0) reddedilmektedir. Böylece değişkenin normal dağılım göstermediğini yansıtan Jarque-Bera İstatistiği de istatistiksel olarak anlamlıdır. Özetle, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri

serisinin normal dağılım göstermediği Şekil 29'daki histogram aracılığıyla da görülebilmektedir.

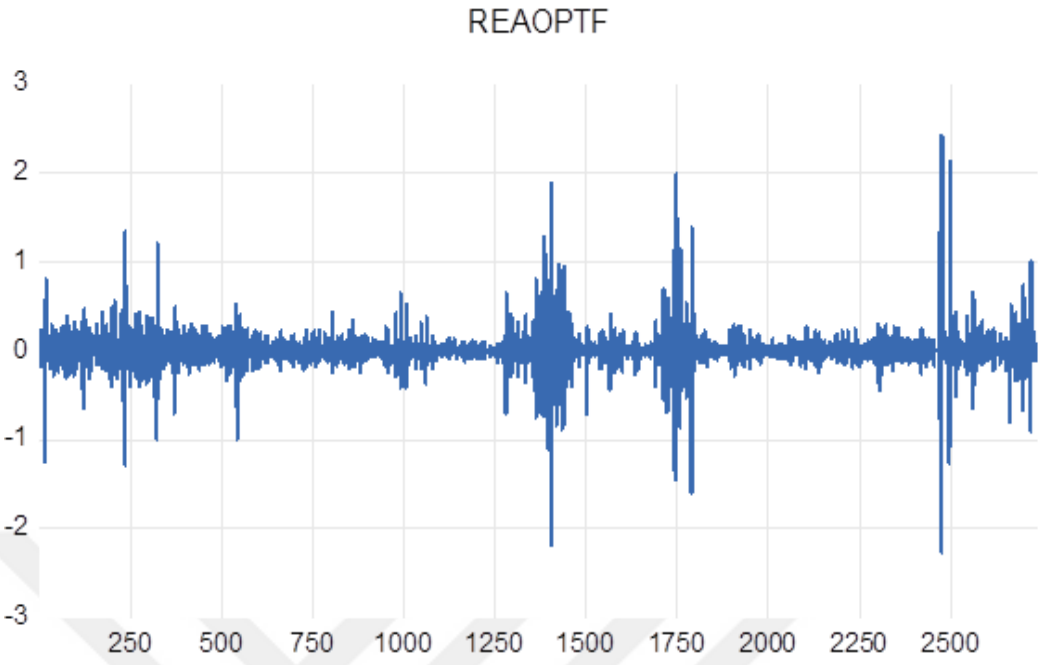
Şekil 29: EAOPTF Getiri Serisi Histogramı



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin zaman yolu grafiği Şekil 30'da yer almaktadır. Grafiğe, belirli dönemlerde oynaklık kümelenmeleri (volatility clustering) olduğu görülmektedir. Buna göre küçük fiyat hareketlerini küçük fiyat hareketleri büyük fiyat hareketlerini ise büyük fiyat hareketleri izlemektedir. Oynaklık kümelenmesi, getiri serisi varyansının zamana göre değişiklik gösterdiğini ifade etmektedir. Bu yapı, getiri serisinin sabit varyans (homoskedasticity) yerine koşullu değişen varyans modellerine (GARCH tipi modeller) dayalı olarak analiz edilmesi gerektiğinin de bir göstergesidir.

Şekil 30: EAOPTF Getiri Serisinin Zaman Yolu Grafiği



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Gerek tanımlayıcı istatistikler gerekse histogram ve zaman yolu grafiklerinden elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin asimetrik yapı, şişman kuyruk ve oynaklık kümelenmesi gibi finansal zaman serilerinin temel özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Finansal zaman serilerinin yanıltıcı sonuçlara ve sahte regresyona sebep olmaması için, serilerin birim kök taşımaması yani durağan olması şarttır. Bununla birlikte, getiri serileri logaritmik birinci dereceden farklar alınarak elde edildiğinden durağan olmama olasılığı çok düşüktür.

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin (REAOPTF) durağan olup olmadığı Augmented Dickey-Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) ve Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin (KPSS) birim kök testleri ile incelenmiştir. ADF ve PP testleri için sıfır hipotezi (H_0) birim kökün varlığını ve dolayısıyla durağan olmama [*I*(1)] durumunu yansıtırken, KPSS testinin sıfır hipotezi (H_0) ise serilerde birim kökün yokluğunu, durağan olma [*I*(0)] durumunu ifade etmektedir. Modelleme yapılabilmek üzere ADF ve PP testlerinde boş hipotezin reddedilmesi, KPSS testinde ise kabul edilmesi gerekmektedir (Ural, Demireli ve Aydın, 2022: 59). Tablo 20'de görüleceği üzere tüm birim kök testleri için elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) %1 anlamlılık düzeyinde durağandır.

Tablo 20: Birim Kök Testi Sonuçları

Test	Sabitli	Düzey	Kritik Değerler	Sabitli ve Trendli	Düzey	Kritik Değerler	Durağanlık Düzeyi
ADF	-15,42493 (0,0000)	%1	-3,432568	-15,54189 (0,0000)	%1	-3,961426	*I*(0)
		%5	-2,862406		%5	-3,411464	
		%10	-2,567276		%10	-3,127588	
PP	-131,5174 (0,0001)	%1	-3,432546	-131,8667 (0,0001)	%1	-3,961393	*I*(0)
		%5	-2,862396		%5	-3,411448	
		%10	-2,567270		%10	-3,127579	
KPSS	0,173077 (0,0000)	%1	0,739000	0,036691 (0,0000)	%1	0,216000	*I*(0)
		%5	0,463000		%5	0,146000	
		%10	0,347000		%10	0,119000	

Not: Parantez içindeki değerler olasılığı göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

ARCH modelinin öngörümlenebilmesi için öncelikle ARCH etkisinin varlığı araştırılmalıdır. ARCH etkisinin varlığını sınamak için genel olarak iki test kullanılmaktadır. Getiri serisinde otokorelasyon ve dolayısıyla değişen varyans yapısı hem Ljung-Box *Q* ve Q^2 istatistikleriyle hem de ARCH-LM testi ile sınanmıştır. Günlük getiri serileri kullanıldığından Ljung-Box *Q* ve Q^2 istatistikleri ve ARCH-LM testi için 1, 5, 10 ve 20 gecikme değerlerine bakılmıştır. Elde edilen test sonuçları Tablo 21'de sunulmuştur.

Tablo 21: REAOPTF Getiri Serisi Ljung-Box *Q ve* Q^2 ile ARCH-LM Test İstatikleri

İstatistik	Değer	İstatistik	Değer	İstatistik	Değer
Ljung-Box Q(1)	256,33 (0,000)	Ljung-Box Q^2(1)	503,70 (0,000)	ARCH-LM (1)	502,98 (0,000)
Ljung-Box Q(5)	290,38 (0,000)	Ljung-Box Q^2(5)	543,33 (0,000)	ARCH-LM (5)	550,27 (0,000)
Ljung-Box Q(10)	818,92 (0,000)	Ljung-Box Q^2(10)	723,43 (0,000)	ARCH-LM (10)	625,21 (0,000)
Ljung-Box Q(20)	1.265,50 (0,000)	Ljung-Box Q^2(20)	822,14 (0,000)	ARCH-LM (20)	668,76 (0,000)

Not: Parantez içindeki değerler olasılığı göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablodan görüldüğü üzere, Ljung-Box *Q* ve Q^2 ile ARCH-LM test sonuçları %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden büyük ve ayrıca olasılık değerleri 0,05'ten küçük olduğundan H_1 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans olduğu anlaşılmıştır.

Koşullu değişen varyans modellemesine geçmeden önce ortalama denklemini (mean equation) belirleyebilmek üzere 10. gecikmeye (lag) kadar bütün Box-Jenkins (Autoregressive Integrated Moving Average-ARIMA) modelleri denenmiştir. Box-Jenkins yöntemi, zaman serilerinin herhangi bir dönemdeki değerini geçmiş dönem değerlerinin ve hata terimlerinin doğrusal bir birleşimi ile açıklamaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2007:179). Analiz sonuçlarına göre, ortalama denklemini en iyi açıklama gücüne sahip modelin ARMA (7,7) modeli olduğu belirlenmiştir. ARCH etkisinin de varlığı belirlendikten sonra farklı olasılık dağılımları (Normal, Student-t, Genelleştirilmiş Hata (GED)) dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tanımlayıcı istatistiklerin de gösterdiği üzere elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) asimetrik yapı sergilediğinden (çarpıklık $\neq 0$) asimetrik etkileri dikkate alan GARCH tipi modellerden TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri kullanılarak oynaklık modellenmiştir.

3.3. ASİMETRİK GARCH TİPİ MODELLERİN TAHMİN SONUÇLARI

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) oynaklığını modellemek üzere Normal dağılım, Student-*t* dağılımı ve GED dağılımıyla farklı (p,q) gecikme değerleri dikkate alınarak sırasıyla TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri tahminlenmiştir. Genel olarak finansal zaman serileri normal dağılım varsayımını sağlayamadıklarından analizlerde doğru istatistiksel dağılımın kullanılması önem arz etmektedir.

Sırasıyla üç faklı model için aşağıdaki tablolarda; μ ortalama denkleminin sabit terimi, *w* varyans denkleminin sabit terimi, α ARCH katsayısı, β GARCH katsayısı, γ kaldıraç katsayısı ve δ uzun dönem hafıza katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 22'de yer alan ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre Student-t dağılımlı model istatistiksel olarak en anlamlı bulunmuştur. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. ARCH (α) ile GARCH (β) parametrelerine ilişkin katsayılar pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. α katsayısı

şokların kısa dönem etkisini (kısa hafıza) gösterirken, β katsayısı şokların uzun dönem etkisini (uzun hafıza) göstermekte olup elektrik piyasasında ortaya çıkan anormal durumları göstermektedir. β katsayısı ne kadar büyük bir değere sahip olursa piyasada meydana gelen şokların oynaklık üzerindeki etkisi o kadar uzun sürmektedir. TGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma > 0$ olduğundan (0,239472) koşullu varyans üzerinde kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven düzeyinde χ^2 tablo değerinden küçük (0,395276 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,5295) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 22: ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Normal	Student-t	GED
Ortalama Denklemi	μ	-0,001218 (0,000809) [0,1322]	0,001043 (0,00047) [0,0264]	0,000933 (0,000372) [0,0121]
	AR(1)	-0,437589 (0,040914) [0,0000]	-0,525987 (0,03587) [0,0000]	-0,301971 (0,011975) [0,0000]
	AR(2)	-0,442585 (0,039937) [0,0000]	-0,528613 (0,034074) [0,0000]	-0,303955 (0,011871) [0,0000]
	AR(3)	-0,461144 (0,039708) [0,0000]	-0,539292 (0,033641) [0,0000]	-0,322044 (0,010959) [0,0000]
	AR(4)	-0,458572 (0,040083) [0,0000]	-0,546899 (0,03423) [0,0000]	-0,331176 (0,011521) [0,0000]
	AR(5)	-0,433861 (0,040466) [0,0000]	-0,536932 (0,034723) [0,0000]	-0,310997 (0,011674) [0,0000]
	AR(6)	-0,445883 (0,039688) [0,0000]	-0,505365 (0,034255) [0,0000]	-0,285707 (0,011604) [0,0000]
	AR(7)	0,521182 (0,039475) [0,0000]	0,421408 (0,032562) [0,0000]	0,632451 (0,01068) [0,0000]
	MA(1)	0,188603 (0,032226) [0,0000]	0,162317 (0,027742) [0,0000]	0,055325 (0,013292) [0,0000]
	MA(2)	0,178466 (0,029983) [0,0000]	0,172416 (0,023632) [0,0000]	0,064683 (0,012826) [0,0000]
	MA(3)	0,24427 (0,029296) [0,0000]	0,228184 (0,022651) [0,0000]	0,131375 (0,011367) [0,0000]
	MA(4)	0,248363 (0,029797) [0,0000]	0,244356 (0,024188) [0,0000]	0,152706 (0,011572) [0,0000]
	MA(5)	0,183003 (0,03106) [0,0000]	0,194902 (0,024967) [0,0000]	0,083743 (0,012431) [0,0000]
	MA(6)	0,176781 (0,029969) [0,0000]	0,122814 (0,023144) [0,0000]	0,023766 (0,011755) [0,0432]
	MA(7)	-0,691845 (0,028036) [0,0000]	-0,656084 (0,020611) [0,0000]	-0,743582 (0,009705) [0,0000]
Var	ω	0,000813 (0,0000407) [0,0000]	0,000579 (0,0000963) [0,0000]	0,000678 (0,0000893) [0,0000]

	α	0,125418 (0,018408) [0,0000]	0,207406 (0,046689) [0,0000]	0,152965 (0,03915) [0,0001]
	γ	0,65184 (0,044966) [0,0000]	0,239472 (0,063443) [0,0002]	0,329831 (0,064672) [0,0000]
	β	0,635283 (0,010688) [0,0000]	0,717902 (0,020269) [0,0000]	0,690981 (0,021813) [0,0000]
	t-Dist / GED p.	-	3,294092 (0,210592) [0,0000]	0,973191 (0,025102) [0,0000]
Model Seçim Kriterleri	***LogOlabilirlik***	2.325,30	**2.661,81**	2.600,45
	AIC	-1,687744	**-1,933270**	-1,888363
	SIC	-1,646635	**-1,889998**	-1,845091
	HQC	-1,672887	**-1,917631**	-1,872724
	ARCH-LM	0,989088 [0,3200]	0,395276 [0,5295]	0,546051 [0,4599]

Not: Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir. *t-Dist* Student-t dağılmıı serbestlik derecesi, *GED p*. GED dağılımı sivrilik değerini ifade etmeketedir. *LogOlabilirlik* maksimum logaritmik olabilirliği, *AIC, SIC ve HQC sırasıyla* Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini, *ARCH-LM* ise1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 23'te yer alan ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında yine model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı model Student-t dağılımlı model olarak belirlenmiştir. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Şokların kısa dönem etkisini (kısa hafıza) gösteren ARCH (α) ve uzun dönem etkisini (uzun hafıza) gösteren GARCH (β) parametrelerine ait katsayılar pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. β katsayısı TGARCH modeline göre daha yüksek olup piyasada meydana gelen şokların oynaklık üzerindeki etkisinin daha uzun sürdüğünü göstermektedir. EGARCH modelinde kaldıraç katsayısı TGARCH modelinin tersi işaret almakla birlikte aynı yoruma yol açmaktadır. Nitekim EGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma < 0$ olduğundan (-0,119502) koşullu varyans üzerinde yine kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlamına gelmektedir. ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (1,395893 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,2374) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 23: ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Normal	Student-t	GED
Ortalama Denklemi	μ	-0,001794 (0,000697) [0,0101]	0,001269 (0,00051) [0,0129]	0,001487 (0,00033) [0,0000]
	AR(1)	-0,223611 (0,019138) [0,0000]	-0,570075 (0,010858) [0,0000]	-0,168522 (0,001899) [0,0000]
	AR(2)	-0,233263 (0,018847) [0,0000]	-0,569218 (0,010842) [0,0000]	-0,168181 (0,001897) [0,0000]
	AR(3)	-0,239575 (0,018898) [0,0000]	-0,569198 (0,010837) [0,0000]	-0,16765 (0,001917) [0,0000]
	AR(4)	-0,241991 (0,019034) [0,0000]	-0,567863 (0,010815) [0,0000]	-0,16786 (0,001951) [0,0000]
	AR(5)	-0,224507 (0,018881) [0,0000]	-0,567837 (0,010786) [0,0000]	-0,168254 (0,001946) [0,0000]
	AR(6)	-0,230239 (0,018651) [0,0000]	-0,565623 (0,010792) [0,0000]	-0,167902 (0,001916) [0,0000]
	AR(7)	0,739818 (0,018852) [0,0000]	0,425738 (0,010769) [0,0000]	0,823952 (0,001907) [0,0000]
	MA(1)	0,059948 (0,0138) [0,0000]	0,247113 (0,012879) [0,0000]	0,055745 (0,004127) [0,0000]
	MA(2)	0,073316 (0,013269) [0,0000]	0,244602 (0,012874) [0,0000]	0,054315 (0,004124) [0,0000]
	MA(3)	0,092952 (0,013005) [0,0000]	0,245473 (0,012874) [0,0000]	0,054144 (0,004105) [0,0000]
	MA(4)	0,096961 (0,013084) [0,0000]	0,243638 (0,012806) [0,0000]	0,055402 (0,00412) [0,0000]
	MA(5)	0,07884 (0,013144) [0,0000]	0,244647 (0,012755) [0,0000]	0,057016 (0,004046) [0,0000]
	MA(6)	0,047545 (0,012482) [0,0001]	0,242014 (0,012749) [0,0000]	0,056773 (0,004024) [0,0000]
	MA(7)	-0,848955 (0,012981) [0,0000]	-0,741568 (0,01269) [0,0000]	-0,928533 (0,004043) [0,0000]
Varyans Denkelmi	ω	-1,65516 (0,031509) [0,0000]	-0,549952 (0,048211) [0,0000]	-0,616889 (0,048796) [0,0000]
	α	0,78584 (0,020789) [0,0000]	0,401668 (0,039131) [0,0000]	0,378066 (0,030634) [0,0000]
	γ	-0,412895 (0,017463) [0,0000]	-0,119502 (0,025851) [0,0000]	-0,155023 (0,025787) [0,0000]
	β	0,752998 (0,007064) [0,0000]	0,934722 (0,008163) [0,0000]	0,893528 (0,022734) [0,0000]
	t-Dist / GED p.	-	2,939739 (0,174624) [0,0000]	0,973191 (0,025102) [0,0000]
Model Seçim Kriterleri	***LogOlabilirlik***	2.275,40	**2.731,77**	2.630,41
	AIC	-1,651225	**-1,984462**	-1,910291
	SIC	-1,610116	**-1,941189**	-1,867019
	HQC	-1,636368	**-1,968823**	-1,894652
	ARCH-LM	0,006978 [0,9334]	1,395893 [0,2374]	1,816457 [0,1777]

Not: Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir. *t-Dist* Student-t dağılmıı serbestlik derecesi, *GED p*. GED dağılımı sivrilik değerini ifade etmeketedir. *LogOlabilirlik* maksimum logaritmik olabilirliği, *AIC, SIC ve HQC sırasıyla* Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini, *ARCH-LM* ise1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Son olarak, tablo 24'te yer alan ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı model Student-t dağılımlı model olarak belirlenmiştir. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Şokların kısa dönem etkisini (kısa hafıza) gösteren ARCH (α) ve uzun dönem etkisini (uzun hafıza) gösteren GARCH (β) parametrelerine ait katsayılar pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. β katsayısı TGARCH modeline benzer şekilde EGARCH modelindekinden daha düşük olup piyasada meydana gelen şokların oynaklık üzerindeki etkisinin daha kısa sürdüğünü ifade etmektedir. APGARCH modelinde kaldıraç katsayısı yine TGARCH modelinde de olduğu gibi EGARCH modelinin tersi işaret almakla birlikte aynı yoruma yol açmaktadır. Nitekim APGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma > 0$ olduğundan (0,308805) koşullu varyans üzerinde yine kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlamına gelmektedir. ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (2,669421 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,1023) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

APGARCH modelinin kuvvet parametresini gösteren δ katsayısı istatistiksel olarak anlamlı ve bir yakın çıkmıştır. Kuvvet parametresi bire yakın olduğunda koşullu standart sapmanın modellenmesi daha tutarlı olacaktır. Standart GARCH modelleri doğrudan standart sapmayı modellemesine karşın APGARCH modeli, farklı düzeydeki kuvvet parametresini de incelemeyi olanaklı hale getirmektedir (Ural, 2010: 95). Nitekim Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modelinde kuvvet parametresi (δ) 1,276297 değerini almış olup koşullu varyansın modellenmesinin daha uygun olacağını ifade etmektedir.

Tablo 24: ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Normal	Student-t	GED
Ortalama Denklemi	μ	-0,002955 (0,000932) [0,0015]	0,000954 (0,000467) [0,041]	0,000631 (0,000441) [0,1528]
	AR(1)	-0,485904 (0,042331) [0,0000]	-0,51162 (0,034642) [0,0000]	-0,467561 (0,023403) [0,0000]
	AR(2)	-0,482205 (0,040966) [0,0000]	-0,513975 (0,032862) [0,0000]	-0,465439 (0,022628) [0,0000]
	AR(3)	-0,504236 (0,040625) [0,0000]	-0,525508 (0,032428) [0,0000]	-0,482995 (0,021876) [0,0000]
	AR(4)	-0,508391 (0,041427) [0,0000]	-0,53308 (0,033015) [0,0000]	-0,490784 (0,022198) [0,0000]
	AR(5)	-0,476887 (0,041699) [0,0000]	-0,522504 (0,0335) [0,0000]	-0,474135 (0,022951) [0,0000]
	AR(6)	-0,485232 (0,040461) [0,0000]	-0,490842 (0,033021) [0,0000]	-0,447614 (0,022488) [0,0000]
	AR(7)	0,473835 (0,040571) [0,0000]	0,434535 (0,031371) [0,0000]	0,47698 (0,02118) [0,0000]
	MA(1)	0,261852 (0,036501) [0,0000]	0,154361 (0,02675) [0,0000]	0,158191 (0,018584) [0,0000]
	MA(2)	0,221318 (0,034201) [0,0000]	0,163731 (0,022913) [0,0000]	0,146655 (0,017418) [0,0000]
	MA(3)	0,292196 (0,032946) [0,0000]	0,221426 (0,021863) [0,0000]	0,217404 (0,015299) [0,0000]
	MA(4)	0,320062 (0,033856) [0,0000]	0,23306 (0,023395) [0,0000]	0,235293 (0,01577) [0,0000]
	MA(5)	0,237566 (0,035106) [0,0000]	0,187903 (0,024027) [0,0000]	0,176881 (0,017652) [0,0000]
	MA(6)	0,219835 (0,033792) [0,0000]	0,115579 (0,02235) [0,0000]	0,110242 (0,016559) [0,0000]
	MA(7)	-0,634034 (0,031739) [0,0000]	-0,666309 (0,019925) [0,0000]	-0,672123 (0,013498) [0,0000]
Varyans Denkelmi	ω	0,005338 (0,00103) [0,0000]	0,002584 (0,000974) [0,008]	0,002475 (0,000918) [0,007]
	α	0,345719 (0,013539) [0,0000]	0,261581 (0,027842) [0,0000]	0,254947 (0,024427) [0,0000]
	γ	0,583147 (0,032323) [0,0000]	0,308805 (0,0669) [0,0000]	0,383544 (0,072501) [0,0000]
	β	0,697406 (0,010987) [0,0000]	0,783718 (0,018385) [0,0000]	0,762215 (0,020236) [0,0000]
	δ	1,213549 (0,077076) [0,0000]	1,276297 (0,152958) [0,0000]	1,366357 (0,148482) [0,0000]
	t-Dist / GED p.	-	3,302865 (0,210238) [0,0000]	0,980414 (0,025088) [0,0000]
Model Seçim Kriterleri	***LogOlabilirlik***	2.334,36	**2.668,15**	2.615,40
	AIC	-1,693642	**-1,937175**	-1,898570
	SIC	-1,650370	**-1,891739**	-1,853134
	HQC	-1,678003	**-1,920754**	-1,882149
	ARCH-LM	4,395904 [0,0360]	2,669421 [0,1023]	2,138201 [0,1437]

Not: Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir. *t-Dist* Student-t dağılmıı serbestlik derecesi, *GED p*. GED dağılımı sivrilik değerini ifade etmeketedir. *LogOlabilirlik* maksimum logaritmik olabilirliği, *AIC, SIC ve HQC sırasıyla* Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini, *ARCH-LM* ise1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 25'ten görüleceği üzere, asimetrik GARCH-tipi modeller arasında karşılaştırma yapıldığında, yine model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı modelin Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle, bundan sonraki analizlere ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeliyle devam edilmiştir.

Tablo 25: Asimetrik Modellerin Student-t Dağılımına Göre Model Seçim Kriterleri

Model Seçim Kriterleri	**TGARCH Modeli**	**EGARCH Modeli**	**APGARCH Modeli**
Log Olabilirlik	2.661,81	**2.731,77**	2.668,15
AIC	-1,933270	**-1,984462**	-1,937175
SIC	-1,889998	**-1,941189**	-1,891739
HQC	-1,917631	**-1,968823**	-1,920754

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

3.4. YAPISAL KIRILMALAR VE OYNAKLIK SÜREKLİLİĞİNİN ANALİZİ

Daha önce açıklandığı üzere GARCH tipi modellerde uzun hafıza (long memory) etkisini gösteren β katsayısı, getiri serisine gelen şokların hafızada kalma süresini yani oynaklık sürekliliğini (volatility persistency) ifade edilmektedir. Şokların etkisiyle getiri serisinin varyansında kırılmalar söz konusu olduğunda GARCH tipi modeller ile hesaplanan β katsayısı ve dolayısıyla oynaklık düzeyi olduğundan daha yüksek çıkabilmektedir (Ural, 2010: 112-113).

Piyasada yaşanan şokların etkisine bağlı olarak analiz dönemi içinde getiri serilerinin varyansında yapısal kırılmalar ortaya çıkabilir. Burada, analiz döneminde elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) yapısal kırılmaların etkisi araştırılmıştır. Burada amaç, elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini analiz edebilmektir. Buradan hareketle, getiri serilerinin varyansında yapısal değişimin yani kırılmaların varlığı, Inclan ve Tiao (1994) tarafından geliştirilen Yinelenen Birikimli Kareler Metodu (ICSS-Iterated Cumulative Sums of Squares Method) esas alınarak araştırılmıştır.

ICSS algoritması hata teriminin koşulsuz varyansında içsel olarak belirlenen kırılma noktalarını oynaklık modellerine kukla değişkenler yoluyla eklemek suretiyle, şokların oynaklık sürekliliğine etkisini açıklamaktadır. Böylece, uluslararası veya ulusal

ekonomik ve/veya siyasi olayların analize konu piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündedir.

T gözlem sayısı, N_T varyanstaki toplam kırılma sayısı, j = 0, 1, …, N_T olmak koşuluyla her aralık varyansı ve 1 < K_1 < K_2 <…< K_{N_T} < T varyanstaki kırılma noktaları olmak üzere varyans (σ_t^2) aşağıdaki gibi belirlenmektedir (Malik ve Hassan, 2004:213):

$$\sigma_t^2 = \begin{cases} \sigma_0^2, & 1 < t < K_1 \\ \sigma_1^2, & K_1 < t < K_2 \\ \vdots & \\ \sigma_{N_T}^2, & K_{N_T} < t < T \end{cases}$$

İlk gözlemden itibaren k kırılma noktasındaki gözleme kadar hata terimlerinin toplamı olan C_k şu şekilde gösterilir:

$$C_k = \sum_{t=1}^{k} \varepsilon_t^2, \;\; k = 1,2, \dots, T$$

Hata terimleri karelerinin birikimli toplamının merkezi değerini gösteren D_k test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$D_k = \left(\frac{C_k}{C_T}\right) - \frac{k}{T}, k = 1, 2, \dots, T \; ve \; D_0 = \; D_T = 0$$

Sabit varyans geçerli iken D_k test istatistiği 0'a yakın bir değer alır ve farklı k değerlerine karşı çizilen D_k test istatistiğinin grafiği yatay bir doğru biçiminde gözükür. Buna ilaveten varyansta bir veya daha çok ani değişiklikler olması halinde ise D_k istatisiği 0'dan uzaklaşır ve grafik belirli bir güven aralığında dalgalanmalar gösterir. D_k istatistiğinin dağılımından ulaşılan kritik değerler, varyanstaki değişim sınırlarını belirler. D_k istatistiğinin mutlak ifadeyle en yüksek olduğu değer ($max_k|D_k|$) kritik değerden büyük olursa sabit varyansı ifade eden sıfır hipotezi reddedililir ve varyansın değiştiği anlaşılır. $max_k|D_k|$ noktasında k'nın değeri k* olarak kabul edilirse ve eğer $max_k\sqrt{(T/2)}|D_k|$ önceden belirlenen sınırları aşarsa varyansın değişimi k*'a yakın bir noktada gerçekleşir ve sonuç olarak k* kırılma tarihini gösterir. Dağılımı standartlaştırmak üzere $\sqrt{(T/2)}$ ifadesi kullanılır. $max_k\sqrt{(T/2)}|D_k|$ değerinin asimtotik dağılımının %95'ini gösteren kritik değeri 1,358 olarak belirlenmiştir (Aggarwal, Inclan ve Leal, 1999:43). Bu durumda $\pm$1,358 değeri D_k test istatistiği grafiğindeki alt ve üst sınırları gösterir. D_k istatistiğinin bu sınırlar dışına çıktığı durumda ise varyansın değiştiği veya kırılma oluştuğu ifade edilebilir. Çoklu kırılma durumunda "gizleme etkisi (masking effect)" sorunu oluşacağından, getiri serisi farklı zaman dilimlerine bölünerek varyanstaki kırılma noktaları belirlenebilir (Inclan ve Tiao, 1994:56). Kırılma tarihlerini temsil eden kukla değişkenler ilgili kırılma tarihine kadar sıfır, kırılma tarihi ve

sonrasında ise bir değerini alır. Örneğin, ICSS algoritmasıyla belirlenen kırılma zamanlarına ilişkin *n* sayıda kukla değişkenler eklendiğinde EGARCH modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\ln\left(\sigma_t^2\right) = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \frac{\left|\varepsilon_{t-i}\right| + \gamma_i \varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \left(d_1 D_1 + \cdots + d_n D_n\right)$$

Analiz dönemi itibarıyla elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında, ICSS algoritmasıyla %95 güven düzeyinde 47 tane kırılma noktası tespit edilmiştir. Maksimum kırılma noktası sayısının ve kırılma noktaları arasındaki mesafenin-sürenin bilinememesi gibi eksiklikler nedeniyle Pooter ve Dijk (2004) ICSS algoritmasına ikinci bir kısıt getirmiştir. Buna göre, günlük veriler için kırılma noktaları arasında 63 ile 126 işgünü (sırasıyla üç veya altı ay) geçmesi gerektiğini vurgulanmaktadır. Elektrik piyasasında hafta sonu da dahil her gün takas fiyatı belirlendiğinden işgünü değil gün hesabı dikkate alınmış ve üç aya karşılık gelen 90 gün üzerinden kırılma tarihleri arasında geçmesi gereken süre belirlenmiştir. Pooter ve Dijk (2004) tarafından ileri sürülen bu önerme dikkate alındıktan sonra birçok kırılma noktası elenmiş ve getiri serisinin varyansında 14 tane kırılma noktası belirlenmiştir. Bu kırılma noktaları, kırılma tarihleri, kırılma tarihleri arasında geçen gün sayıları, kırılım tarihindeki ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatları ve ilgili kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları Tablo 26'da gösterilmiştir.

Tablo 26: REAOPTF Getiri Serisi Varyansındaki Kırılma Tarihleri ve Fiyat Değişim Oranları

Kırılma Noktası	Kırılma Tarihi	Kırılma Tarihleri Arasında Geçen Gün Sayısı	Elektrik Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı	Bir Gün Önceye Göre Değişim Oranı
228	14.02.2016	228	57,35	-%42,81
323	**19.05.2016**	**95**	**41,01**	**-%63,26**
537	19.12.2016	214	267,15	%27,08
949	04.02.2018	412	147,95	-%16,44
1047	**13.05.2018**	**98**	**133,05**	**-%18,26**
1278	**30.12.2018**	**231**	**215,70**	**-%15,24**
1441	**11.06.2019**	**163**	**302,85**	**%22,84**
1537	15.09.2019	96	246,88	-%17,13
1645	01.01.2020	108	286,85	%0,38
1798	02.06.2020	153	298,18	%7,36
2301	**18.10.2021**	**503**	**829,39**	**%35,91**
2467	02.04.2022	166	1.193,93	-%33,29
2573	17.07.2022	106	2.023,96	-%13,25
2720	11.12.2022	147	1.280,81	-%59,49

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 26'daki sonuçlar değerlendirildiğinde; elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında 2016 yılında 3, 2018 yılında 3, 2019 yılında 2, 2020 yılında 2, 2021 yılında 1 ve 2022 yılında 3 tane kırılma olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu toplam 14 kırılma noktasının 9 tanesinde negatif yani fiyat düşüşü, 5 tanesinde ise pozitif yani fiyat yükselişi şoku yaşandığı görülmektedir. Bunun yanında, ilgili kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında en büyük ilk üç fiyat değişiminin 19.05.2016 tarihinde -%63,26, 11.12.2022 tarihinde -%59,49 ve 14.02.2016 tarihinde -%42,81 olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık bazda kırılma noktaları itibarıyla en büyük dalgalanmaların 2016 ve 2022 yıllında gerçekleştiği söylenebilir.

3.5. YAPISAL KIRILMALAR DİKKATE ALINDIĞINDA MODEL TAHMİN SONUÇLARI

ICSS algoritmasıyla belirlenip Pooter ve Dijk (2004) önermesine göre elenen kırılma tarihlerinden sonra kullanılmasına karar verilen 14 tane kırılma tarihi ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeline kukla değişkenler olarak eklenmiş ve model yeniden tahminlenmiştir. Modellemede olasılık değeri 0,05'ten büyük olup anlamsız çıkan kırılma tarihleri elenmiş ve Student-t dağılımlı en iyi ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeline ulaşılmıştır. Modellerin karşılaştırmalı tahmin sonuçları Tablo 27'de sunulmuştur.

Tablo 27: ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) Student-t Modeli Karşılaştırmalı Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Yapısal Kırılma Yok	Yapısal Kırılma Var
Ortalama Denklemi	μ	0,001269 (0,00051) [0,0129]	0,001259 (0,000513) [0,0142]
	AR(1)	-0,570075 (0,010858) [0,0000]	-0,574449 (0,009373) [0,0000]
	AR(2)	-0,569218 (0,010842) [0,0000]	-0,573388 (0,009396) [0,0000]
	AR(3)	-0,569198 (0,010837) [0,0000]	-0,57339 (0,009365) [0,0000]
	AR(4)	-0,567863 (0,010815) [0,0000]	-0,571989 (0,009336) [0,0000]
	AR(5)	-0,567837 (0,010786) [0,0000]	-0,572199 (0,00932) [0,0000]
	AR(6)	-0,565623 (0,010792) [0,0000]	-0,570134 (0,00933) [0,0000]
	AR(7)	0,425738 (0,010769) [0,0000]	0,421143 (0,009291) [0,0000]
	MA(1)	0,247113 (0,012879) [0,0000]	0,256201 (0,013519) [0,0000]
	MA(2)	0,244602 (0,012874) [0,0000]	0,253463 (0,013539) [0,0000]
	MA(3)	0,245473 (0,012874) [0,0000]	0,254508 (0,013507) [0,0000]
	MA(4)	0,243638 (0,012806) [0,0000]	0,252677 (0,013434) [0,0000]
	MA(5)	0,244647 (0,012755) [0,0000]	0,254267 (0,01339) [0,0000]
	MA(6)	0,242014 (0,012749) [0,0000]	0,251761 (0,013373) [0,0000]
	MA(7)	-0,741568 (0,01269) [0,0000]	-0,732151 (0,013328) [0,0000]
Varyans Denkelmi	ω	-0,549952 (0,048211) [0,0000]	-0,600627 (0,061194) [0,0000]
	α	0,401668 (0,039131) [0,0000]	0,392898 (0,038867) [0,0000]
	γ	-0,119502 (0,025851) [0,0000]	-0,129044 (0,026847) [0,0000]
	β	0,934722 (0,008163) [0,0000]	0,899546 (0,012303) [0,0000]
	D323	-	-0,113487 (0,034755) [0,0011]
	D1047	-	-0,105099 (0,036604) [0,0041]
	D1278	-	0,251693 (0,05778) [0,0000]
	D1441	-	-0,191856 (0,045583) [0,0000]
	D2301	-	0,077229 (0,027806) [0,0055]
	t-Dist / GED p.	2,939739 (0,174624) [0,0000]	3,035737 (0,185949) [0,0000]
Model Seçim Kriterleri	***LogOlabilirlik***	**2.731,77**	**2.751,91**
	AIC	**-1,984462**	**-1,995546**
	SIC	**-1,941189**	**-1,941456**
	HQC	**-1,968823**	**-1,975998**
	ARCH-LM	1,395893 [0,2374]	1,544632 [0,2139]

Not: Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir. *t-Dist* Student-t dağılmıı serbestlik derecesi, *GED p*. GED dağılımı sivrilik değerini ifade etmeketedir. *LogOlabilirlik* maksimum logaritmik olabilirliği, *AIC, SIC ve HQC sırasıyla* Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini, *ARCH-LM* ise1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 27 incelendiğinde; model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı modelin yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu anlaşılmaktadır. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. 19.05.2016 tarihindeki (D323), 13.05.2018 tarihindeki (D1047) ve 11.06.2019 tarihindeki (D1441) kırılmaların varyansı negatif, azalış yönünde buna karşın, 30.12.2018 tarihindeki (D1278) ve 18.10.2021 tarihindeki (D2301) kırılmaların varyansı pozitif, artış yönünde etkilediği görülmektedir. Oysa kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında D1278 fiyat düşüşü, D1441 ise fiyat yükselişi yaşanan kırılma tarihlerini ifade etmektedir. Bu durum aşağıda yer alan Tablo 28'de gösterilmektedir. Elbette ilgili kırılma tarihlerinin modelleme sonucunda anlamlı çıkmasında söz konusu kırılma tarihleri öncesi günlerde gerçekleşen haberler ve geleceğe yönelik beklentilerin de etkisinin olabileceği unutulmamalıdır.

Tablo 28: Modellemede Anlamlı Çıkan Kırılma Tarihlerine İlişkin Bilgiler

Kırılma Noktası	Kırılma Tarihi	Kırılma Tarihleri Arasında Geçen Gün Sayısı	Elektrik Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı	Bir Gün Önceye Göre Değişim Oranı	Varyans Üzerine Etkisinin Yönü
323	19.05.2016	323	41,01	-%63,26	-
1047	13.05.2018	724	133,05	-%18,26	-
1278	30.12.2018	231	215,70	-%15,24	+
1441	11.06.2019	163	302,85	%22,84	-
2301	18.10.2021	860	829,39	%35,91	+

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Bu tarihlerde Türkiye'de gündem olan olaylar şu şekilde derlenmiştir:

- 19.05.2016: 19 Mayıs özel gün tarihinin hafta içi gününe denk gelmesi kaynaklı hafta içi talep - arz trendinin hafta sonu- tatil trendi olarak davranmış olma ihtimalinden dolayı PTF de dalgalanma gerçekleşmiş olması kuvvetli muhtemeldir, önemli gelişmelere bakıldığında o tarihlerde Binali Yıldırım'ın Başbakan olma haberleri konuşulmaktadır. Siyasi istikrar ya da istikrarsızlıkların enerji fiyatlarını etkilediği bilinmektedir. Bu açıdan bu şekilde bir haber eklenmiştir.
- 13.05.2018: Mayıs ayının öncesinde gerçekleşen önemli değişiklik ile; nisan ayı doğal gaz tarifesinde, mart ayına göre yüzde 9.7 fiyat artışına gidilmiştir. Fiyat artışı

ile organize sanayi bölgelerinde elektrik üretimi amacı dışı kullanım için her 1000 m3 başına düşen fiyat ise 796 TL'den 873.21 TL'ye yükseltilmiştir. EPDK da 1 Nisan'dan geçerli olmak üzere elektriğe yüzde 2.89 zam yapılmıştır (Sputnik, 2023).

- 30.12.2018: Yurt içi üretici fiyat endeksi bir önceki aya göre en fazla düşüş; yüzde 22,56 ile ham petrol ve doğal gaz, yüzde 13,14 ile kok ve rafine petrol ürünleri, yüzde 8,47 ile elektrik, gaz üretim ve dağıtımı olarak gerçekleşti. Buna karşılık tütün ürünleri yüzde 1,99, içecekler yüzde 1,74, diğer ulaşım araçları yüzde 1,59 ile bir önceki aya göre endekslerin en fazla arttığı alt sektörler oldu (Dünya Gazetesi, 2023). Ayrıca 30 Aralık 2018 tarihi yılbaşı öncesi talep arz trendinde volatilite yaşanmış olması nedeniyle PTF de dalgalanma gerçekleşmiş olması kuvvetli muhtemeldir.
- 11.06.2019: Rusya'nın Anapa kentinden başlayarak Karadeniz'in altından geçen Türk Akım boru hattının, Türkiye'nin Trakya kıyısındaki Kıyıköy gaz alım terminaline bağlantısı tamamlandı. Bu birleşmeyle, Karadeniz'de doğal gaz boru hattı sistemi kurulmasına yönelik zorlu süreç sona erdi (Anadolu Ajansı, 2023).
- 18.10.2021: Küresel Enerji Krizi Eski BOTAŞ yöneticisi ve enerji uzmanı Ali Arif Aktürk, enerji krizinden ötürü Türkiye'nin gaz alım maliyetinin ortalama yüzde 30-35 artacağını öngörüyor (BBC News, 2023).

Yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (1,544632 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,2239) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Yapısal kırılmalar dikkate alınarak oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli ile yapısal kırılmalar dikkate alınmaksızın oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli arasındaki fark β katsayısı üzerinden daha net görülebilmektedir. Nitekim, oynaklık modeline varyans kırılmaları eklendiğinde REAOPTF serisi için oynaklık sürekliliğini ifade eden β katsayısının 0,934722 düzeyinden -%3,76 oranında azalarak 0,899546 düzeyine düştüğü görülmektedir. Bu durum, uluslararası veya ulusal ekonomik ve/veya siyasi olayların piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündeki hipotezi de doğrulamaktadır.

3.6. ŞOKLARIN YARILANMA ÖMRÜNÜN HESAPLANMASI

Ortalamaya geri dönüş, uzun dönemli oynaklık tahmini üzerinde mevcut bilgilerin herhangi bir etkisi olmadığı anlamına gelmektedir. GARCH-tipi durağan modellerde ARCH ve GARCH parametreleri toplamının 1'e yakın olması, analizlerde en uygun model olarak kabul edilen EGARCH modelinde ise GARCH katsayısının 1'e yakın olması durumunda oynaklık değeri uzun dönem ortalama düzeyine dönmektedir. Oynaklığın uzun dönem ortalama düzeyine dönme süresi, half-life (yarılanma-ömrü) şok değeri ile ölçülmektedir (Engle ve Patton, 2001). Ayrıca ortalama ömür olarak da kullanılmaktadır.

EGARCH(1,1) modeli için GARCH katsayısının $\beta_j < 1$ olması getiri serisinin ortalamaya döndüğünü ifade eder. Bu durumda half-life şok değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Gbenro ve Moussa, 2019: 4):

$$HL = \frac{-\ln(2)}{\ln(\hat{P})}$$

Yapısal kırılmalar dikkate alınarak oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli ile yapısal kırılmalar dikkate alınmaksızın oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli için β katsayıları, oynaklık katsayıları ve şokların yarılanma ömürleri hesaplanarak aşağıdaki Tablo 29'da sunulmuştur. EGARCH modeli oynaklık katsayıları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\sigma = \sqrt{\exp\left\{\omega_0 + \left(\sum_{i=1}^{p} \alpha_i \sqrt{\frac{2}{\pi}}\right) \Big/ \left(1 - \sum_{j=1}^{q} \beta_j\right)\right\}}$$

Tablo 29'a göre, β katsayıları birden küçük $(\beta_j < 1)$ olup oynaklığın uzun dönem ortalama düzeyine geri döndüğünü göstermektedir. Oynaklık katsayıları, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde daha yüksek hesaplanmıştır. Buna karşın, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) yaşanan şoklardan sonra yapısal kırılmaların dikkate alınmadığı modelde 10 gün, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde ise 7 gün içinde ortalamaya döndüğü (şokların söndüğü) anlaşılmıştır. Bu durum, daha önce vurgulandığı üzere, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde oynaklık sürekliliğini ifade eden β katsayısı daha düşük (0,899546) çıktığından, uluslararası veya ulusal ekonomik ve/veya siyasi olayların piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini (β) azalttığı ve oynaklığın daha kısa sürede ortalamaya dönme eğiliminde olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

Tablo 29: Şokların Yarılanma Ömrü

	Yapısal Kırılma Yok	Yapısal Kırılma Var
Beta (β) Katsayısı	0,934722	0,899546
EGARCH Oynaklık Katsayısı	0,172456	0,239498
Şokların Yarılanma Ömrü (Gün)	10	7

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

SONUÇ

Çalışmaya başlamadan önce, bu çalışmada ortaya konulmasını amaçladığım, elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini analiz edebilmekti.

Elektrik fiyatlarının oynaklığı diğer emtia fiyatlarından farklı olarak yüksek bir süreklilik gösterir. Elektrik fiyatları, talep hareketlerini yakından takip eder ve günlük, haftalık ve mevsimsel etkilere bağlı olarak güçlü dalgalanmalar sergiler.

Elektriğin günümüz teknolojisi ile depolanmasının zor ve maliyetli oluşu; ve bu nedenle günümüz teknolojisinde diğer enerji kaynakları gibi depolanamaması ve sürekli talep bazında dengelenmesi, elektrik spot fiyatlarının temel özelliklerini açıklar. Elektrik anlık olarak üretilmeli ve tüketilmelidir, bu nedenle depolama seçeneği mevcut sistemlerimizde şu an için bulunmaz. Talep ve arz arasındaki anlık denge, spot elektrik fiyatlarının belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Elektrik piyasalarında depolama olmaması, olağandışı durumların ortaya çıkmasına yol açar.

Elektrik fiyatlarının güçlü bir ortalamaya dönme eğilimi bulunmaktadır. Elektriğe olan talep mevsimsel olarak dalgalanmaktadır. Spot elektrik fiyatlarının belirlenmesinde etkili olan özelliklerden biri fiyatların oynaklığıdır. Elektrik piyasalarının en dikkat çeken özelliklerinden biri de spot fiyatlarda ani ve genellikle beklenmedik şekilde ortaya çıkan sivri uçlardır. Elektrik fiyatları takvim etkisinden de etkilenir ve yüksek frekansa sahiptir.

Elektrik piyasa takas fiyatlarının ele alınmasındaki en önemli etken günümüzde tüm dünyada hem üretim hem de tüketim sürecinde ekonomik karar birimlerince yoğun şekilde talep edilmesi ve veri olarak kullanılmasıdır. Elektrik piyasasına ilişkin oynaklık modellemesi için 01.07.2015 – 31.12.2022 dönem aralığı (2.741 gözlem) tercih edilmiştir.

Elektrik piyasası günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları (EAOPTF) üzerinden logaritmik birinci dereceden farklar alınarak günlük getiri serileri (REAOPTF) elde edilmiştir. Verilerin sonuçlarına göre getiri serisinde asimetrik özellik ve şişman kuyruk (fat tail) problemi bulunmaktadır. Çarpıklık katsayısının pozitif olması dağılımın sağ taraftaki kuyruğunun daha uzun olduğunu ve serideki negatif getirilerin daha yüksek frekansa sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin normal dağılımdan anlamlı derecede farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Serinin normal dağılıma sahip olup olmadığı basıklık ve çarpıklık katsayılarının yanısıra aslında yine basıklık ve çarpıklık katsayılarına dayalı olarak hesaplanan

Jarque-Bera (JB) test istatistiği yardımıyla da ölçülebilmektedir. Yapılan analilizde Jarque-Bera İstatistiği de istatistiksel olarak anlamlıdır. Özetle, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin normal dağılım göstermediği sonucuna ulaşılmıştır.

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin zaman yolu grafiği çizilmiştir. Grafikte, belirli dönemlerde oynaklık kümelenmeleri olduğu gözükmektedir. Oynaklık kümelenmesi, getiri serisi varyansının zamana göre değişiklik gösterdiğini ifade etmektedir. Bu yapı, getiri serisinin sabit varyans (homoskedasticity) yerine koşullu değişen varyans modellerine (GARCH tipi modeller) dayalı olarak analiz edilmesi gerektiğinin de bir göstergesidir.

Gerek tanımlayıcı istatistikler gerekse histogram ve zaman yolu grafiklerinden elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin asimetrik yapı, şişman kuyruk ve oynaklık kümelenmesi gibi finansal zaman serilerinin temel özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Finansal zaman serilerinin durağan olmaması durumunda sahte regresyon ve yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkabileceğinden, birim kök taşımaması yani serilerin durağan olması gerekmektedir.

Başta Augmented Dickey-Fuller (ADF) olmak üzere Phillips-Perron (PP) ve Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin (KPSS) birim kök testleri kullanılarak elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin (REAOPTF) durağan olup olmadığı incelenmiştir. Sonuçlar listelendiğinde tüm birim kök testleri için elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) %1 anlamlılık düzeyinde durağandır.

ARCH modelinin öngörümlenebilmesi için öncelikle ARCH etkisinin varlığı araştırılmalıdır. ARCH etkisinin varlığını sınamak için genel olarak iki test kullanılmaktadır. Getiri serisinde otokorelasyon ve dolayısıyla değişen varyans yapısı hem Ljung-Box *Q* ve Q^2 istatistikleriyle hem de ARCH-LM testi ile sınanmıştır. Tablodan görüldüğü üzere, Ljung-Box *Q* ve Q^2 ile ARCH-LM test sonuçları %95 güven seviyesinde, χ^2 tablo değerinden büyük ve ayrıca olasılık değerleri 0,05'ten küçük olduğundan H_1 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans olduğu anlaşılmıştır.

Koşullu değişen varyans modellemesine geçmeden önce ortalama denklemini (mean equation) belirleyebilmek üzere 10. gecikmeye (lag) kadar bütün Box-Jenkins (Autoregressive Integrated Moving Average-ARIMA) modelleri denenmiştir. Tanımlayıcı istatistiklerin de gösterdiği üzere elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas

fiyatı getiri serisi (REAOPTF) asimetrik yapı sergilediğinden (çarpıklık ≠ 0) asimetrik etkileri dikkate alan GARCH tipi modellerden TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri kullanılarak oynaklık modellenmiştir.

ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre Student-t dağılımlı model istatistiksel olarak en anlamlı bulunmuştur. TGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma > 0$ olduğundan (0,239472) koşullu varyans üzerinde kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. ARMA(7,7)-TGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven düzeyinde χ^2 tablo değerinden küçük (0,395276 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,5295) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında yine model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı model Student-t dağılımlı model olarak belirlenmiştir. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Şokların kısa dönem etkisini (kısa hafıza) gösteren ARCH (α) ve uzun dönem etkisini (uzun hafıza) gösteren GARCH (β) parametrelerine ait katsayılar pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. β katsayısı TGARCH modeline göre daha yüksek olup piyasada meydana gelen şokların oynaklık üzerindeki etkisinin daha uzun sürdüğünü göstermektedir. EGARCH modelinde kaldıraç katsayısı TGARCH modelinin tersi işaret almakla birlikte aynı yoruma yol açmaktadır. Nitekim EGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma < 0$ olduğundan (-0,119502) koşullu varyans üzerinde yine kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlamına gelmektedir. ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (1,395893 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,2374) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Son olarak, ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli tahmin sonuçları dikkate alındığında model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC,

HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı model Student-t dağılımlı model olarak belirlenmiştir. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Şokların kısa dönem etkisini (kısa hafıza) gösteren ARCH (α) ve uzun dönem etkisini (uzun hafıza) gösteren GARCH (β) parametrelerine ait katsayılar pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. β katsayısı TGARCH modeline benzer şekilde EGARCH modelindekinden daha düşük olup piyasada meydana gelen şokların oynaklık üzerindeki etkisinin daha kısa sürdüğünü ifade etmektedir. APGARCH modelinde kaldıraç katsayısı yine TGARCH modelinde de olduğu gibi EGARCH modelinin tersi işaret almakla birlikte aynı yoruma yol açmaktadır. Nitekim APGARCH modeline ilişkin kaldıraç etki katsayısı olan $\gamma > 0$ olduğundan (0,308805) koşullu varyans üzerinde yine kötü haber yani negatif şokların oynaklığı daha fazla etkilediği anlamına gelmektedir. ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (2,669421 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,1023) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

APGARCH modelinin kuvvet parametresini gösteren δ katsayısı istatistiksel olarak anlamlı ve bir yakın çıkmıştır. Kuvvet parametresi bire yakın olduğunda koşullu standart sapmanın modellenmesi daha tutarlı olacaktır. Standart GARCH modelleri doğrudan standart sapmayı modellemesine karşın APGARCH modeli, farklı düzeydeki kuvvet parametresini de incelemeyi olanaklı hale getirmektedir. Nitekim Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-APGARCH(1,1) Modelinde kuvvet parametresi (δ) 1,276297 değerini almış olup koşullu varyansın modellenmesinin daha uygun olacağını ifade etmektedir.

Asimetrik GARCH-tipi modeller arasında karşılaştırma yapıldığında, yine model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı modelin Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle, analizlere ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeliyle devam edilmiştir.

Piyasada yaşanan şokların etkisine bağlı olarak analiz dönemi içinde getiri serilerinin varyansında yapısal kırılmalar ortaya çıkabilir. Burada, analiz döneminde elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) yapısal kırılmaların etkisi araştırılmıştır. Burada amaç, elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini

analiz edebilmektir. Buradan hareketle, getiri serilerinin varyansında yapısal değişimin yani kırılmaların varlığı, Inclan ve Tiao (1994) tarafından geliştirilen Yinelenen Birikimli Kareler Metodu (ICSS-Iterated Cumulative Sums of Squares Method) esas alınarak araştırılmıştır.

ICSS algoritması hata teriminin koşulsuz varyansında içsel olarak belirlenen kırılma noktalarını oynaklık modellerine kukla değişkenler yoluyla eklemek suretiyle, şokların oynaklık sürekliliğine etkisini açıklamaktadır. Böylece, uluslararası veya ulusal ekonomik ve/veya siyasi olayların analize konu piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündedir.

Analiz dönemi itibarıyla elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında, ICSS algoritmasıyla %95 güven düzeyinde 47 tane kırılma noktası tespit edilmiştir. Pooter ve Dijk (2004) ICSS algoritmasına ikinci bir kısıt getirmiştir. Buna göre, günlük veriler için kırılma noktaları arasında 63 ile 126 işgünü (sırasıyla üç veya altı ay) geçmesi gerektiğini vurgulanmaktadır. Elektrik piyasasında haftasonu da dahil her gün takas fiyatı belirlendiğinden işgünü değil gün hesabı dikkate alınmış ve üç aya karşılık gelen 90 gün üzerinden kırılma tarihleri arasında geçmesi gereken süre belirlenmiştir. Pooter ve Dijk (2004) tarafından ileri sürülen bu önerme dikkate alındıktan sonra birçok kırılma noktası elenmiş ve getiri serisinin varyansında 14 tane kırılma noktası belirlenmiştir.

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında 2016 yılında 3, 2018 yılında 3, 2019 yılında 2, 2020 yılında 2, 2021 yılında 1 ve 2022 yılında 3 tane kırılma olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu toplam 14 kırılma noktasının 9 tanesinde negatif yani fiyat düşüşü, 5 tanesinde ise pozitif yani fiyat yükselişi şoku yaşandığı görülmektedir. Bunun yanında, ilgili kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında en büyük ilk üç fiyat değişiminin 19.05.2016 tarihinde -%63,26, 11.12.2022 tarihinde -%59,49 ve 14.02.2016 tarihinde -%42,81 olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık bazda kırılma noktaları itibarıyla en büyük dalgalanmaların 2016 ve 2022 yıllında gerçekleştiği söylenebilir.

ICSS algoritmasıyla belirlenip Pooter ve Dijk (2004) önermesine göre elenen kırılma tarihlerinden sonra kullanılmasına karar verilen 14 tane kırılma tarihi ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeline kukla değişkenler olarak eklenmiş ve model yeniden tahminlenmiştir. Modellemede olasılık değeri 0,05'ten büyük olup anlamsız çıkan kırılma tarihleri elenmiş ve Student-t dağılımlı en iyi ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeline ulaşılmıştır.

Model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı modelin yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu anlaşılmaktadır. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. 19.05.2016 tarihindeki (D323), 13.05.2018 tarihindeki (D1047) ve 11.06.2019 tarihindeki (D1441) kırılmaların varyansı negatif, azalış yönünde buna karşın, 30.12.2018 tarihindeki (D1278) ve 18.10.2021 tarihindeki (D2301) kırılmaların varyansı pozitif, artış yönünde etkilediği görülmektedir. Oysa kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında D1278 fiyat düşüşü, D1441 ise fiyat yükselişi yaşanan kırılma tarihlerini ifade etmektedir.

Yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde χ^2 tablo değerinden küçük (1,544632 < 3,842) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,2239) olduğundan H_0 hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Yapısal kırılmalar dikkate alınarak oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli ile yapısal kırılmalar dikkate alınmaksızın oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli arasındaki fark β katsayısı üzerinden daha net görülebilmektedir. Nitekim, oynaklık modeline varyans kırılmaları eklendiğinde REAOPTF serisi için oynaklık sürekliliğini ifade eden β katsayısının 0,934722 düzeyinden -%3,76 oranında azalarak 0,899546 düzeyine düştüğü görülmektedir. Bu durum, uluslararası veya ulusal ekonomik ve/veya siyasi olayların piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündeki hipotezi de doğrulamaktadır.

Çalışmanın son bölümünde şokların yarılanma ömrünün hesaplanması analiz edilmiştir. Oynaklığın uzun dönem ortalama düzeyine dönüş süresi, half-life (yarılanma-ömrü) şok değeri ile ölçülmektedir. β katsayıları birden küçük $\left(\beta_j < 1\right)$ olup oynaklığın uzun dönem ortalama düzeyine geri döndüğünü göstermektedir. Oynaklık katsayıları, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde daha yüksek hesaplanmıştır. Buna karşın, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) yaşanan şoklardan sonra yapısal kırılmaların dikkate alınmadığı modelde 10 gün, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde ise 7 gün içinde ortalamaya döndüğü (şokların söndüğü) anlaşılmıştır. Bu durum, daha önce vurgulandığı üzere, yapısal kırılmaların dikkate

alındığı modelde oynaklık sürekliliğini ifade eden β katsayısı daha düşük (0,899546) çıktığından, uluslararası veya ulusal ekonomik ve/veya siyasi olayların piyasalarda yol açtığı kırılmaların oynaklık sürekliliğini (β) azalttığı ve oynaklığın daha kısa sürede ortalamaya dönme eğiliminde olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

KAYNAKÇA

Abhinav, R. ve Pindoriya, N. M. (2018). Opportunities and key challenges for wind energy trading with high penetration in Indian power market, *Energy for Sustainable Development*, 47: 53–61.

Afşar, Y. ve Büyükkeklik, A. (2016). Elektrik Enerjisinde Tedarik Zinciri Yönetimi: Türkiye'de Kullanıcılara Yönelik Bilgisayar Uygulama Önerisi. Verimlilik Dergisi. 3(3): 75-99.

Aggarwal, R., Inclan, C. ve Leal, R. (1999). Volatility in Emerging Stock Markets. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 34(1): 33-55.

Akpınar, E. Ve Başibüyük, A. (2011). Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz. *Turkish Studies*, 6(3): 119-136.

Aldıbekova, G. (2018). *Petrol Fiyatlarının Kazakistan Ekonomisi Üzerine Etkileri.* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Allen, R. C. (2009). *The British İndustrial Revolution İn Global Perspective*. Cambridge University Press.

Anadolu Ajansı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/enerjide-2019-boyle-gecti/1676866, (03.07.2023).

Aydem Perakende. https://www.aydemperakende.com.tr/blog/nukleer-enerji-nedir-nasil-uretilir, (14.05.2023).

Aydın, F. F. (2010). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.* (35): 317-340.

Aydın, K. (2010). *Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Değişimlerinin Analizi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Sakarya: Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Baltagi, B. H. (2000). *Econometrics.* USA: Springer Press.

Başol, K. (1994). *Doğal Kaynaklar Ekonomisi: (Doğal Kaynaklar, Enerji ve Çevre Sorunları)*. Anadolu Matbaası.

Bayraç H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 11(2): 229-260.

Bayraç, H. N. (2018). Uluslararası Doğalgaz Piyasasının Ekonomik Yapısı ve Uygulanan Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 13(3): 13-36.

Bayraç, H. N. (2019). Küresel Petrol Piyasasındaki Fiyat Dalgalanmalarının Ekonomik Etkileri. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*. 9(19): 44-59.

BBC (British Broadcasting Corporation) News. https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-58933489, (03.07.2023).

Bicil, İ. M. (2015). *Elektrik Piyasasında Fiyatlandırma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bierbrauer, M., Stefan, T. ve Weron, R. (2004). Modelling Electricity Prices with Regime Switching Models, *Lecture Notes in Computer Science*, 3039: 859-867.

Bockris, John O'M., Veziroğlu, T. Nejat ve Smith Debbi L. (2002). *Geleceğin Enerjisi Güneş ve Hidrojen*. Çev. Ömer Faruk Noyan. İzmir: Kaynak Yayınları.

Boisseleau F. (2004). *The Role Of Power Exchanges For The Creation Of A Single European Electricity Market: Market Design And Market Regulation*. Phd Thesis, University Of Paris IX Dauphine, Delft University Press.

Bolgün, K.E. ve Akçay, B.M. (2005). *Risk Yönetimi*, İstanbul: Scala Yayıncılık.

Bollersev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity, *Journal of Econometrics*, 32: 307-327.

Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ). https://www.botas.gov.tr/Sayfa/turkiyede-dogal-gaz-cikiyor-mu-cikarilan-miktar-ne-kadarlik-tuketimimizi-karsiliyor/253, (29.06.2023).

Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ). (https://www.botas.gov.tr/Sayfa/ticaret/14) , (27.06.2023).

Brooks, C. (2002). *Introductory Econometrics for Finance*, United Kingdom: Cambridge University Press.

Bystrom, H. (2003). The Hedging Performance of Electricity Futures on the Nordic Power Exchange, *Applied Economics*, 35(1): 1-11.

Cengiz, S. (2006). Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Piyasasında Yeniden Yapılanma. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1): 117-134.

Chatfield, C. (2004). *The Analysis of Time Series: An Introduction*, Chapman & Hall/CRC.

Colpier U. C. ve Cornland D. (2002). The economics of the combined cycle gas turbine – an experience curve analysis, *Energy Policy*, 30(4): 309-316.

Çetin, M., ve Seker, F. (2012). Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 31(1): 85-106.

Çetintaş, H. ve Bicil, İ. (2015). Elektrik Piyasalarında Yeniden Yapılanma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Yapısal Dönüşüm. *Optimum Ekonomi Ve Yönetim Bilimleri Dergisi*. 2(2): 1-15.

Çılbant, C. ve Alma, D. (2016). Türkiye'de Doğal Gaz Tüketimi İle Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki. *Akademik İzdüşüm Dergisi*. 1(1): 1-11.

Çiçek, A. (2021). Comprehensive survey on support policies and optimal market participation of renewable energy. *Electric Power Systems Research*. 201(5): 107522.

Çifter, A. (2004). Risk Yönetimi'nde (Skewed) Student-T ve GED Dağılımları ile Asimetrik ve (Kısmi) Entegre GARCH Modelleri: Eurobond Üzerine Bir Uygulama, *VIII. Ulusal Finans Sempozyumu*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Dağdaş, A. (2004). Jeotermal Enerjiden Yararlanmada Türkiye' nin Dünyadaki Konumu ve Potansiyeli. *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 80: 38-49.

De Vany, A. S. ve Walls, D. W. (1999). Cointegration Analysis of Spot Electricity Prices: Insights on Transmission Efficiency in the Western US, *Energy Economics*, 21(5): 435-448.

Del Rio, P. ve Burguillo, M. (2009). An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7): 1314-1325.

Deng, S. (2000). Stochastic Models of Energy Commodity Prices and Their Applications: Mean-reversion with Jumps and Spikes, University of California Energy Institute, Working Paper PWP-73.

Deng, S. (2000). Pricing Electricity Derivatives Under Alternative Stochastic Spot Price Models, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences.

Ding, Z., Granger, C.W.J. ve Engle, R.F. (1993). A Long Memory Property of Stock Market Returns and A New Model, *Journal of Empirical Finance*, 1: 83-106.

Doğan Çalışkan, Z. & Çakmak, M. (2019). Ham Petrol İthalatı ve Büyüme. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*. 11(18): 935-955.

Dowdy, S. ve Wearden, S. (1990). *Statistics for Research*, New York: John Wiley&Sons, Inc..

https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2020/02/GunOncesiPiyasasi24Subat2020.pdf, (30.06.2023).

DURA, C. (1991). *Türkiye Ekonomisi*, Kayseri: Erciyes Üniversitesi Yayınları.

Durak, A. (2022). *Dünya Petrol Piyasasının Yapısı ve Petrol Fiyatlarındaki Dalgalanmaların Türkiye Ekonomisine Etkileri*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Dünya Gazetesi. https://www.dunya.com/ekonomik-veriler/2018-enflasyonu-yuzde-2030-haberi-436328, (03.07.2023).

Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği. Resmi Gazete 27200 (2009). https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=12985&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5, (20.06.2022).

Elektrik Piyasası Kanunu. Resmi Gazete 28603 (2013). Kanun No. 6446. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6446.pdf, (20.06.2023)

Elibüyük, U. ve Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Yekarum*, 2(3): 1-14.

Enders, W. (1995). *Applied Econometrics Time Series*, John Wiley&Sons, Inc..

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2021). EPDK Doğal Gaz Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Doğal Gaz Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Elektrik Piyasası 2022 Yılı Piyasa Gelişim Raporu.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Petrol Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat, (15.05.2023).

Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPİAŞ). https://www.epias.com.tr/epias-kurumsal/tarihce/, (20.06.2023).

Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPİAŞ). https://www.epias.com.tr/gun-ici-piyasasi/giris/, (18.06.2023).

Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPİAŞ). https://www.epias.com.tr/genel-esaslar/, (21.06.2022).

Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPİAŞ). https://www.epias.com.tr/gun-ici-piyasasi/genel-esaslar/, (18.06.2023).

Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPİAŞ). https://www.epias.com.tr/gun-oncesi-piyasasi/genel-esaslar/, (21.06.2023).

Engin, V. ve Gülsoy, U. (2016). Osmanlı'dan Cumhuriyet'e İstanbul'da Elektrik. İstanbul: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü.

Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity With Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation, *Econometrica*, 50(4): 987-1007.

Engle, R. F. ve Patton, A. J. (2001). What Good Is a Volatility Model?. *Quantitative Finance*, 1(2): 237-245.

Ercan, M. K. (1996). *Uluslararası Petrol Arama Ve Üretim Yatırımlarının Yapısı Ve Finansal Yönden İncelenmesi*, Ankara: Turkısh Petroleum International Company.

Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19): 115-133.

Escribano, A., Pena, J. I. ve Villaplana P. (2002), Modeling Electricity Prices: International Evidence. *Departmento de Economia, Universidad Carlos III de Madrid.* Working Paper 02-27, Economics Series 08,.

Fortes Mühendislik. https://www.fortes.com.tr/medya/fortes-bilgilendiriyor/dunyada-ve-turkiyede-dogalgaz/, (20.06.2023).

Gbenro, N. &veMoussa, R. K. (2019). Asymmetric Mean Reversion in Low Liquid Markets: Evidence from BRVM. *Journal of Risk and Financial Management*. 12(38): 1-19.

Gökalp, Y. (2022). *Elektrik Toptan Satış Piyasasında Şeffaflık*. Uzmanlık Tezleri Serisi (No:216). Ankara: Rekabet Kurumu.

Gökçe, C. (2014). Önemli Bir Enerji Girdisi Olan Petrolün Ekonomik Kalkınma Sürecindeki Rolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 16(1): 143-154.

Göksu E. (1980). Türkiye'nin Petrol Potansiyeli Hakkında Düşünceler, *P.İ.G.M. Dergisi*, Sayı 25.

Goto, M. ve Karolyi, A. G. (2003), Understanding Electricity Price Volatility Within and Across Markets, *Dice Center Working Paper No: 2004-12.*

Gujarati, D.N. (1995). *Basic Econometrics*, New York: McGraw-Hill, Inc..

Guthrie, G. ve Videbeck, S. (2002), High Frequency Electricity Spot Price Dynamics: An İntra-Day Markets Approach, *New Zealand Institute for the Study of Competition and Regulation Inc.* Working Paper Series 18989.

Gülay, A. N. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye' nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.

Güneş, A. M. (2014). "Çevre ve Hukuk Perspektifinden Hidroelektrik Santrallere İlişkin Bazı Tespitler", *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*, 5(18): 29-78.

Gyagri, M., Amarfio, E. M. ve Marfo, S. A. (2017). Determinants of Global Pricing of Crude Oil-A Theoretical Review. *International Journal of Petroleum and Petrochemical Engineering (IJPPE*). 3(3): 7-15.

Hamilton, J. D. (2012). Economic Costs of America's Dependence on Oil. San Diego: University of California.

Hansen, B. E. (1994). Autoregressive Conditional Density Estimation, *International Economic Review*, 35(3): 705-730.

Harris, R. ve Sollis, R. (2003). *Applied Time Series Modelling and Forecasting*, John Wiley&Sons, Inc..

Huisman, R. ve Mahieu R. (2003). Regime Jumps in Electricity Prices. *Energy Economics*, 25(5): 425-434.

Hunt S. (2002). *Making Competition Work in Electricity*, New York, John Wiley & Sons Inc..

Hunt, S. (2002). The State Of US Electricity Restructuring. *The Electricity Journal*, 15(5): 11-20.

Inclan, C. ve Tiao, G.C. (1994). Use of Cumulative Sum of Squares for Retrospective Detection of Change of Variance. *Journal of the American Statistical Association*, 89 (427): 913-923.

Işık, S. ve Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 34: 193-201.

Jondeau, E., Poon, S-H ve Rockinger, M. (2007). *Financial Modeling Under Non-Gaussian Distributions*, USA: Springer Finance.

Jorion, P. (2009). *Financial Risk Manager Handbook*, USA: John Wiley&Sons, Inc..

Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Rüzgâr Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye' deki Kullanım Durumu, *Marmara Coğrafya Dergisi* 30: 98-125.

Karamustafaoğlu M. (2007). *Elektrik Üretimi Pazarındaki Mevcut Sözleşmeleri Pazarın Rekabetçi Yapısı Üzerindeki Etkileri*. Uzmanlık Tezleri Serisi 5. Dönem. Ankara: Rekabet Kurumu.

Karık, F., Sözen, A. ve İzgeç, M. M. (2017). Rüzgâr Gücü Tahminlerinin Önemi: Türkiye Elektrik Piyasasında Bir Uygulama. *Journal Of Polytechnic*. 20(4): 851-861.

Katarzyna, M., Weron, R. (2015). Forecasting of daily electricity prices with factor models: utilizing intra-day and inter-zone relationships*, Comput Stat* 30: 805-819.

Kaya, K., Şenel, M. C. ve Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, 13(3): 219-234.

Kaya, F. T. (2013). Türkiye Spot Elektrik Piyasası, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Yayımlanmamış Uzmanlık Tezi, Ankara.

Knittel, R. C. ve Roberts, M. R. (2001), An Empirical Examination of Deregulated Electricity Prices, *University of California Energy Institute*, Working Paper.

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine.* 56(668): 36-47.

Kutlar, A. (2005). *Uygulamalı Ekonometri*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Lucia, J. J., ve Schwartz, E. S. (2002). Electricity Prices and Power Derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange. *Review of Derivatives Research*, 5(1): 5-50.

Malik, F. ve Hassan, S.A. (2004). Modeling Volatility in Sector Index Returns with GARCH Models Using an Iterated Algorithm. *Journal of Economics and Finance*, 28(2): 211-225.

McLeod, A.I. ve Li, W.K. (1983). Diagnostıc Checking ARMA Time Series Models Using Squared-Residual Autocorrelations. *Journal of Time Series Analysis*, 4(4): 269-273.

Mount, T. (2001). Market Power and Price Volatility in Restructured Markets for Electricity, *Decision Support Systems*, 30(3): 311-325.

Nelson, D.B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 59: 347-370.

Olgun, Z., Aktan M. ve Uçar N. (2020). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. https://www.tki.gov.tr/enerji-ve-komur, (18.06.2023).

Öktem, M. (2003). *Kent, Çevre ve Globalleşme*. İstanbul: Alfa Aktüel Yayınları.

Öztürk, H. ve Türk, Ö.F. (2013). Nükleer Enerji ve Nükleer Silahlanma: Prof. Dr. Nurşin Ateşoğlu Güney ile Söyleşi. İstanbul: BİLGESAM.

Patterson, K. (2000). *An Introduction to Applied Econometrics-A Time Series Approach*, USA: St. Martin's Press.

Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği. https://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/dunyada-petrol-uretimi, (18.06.2023).

Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği. https://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/turkiyede-petrol-uretimi/ (18.06.2023).

Pilipovic, D. (1998). *Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives*, New York: McGraw-Hill.

Pilipovic, D. (2007). *Energy Risk : Valuing and Managing Energy Derivatives, Second Edition*, New York: McGraw-Hill.

Pinczynski, M. & Kasperowicz, R. (2016). Overview of Electricity Market Monitoring. *Economics & Sociology*, 9(4): 153-167.

Pooter, M. ve Dijk, D. V. (2004). Testing for Changes in Volatility in Heteroskedastic Time Series - A Further Examination. *Econometric Institute Report EI* 2004-38: 1-39.

Ralph, E. L. ve Linder, E. B. (1996), Advanced Solar Panel Designs. *Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 13-17 May 1996, pp: 297-300.

Rice, J. A. (1987). *Mathematical Statistics and Data Analysis*, Belmon-California: Duxbury Press.

Richard D. F. Harris ve Coşkun C. Küçüközmen. (2010). The Empirical Distribution of Stock Returns: Evidence from an Emerging European Market, *Applied Economics Letters*, 8: 367-371.

Robinson, T. A. (2000). Electricity Pool Series: A Case Study in Non-Linear Time Series Modelling, *Applied Economics*, 32(5): 527-532.

Robinson, T. A. ve Baniak A. (2002). The volatility of prices in the English and Welsh electricity pool, *Applied Economics*, 34(12): 1487-1495.

Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2007). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Smil, V. (1994). *Energy in world history*. Routledge.

Solibakke, P. B. (2002). Efficiently estimated mean and volatility characteristics for the Nordic spot electricity power market, *International Journal of Business*, 7(2): 17-35.

Sputnik. https://sputniknews.com.tr/20180402/botas-dogalgaz-zam-1032873350.html, (03.07.2023).

Şahin Dağlı, S. (2021). *Yapısal Kırılmalar, Finansal Balonlar ve İkili Uzun Hafıza: Enerji Piyasası Üzerinde Ampirik Bir Analiz*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Burdur: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle, (27.06.2023).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik, (02.09.2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal, (27.06.2023).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/neupgm-nukleer-enerji, (14.05.2023).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes, (02.09.2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar, (18.09.2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1l%C4%B1%20May%C4%B1s%20ay%C4%B1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20kurulu%20g%C3%BCc%C3%BCm%C3%BCz%C3%BCn%20kaynaklara%20g%C3%B6re,i%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklindedir, (16.06.2023).

Taktak, F. ve Ilı M. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik Dergisi*, 3(1): 1-21.

Tarı, R. (2005). *Ekonometri*, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Yayınları.

Tsay, R. S. (2005). *Analysis of Financial Time Series*, USA: John Wiley & Sons, Inc..

Turhan, F. (2009). *Rüzgâr Enerjisinin Dünya' da ve Türkiye' de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgâr Değerlerinin İncelemesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türe, S. (2001).Biyokütle Enerjisi, *Temiz Enerji Vakfı*, 1-5.

Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) Piyasa Yönetim Sistemi https://tpys.teias.gov.tr/tpys/app/login.htm# (21.06.2023).

Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. (2023). Kurulu Güç Raporu - Aralık 2022. https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari (19.06.2023).

Türkiye Taşkömürü Kurumu. (2023). 2022 yılı Taşkömürü Sektör Raporu. http://taskomuru.net/tr/whiseezu/2023/05/2022YiliTaskomuruSektorRaporu..pdf, (18.06.2023).

Uçak, S. Ve Usupbeyli, A. (2015). Türkiye' de Petrol Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*. 70(3): 769-787.

Ural, M. (2010). *Yatırım Fonlarının Performans ve Risk Analizi*. Ankara: Detay Yayıncılık.

Ural, M., Demireli, E. ve Aydın, Ü. (2022). *Finansal Yatırımlarda Riske Maruz Değer Analizi.* Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Usta, C. ve Berber, M. (2017). Türkiye'de Enerji Tüketimi Ekonomik Büyüme İlişkisinin Sektörel Analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 13(1): 173-187.

Vikipedi.https://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Falgaz#D%C3%BCnya'da_do%C4%9Falgaz, (18.06.2023).

Vikipedi.https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_elektri%C4%9Fin_tarihi, (20.06.2023).

Walls, W. D. (1999). Volatility, volume and maturity in electricity futures, *Applied Financial Economics*, 9(3): 283-287.

Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach*, England: John Wiley & Sons Ltd.

West, S. R., Rowe, D., Sayeef, S. ve Berry, A. (2014). Short-term irradiance forecasting using skycams: Motivation and development. *Solar Energy*, 110: 188-207.

Wolak, F. A. (2000). Market Design and Price Behavior in Restructured Electricity Markets: An International Comparison, *Working Paper, Department of Economics Stanford University*, 79-137.

Yaman, M. ve Haşıl, F. (2018). Türkiye' deki Hidroelektrik Santrali (Hes) Uygulamalarına Çevre Açısından Bakış. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 3(5): 145-156.

Zakoian, J-M. (1994). Threshold Heteroskedastic Models, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18: 931-955.

Zuoxiang, P., Bin, T. & Nadarajah, S. (2009). Tail Behavior of the General Error Distribution, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 38(11): 1884-1892.