



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE RES ÜRETİMİ RAMPA  
OLAYLARININ FARKLI ZAMANSAL  
PERİYOTLARDA BÖLGESEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**UĞUR SERKAN BALTACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2023**

**T.C.**  
**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE RES ÜRETİMİ RAMPA**  
**OLAYLARININ FARKLI ZAMANSAL**  
**PERİYOTLARDA BÖLGESEL OLARAK**  
**İNCELENMESİ**

**UĞUR SERKAN BALTACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**KAHRAMANMARAŞ 2023**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

UĞUR SERKAN BALTACI



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilgilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# TÜRKİYE’DE RES ÜRETİMİ RAMPA OLAYLARININ FARKLI ZAMANSAL PERİYOTLARDA BÖLGESEL OLARAK İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

UĞUR SERKAN BALTACI

## ÖZET

Türkiye sahip olduğu coğrafi yapısından dolayı rüzgâr enerji potansiyeli yüksek bir ülkedir ve bu potansiyelden kaynaklı Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kurulu gücü hızla artış göstermektedir. Fakat RES enerji üretimi değişken bir karaktere sahiptir ve üretilen değişken enerji elektrik şebeke sistemindeki arz-talep dengesinde bozucu bir etki meydana getirmektedir. Bu bozucu etkinin ortadan kaldırılması için yapılan çalışmalar, RES enerji üretiminde oluşan rampaların incelemesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye ölçeğinde farklı zamansal periyotlardaki rampa olaylarını bölgesel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda ihtiyaç duyulan 2019, 2020 ve 2021 yıllarında Türkiye’de bulunan tesislere ait RES gerçek üretim verileri Türkiye Elektrik İletim AŞ’den (TEİAŞ) alınmıştır. Üç yılı kapsayan saatlik üretim verileri kullanılarak bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlardaki rampa büyüklükleri hesaplanmıştır. Bölgesel olarak belirlenen rampalar; büyüklüğüne (kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10), yönüne (negatif, pozitif), oluşum yerine (Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu) ve oluşum süresine ( bir, iki, üç, dört, beş ve altı saat) göre ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, Türkiye’de bulunan RES’lerin enerji üretimlerinin bölgesel olarak rampa karakteristiğine bakıldığında en az rampa olayları Marmara ve Ege Bölgesinde, en fazla rampa olayı ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Yenilebilir Enerji, Rüzgâr Enerji Santrali, Rampa Oran, Histogram Alan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimler Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran/2023

Danışman: Doç. Dr. Ökkeş Fatih Keçecioğlu

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsrail Karadöl

Sayfa Sayısı: 68

**REGIONAL INVESTIGATION OF WPP PRODUCTION RAMP EVENTS IN  
DIFFERENT TIME PERIODS IN TURKEY**

**(MSc. THESIS)**

**UĞUR SERKAN BALTACI**

**ABSTRACT**

Turkey is a country with a high wind energy potential due to its geographical structure and the installed capacity of Wind Energy Plant (WPP) is increasing rapidly due to this potential. However, WPP energy production has a variable character and the variable energy produced creates a disruptive effect on the supply-demand balance in the electricity grid system. The studies carried out to eliminate this disruptive effect show that it is necessary to examine the ramps that occur in WPP energy production. This study aims to analyze the ramp events in different temporal periods regionally in Turkey. For this purpose, the actual production data of the WPP of the facilities in Turkey in 2019, 2020 and 2021, which are needed, were obtained from Turkey Electricity Transmission AŞ (TEİAŞ). Using hourly production data covering three years, ramp sizes in one, two, three, four, five and six hour temporal periods were calculated. Regionally determined ramps; size (%5, %7,5 and %10 according to installed power), direction (negative, positive), place of formation (Marmara, Aegean, Central Anatolia, Mediterranean, Black Sea, East Anatolia and Southeastern Anatolia) and formation period (one, two, three, four, five and six hours). As a result of the examinations, when the regional ramp characteristics of the energy production of WPPs in Turkey are examined, the least ramp events were seen in the Marmara and Aegean Regions, and the most ramp events were observed in the Southeastern Anatolia Region

**Keywords:** Renewable Energy, Wind Power Plant, Ramp Rate, Histogram Field.

Kahramanmaraş Sütçü Imam University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of, June/2023

Supervisor: : Assoc. Prof.Ökkeş Fatih Keçecioglu

Co- Supervisor: Asst. Prof. Dr. İsrail Karadöl

Page number: 68

## TEŞEKKÜR

Bu uzun ve zorlu süreçte her türlü bilgi ve mesleki tecrübesiyle daima yoluma ışık tutan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi İsrail KARADÖL'e ve her fırsatta bana sunduğu destekleri için kıymetli hocam Doç. Dr. Ökkeş Fatih KEÇECİOĞLU'na sonsuz Őükranlarımı sunarım. Tez çalışmamı yapmam için gerekli olan kaynak bilgileri benimle paylaşan TEİAŞ'a teşekkür ederim

Bu süreçte göstermiş olduğu fedakârlıktan ve anlayıőtan dolayı eşim Melike BALTACI' ya müteőekkirim. Son olarak tez çalışmam boyunca her daim yanımda olan anneme, babama, kardeşime ve eşimin değerli ailesine teşekkür ederim.

**Uğur Serkan BALTACI**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
1.2. Tezin Kapsamı.....	9
1.3. Literatüre Katkı.....	9
1.4. Tezin Yapısı.....	10
2. ENERJİ KAYNAKLARI.....	11
2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	12
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	14
2.2.1. Hidrolik enerji.....	14
2.2.2. Jeotermal enerji.....	15
2.2.3. Biyokütle enerji.....	17
2.2.4. Güneş enerjisi.....	18
2.2.5. Rüzgâr enerjisi.....	19

3. RÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİSİ.....	24
3.1. Dünya’da Rüzgâr Enerjisi.....	24
3.2. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi.....	26
3.3. Rüzgâr Enerjisi Elektrik Üretimi.....	28
3.3.1. Rüzgâr güç hesapları.....	28
3.3.2. Rüzgâr türbini.....	30
3.3.2.1. Kule.....	31
3.3.2.2. Rotor kanatları.....	31
3.3.2.3. Jeneratör.....	32
3.3.2.4. Güç elektroniği.....	33
3.3.2.5. Dişli kutusu.....	33
3.3.2.6. Anemometre.....	34
3.3.2.7. Kontrol ünitesi.....	34
3.3.2.8. Aerodinamik sistem.....	34
3.3.2.9. Rüzgârgülü.....	34
3.3.2.10. Yön saptırma dişlisi ve motoru.....	34
3.3.2.11. Hidrolik sistem.....	34
3.3.2.12. Fren sistemi.....	35
3.3.3. Rüzgâr güç kontrolü.....	35
3.3.3.1. Aerodinamik güç kontrolü.....	35
3.3.3.2. Rotor hız kontrolü.....	36

3.3.4. Rüzgâr depolama sistemleri.....	36
4. MATERYAL ve METOTLAR.....	38
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	44
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	68



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>RES</b>	: Rüzgâr Enerji Santrali
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İletim AŞ
<b>DVR</b>	: Destek Vektör Regresyonu
<b>TDA</b>	: Tahmine Dayalı Azaltma
<b>EDS</b>	: Enerji Depolama Sistemi
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>HAÜ</b>	: Hava Ayırma Ünitesi
<b>TOKT</b>	: Tipik Olay Kümelemesi Tanılama
<b>SHT</b>	: Sayısal Hava Tahmini
<b>NHES</b>	: Nehir tipi Hidroelektrik Santral
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma
<b>ESK</b>	: Enerji Santrali Kontrolörü
<b>EYS</b>	: Enerji Yönetim Sistemi
<b>PEDS</b>	: Pil Enerji Depolama Sistemi
<b>UPS</b>	: Kesintisiz Güç Kaynağı
<b>Ar-Ge</b>	: Araştırma ve Geliştirme
<b>HES</b>	: Hidroelektrik Santral
<b>UEA</b>	: Ulusal Enerji Ajansı
<b>TÜBİTAK</b>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<b>UBS</b>	: Uluslararası Birim Sistemi

<b>MTEP</b>	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
<b>DA</b>	: Doğru Akım
<b>AA</b>	: Alternatif Akım
<b>J</b>	: Joule
<b>C</b>	: Karbon Atomu
<b>S</b>	: Kükürt Atomu
<b>N</b>	: Azot Atomu
<b><math>V_T</math></b>	: İstenen Yükseklikteki Rüzgâr Hızı
<b><math>V_R</math></b>	: Referans Yükseklikteki Rüzgâr Hızı
<b><math>h_T</math></b>	: İstenen Yükseklik
<b><math>h_R</math></b>	: Referans Yükseklik
<b><math>\alpha</math></b>	: Arazi Yüzeyinin Sürtünme Katsayısı
<b>W</b>	: Uluslararası Standart Güç Birimi
<b><math>P_W</math></b>	: Karşıdan Esen Rüzgâr Gücü
<b><math>P_{ort}</math></b>	: Bir Rüzgâr Türbininin Gücü
<b>V</b>	: Rüzgâr Hızı
<b><math>C_p</math></b>	: Rotor Kanatlarına Etkiyen Rüzgâr Güç Katsayısı
<b><math>\rho</math></b>	: Havanın Yoğunluğu
<b>A</b>	: Kanatların Süpürdüğü Alan
<b>D</b>	: Rotor Kanatlarının Çapı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Rampa oranı karakteristiği.....	2
Şekil 2.1 Enerji çeşitleri.....	11
Şekil 2.2 Dünya birincil enerji tüketim oranları.....	12
Şekil 2.3 Yenilenemez enerji kaynakları.....	13
Şekil 2.4 Hidroelektrik santral.....	15
Şekil 2.5 Jeotermal enerji santrali.....	16
Şekil 2.6 Biyoenerji santrali.....	17
Şekil 2.7 Güneş enerji santrali.....	18
Şekil 2.8 Küresel rüzgâr hareketi.....	20
Şekil 2.9 Meltem rüzgârları oluşum çeşitleri.....	21
Şekil 2.10 Rüzgâr enerji santrali.....	21
Şekil 2.11 Küresel elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı.....	22
Şekil 2.12 Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı.....	23
Şekil 3.1 Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (GW).....	25
Şekil 3.2 Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW).....	25
Şekil 3.3 Türkiye rüzgâr santrallerinin dağılımı.....	26
Şekil 3.4 Türkiye’de kurulu güce göre kaynak dağılımı.....	27
Şekil 3.5 Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (GW).....	27
Şekil 3.6 Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW).....	28
Şekil 3.7 Rüzgâr türbini yapısı.....	31

Şekil 3.8 Rotor kanatları.....	32
Şekil 3.9 Rüzgâr hızı değişken güç devresi.....	33
Şekil 3.10 Dişli kutusu.....	34
Şekil 3.11 Rüzgâr türbini güç üretimi grafiği.....	36
Şekil 4.1 Türkiye bölgesel rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (50 m).....	38
Şekil 4.2 Türkiye'deki RES'lerin bölgesel olarak saatlik toplam üretimleri.....	40
Şekil 4.3 Yamuk kuralı.....	42
Şekil 5.1 Bir saatlik periyottaki rampa olayları.....	44
Şekil 5.2 İki saatlik periyottaki rampa olayları.....	45
Şekil 5.3 Üç saatlik periyottaki rampa olayları .....	46
Şekil 5.4 Dört saatlik periyottaki rampa olayları .....	47
Şekil 5.5 Beş saatlik periyottaki rampa olayları .....	48
Şekil 5.6 Altı saatlik periyottaki rampa olayları .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Türkiye bölgesel RES üretimlerinin istatistiksel ve genel özellikleri.....	39
Çizelge 4.2 Veri seti.....	41
Çizelge 5.1 Marmara Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	50
Çizelge 5.2 Ege Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	51
Çizelge 5.3 İç Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	51
Çizelge 5.4 Akdeniz Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	52
Çizelge 5.5 Karadeniz Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	53
Çizelge 5.6 Doğu Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	54
Çizelge 5.7 Güneydoğu Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları.....	54
Çizelge 5.8 Tüm bölgelerin %5 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları.....	55
Çizelge 5.9 Tüm bölgelerin %7,5 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları.....	56
Çizelge 5.10 Tüm bölgelerin %10 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları.....	56

## 1. GİRİŞ

Dünyanın her yerinde enerji güncel bir sorundur. Enerji tüketim ihtiyacı, teknoloji ilerledikçe mevcut fosil yakıt rezervlerinin kullanılmasını arttırmıştır. Enerji ihtiyacının karşılanması, fosil yakıt kullanımının çevreye verdiği zarar ve doğal dengeyi bozucu etkisi nedeniyle birçok araştırmacı yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelmiştir (Kök ve Yakıncı, 2017).

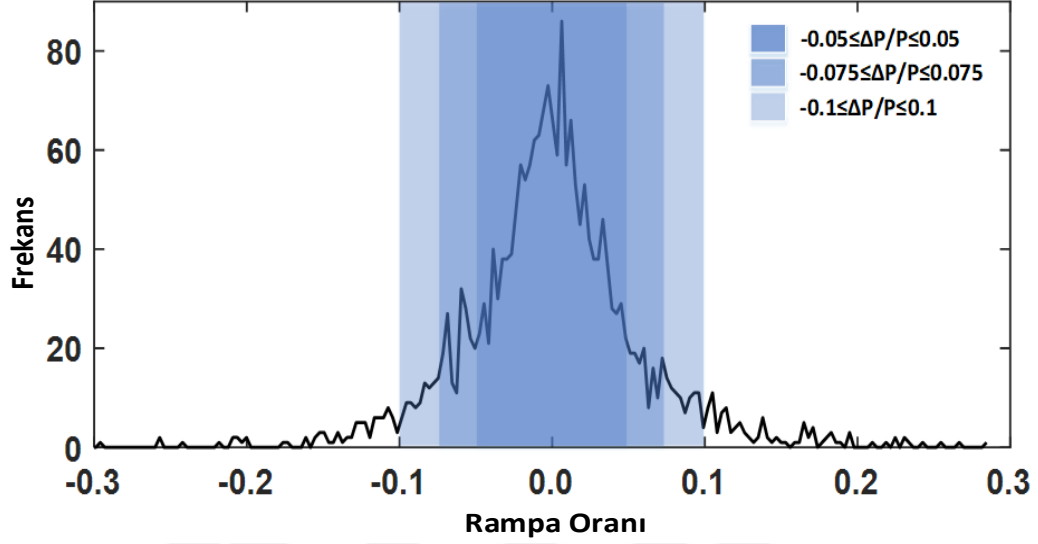
Yenilebilir enerji kaynakları diğer enerji kaynakları ile kıyaslandığında daha ekonomik ve çevreye verdiği zarar daha azdır. Bu sebeple tüm Dünya’da enerji tüketim ihtiyacı karşılanmasında kullanılan yöntemler içindeki payı giderek artmaktadır. Türkiye sahip olduğu coğrafi özellikler nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından yüksek potansiyele sahiptir. Yenilebilir enerji kaynakları potansiyeli yüksek olmasına rağmen bu alanda yapılan üretim ulaşılmak istenen seviyede değildir. Dünyadaki birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelik çeşitli teşvik çalışmaları yaparak üretimdeki payını arttırmaya çalışmaktadır (Ataman, 2007; Koç ve Kaya, 2015).

Elektrik günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu sebeple dünyadaki birçok ülkenin hedefleri arasında tüketicilere sürekli, güvenilir ve kaliteli elektrik enerjisi temin etmek vardır. Bu durumun oluşabilmesi için elektrik arz sisteminin doğru planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Elektrik arz sisteminin doğru planlanması ve yönetilmesi için etkin modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır (Aydın, 2016).

Türkiye’de yapılan son çalışmalarda 2022 yılı itibarıyla kaynaklara göre kurulu gücün dağılımında, toplam kurulu gücün %53’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Kaynaklara göre dağılım ise; %30,9’u hidrolik enerji, %24,7’si doğal gaz, %20,6’sı kömür, %10,9’u rüzgâr, %8,8’i güneş, %1,6’sı jeotermal ve %2,4’ü ise diğer kaynaklardır (Ersöz, 2022).

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) önemli bir yere sahiptir. Fakat RES üretim yapısı belirsiz ve değişken olduğu için elektrik şebeke sisteminde arz-talep dengesini bozucu etkisi vardır. RES üretiminde meydana gelen bu değişkenlikler rampa olayı olarak adlandırılmaktadır. Rampa oranlarının şebeke sisteminde oluşturduğu olumsuzlar sebebiyle RES üretimlerindeki rampa olaylarını incelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Üretimde meydana gelen değişkenliği rampa olarak tanımlayabilmek için bu değişkenliğin santralin kurulu gücünün %5 veya daha fazlası olması gerekmektedir (Frate ve ark.,2019). Bazı ülkelerde rampa tanımlaması farklılık gösterdiğinden toplam kurulu gücün %5, %7,5 ve %10 üzerindeki değişkenlikler

incelenmiştir. Örneğin Puerto Rico Electric Power Authority’de kurulu gücün %10 ve üzerindeki değişiklikler incelenmiştir (Gevorgian ve Booth, 2013). Toplam kurulu gücün %5, %7,5 ve %10 üzerindeki değişkenliklere rampa oranı karakteristiği olarak adlandırılmaktadır ve rampa oranı karakteristiğinin görseli Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Rampa oranı karakteristiği (Karadöl İ. , 2022)

Yapılan bu çalışma Türkiye’de bulunan RES’lerin 2019-2020-2021 yıllarındaki elektrik üretiminde meydana gelen rampa olaylarının bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda bölgesel olarak incelenmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucunda elde edilen kümülatif rampa alanları bölgesel olarak karşılaştırılmıştır.

RES üretiminde meydana gelen kısıtlamaları ve şebekedeki problemleri çözmek için enerji üretiminde oluşan rampaların yönünü bilmek gerekmektedir. RES üretiminde görülen negatif yönlü rampalardan kaynaklı enerji ihtiyacını karşılamak için; santrallerin şebekede aktif olma süresi, oluşmuş rampa büyüklüğüne göre aktif olan RES üretim miktarı arttırılmakta veya pasif olan santraller devreye alınmaktadır. Şebekede pozitif yönlü rampaların görülmesinde ise aktif RES’lerin üretim miktarları azaltılmakta, santralin şebekede aktif olan diğer santrallere yük aktarımı yapılmakta veya santralin pasif duruma getirilmesi gerekmektedir. Bu durum şebeke işletmecisi açısından ek maliyetler oluşturmaktadır. Şebeke işletilmesindeki ek maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla RES üretimlerindeki rampa olaylarının büyüklüğü, oluşum zamanı ve süresi gibi özelliklerinin önceden bilinmesi büyük önem arz etmektedir (Ela ve Kemper, 2009). Konu ile ilgili literatür taraması bir sonraki alt bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

## 1.1 Literatür Taraması

Konuya yönelik ayrıntılı literatür taraması yapılmıştır ve bazı önemli çalışmalar incelenerek özetlenmiştir.

Dhiman ve arkadaşlarının çalışmasında, Destek Vektör Regresyonu (DVR) ve dalgacık dönüşümü değişkenleri kullanarak hibrit yapıda rüzgâr tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen model ile rüzgâr gücü rampa olayları incelenmiş ve performans değerlendirme kriterleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır (Dhiman ve ark., 2019).

Sangwongwanich ve arkadaşının çalışmasında, 3-kW'lık tek fazlı, iki aşamalı, şebekeye bağlı bir güneş enerji sistemi üzerinde oluşan rampaların büyüklüğünü ve süresini kontrol etmek için model önerilmiştir (Sangwongwanich ve Yang, 2016).

Ery ve arkadaşlarının çalışmasında, rüzgâr yönünü doğrusal ve çapraz alan tesislerde oluşan rampaların mekânsal olarak değişkenlikleri Poisson süreci ile modellenmiştir (Ery ve ark., 2014).

Ekström ve arkadaşlarının çalışmasında, bir güç sistemindeki yeni RES'lerin rampaları da göz önüne alınarak coğrafi dağılımın enerji üretim oranları üzerindeki etkisini göstermek için model önerilmiştir (Ekström ve ark., 2018).

D'Amico ve arkadaşlarının çalışmasında, saatlik rampa hızı sınırlaması ve depolama cihazı kullanılarak rüzgâr santralinin maruz kaldığı ceza miktarını hesaplamının mümkün olduğu model önerilmiştir (D'Amico ve ark., 2021).

Zucatelli ve arkadaşlarının çalışmasında, Brezilya ve Uruguay'daki rüzgâr enerjisi rampa tahmin analizi için dalgacık ayrıştırması ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak model önerilmiştir (Zucatelli ve ark., 2021).

Poe ve arkadaşının çalışmasında, enerji santrali üretimlerindeki ısı oranlarını iyileştirmek, yanma optimizasyonu sağlamak, daha hızlı rampa oranı oluşturmak, yük değişikliklerine verimli ve güvenilir bir şekilde yanıt vermek için çok değişkenli dinamik kontrollü model önerilmiştir (Poe ve Mokhatab, 2008).

Martins ve arkadaşlarının çalışmasında, güneş enerji sistemindeki dalgalanmaların neden olduğu güç dengesizliklerini gidermek için rampa hızı kontrol algoritmaları tarafından koordine edilen Enerji Depolama Sistemleri (EDS)'nin kullanıldığı bir model önerilmiştir (Martins ve ark., 2019).

Probst çalışmasında, rüzgâr santralleri üretimlerinde meydana gelen ani değişimleri Tahmine Dayalı Azaltma (TDA) metodu kullanılarak tahmine dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Analizler belirli ancak değişken bir eğim sınırına uygun yapılmıştır. Eğimin

olmadığı sınırlarda ise TDA'nın maliyet-fayda ilişkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada önerilen yaklaşım ile çıkış gücü değişim dağılımlarının çalışan bir rüzgâr santralinden elde edilen gözlemsel verilerle tutarlı olduğu gösterilmiştir (Probst, 2020).

Huotari ve arkadaşlarının çalışmasında, bir yenilenebilir enerji santralindeki üretimde görülen rampa olaylarının yönünü belirlemek için, rampa hızının yükselmesi ve azalması karşısında sistemin nasıl davranacağını belirleyen model önerilmiştir. Önerilen model de güç rampa hızının durumuna göre gücü depolamak veya serbest bırakmak için EDS kullanılmıştır. Önerilen model, 6 MW'lık bir rüzgâr santralinin aktif güç zaman serisi kullanılarak simülasyonlarla doğrulanmıştır (Huotari ve ark., 2015).

Parra ve arkadaşlarının çalışmasında, Fotoelektrik ( PV) tesislerin sayısındaki önemli artış ile iletim sisteminde meydana gelen dalgalanmaları önlemek ve maksimum rampa oranlarına uyum sağlamak için çift kapasiteli bir batarya yerine en son teknolojiye sahip, EDS'nin boyutunu yarıya indirmeyi mümkün kılan iki yenilikçi yönetim stratejisi önerilmiştir. Moura'nın (Portekiz) 38,5 MW'lık PV enerji santralinde bir yıl boyunca her 5 saniyede bir alınan gerçek PV güç çıkışı verileriyle gerçekleştirilen deneylerle her iki stratejinin de genel geçerliliği doğrulanmıştır (Parra ve ark., 2015).

Wang ve arkadaşlarının çalışmasında, rüzgâr enerjisinde oluşan değişiklikler sebebiyle elektrik güç sistemindeki işletme zorluğu ve diğer kaynakların sisteme uyum hedeflerini sağlamak için rüzgâr enerji depolama sisteminde koordineli bir kontrol yöntemi kullanılarak şebeke kodunun rampa hız sınırını karşılaması önerilmiştir (Wang ve ark., 2015).

Parra ve arkadaşlarının çalışmasında, EDS'de PV güç dalgalanmalarını yumuşatmak ve belirli bir sürede oluşan maksimum dalgalanmayı bir saniye gibi kısa bir süre içinde değerlendiren yeni düzenlemelere uyumlu yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde 2 sorun ele alınmıştır. Dalgalanmaların düzenlenmesinde kullanılan rampa hız kontrolü, stratejilerden biri olmasına rağmen piyasada satılan çoğu aküde bulunmayan simetrik şarj-deşarj gücü özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Diğer sorun; gerçek PV gücünün ölçümü, PLC hesaplama süresi ve akü dönüştürücü tepki süresi arasındaki iletişim sistemindeki gecikmeler maksimum rampa hızı sınırına uyulmamasına neden olarak daha hızlı sistemlere olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Çalışma, İspanya'nın kuzeyindeki 1,18 MW'lık bir PV tesisinde 100 kW/56 kWh'lik bir lityum-iyon pile bağlı 122,4 kW'lık bir

PV dizisi bölümünden alınan 1 saniyelik deneysel verilerle sunulmakta ve doğrulanmaktadır (Parra İ. ve ark., 2018).

Unchugchun ve arkadaşının çalışmasında, sınırlı rampa oranlarından dolayı takip edilemeyen yenilenebilir enerji santrallerindeki güç dalgaları için pil kurulumu önerilmiştir. Önerilen pil kurulumda hızlı tepki vermesi nedeniyle Lityum İyon pili tercih edilmiştir. Çalışmada, sistemdeki rampa oranı ve yenilenebilir enerji üretimi göz önüne alındığında, üretim sisteminde en uygun pil boyutunu belirlemek için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem Tayland'ın güç talebi ile test edilmiş olup tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir (Unchugchun ve Audomvongseree, 2017).

Parra ve arkadaşlarının çalışmasında, PV tesislerinde bulut yoğunluğunun neden olduğu güç değişkenliği, güç kalitesi ve güvenilirliği gibi konuların iyileştirilmesi adına, aynı anda basit bir şarj kontrolü olan, klasik rampa oranına göre %30 daha az bozulma sağlayan, dinamik rampa hızı kontrolü olan bir EDS kullanarak dalgalanmaları yumuşatan yöntem önerilmiştir. Yeni tekniğin, Amareleja PV tesisinde (45,6 MWp, Portekiz) kaydedilen 5 saniyelik gerçek güç ölçümleriyle etkili bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir (Parra İ. ve ark., 2016).

Reindl ve arkadaşlarının çalışmasında, enerji üretim kapasitesindeki ani rampa oranlarının değişimleri ile oluşan güç kalitesi ve şebeke istikrarsızlığını engellemek için tahmin modeli önerilmiştir. Model, talep edilen tahmin sıklığı ve tahmin koridorundaki küçük sapmaların bile finansalların üzerinde gelir kayıplarına yol açabileceğini göstermiştir. Tahmin modeli Çin'in Henan eyaletindeki santralde kullanılarak değerlendirilmiştir (Reindl ve ark., 2017).

Schnabel ve arkadaşının çalışmasında, PV jeneratörlerdeki yüksek rampa oranlarının neden olduğu güç sistem kararsızlığı ve güç kalitesizliğini gidermek için EDS'nin dalgalanma kompensatörleri olarak kullanılması önerilmiştir. Çalışmada, Kuzey Avrupa iklim koşullarındaki PV güç dalgalanmalarının davranışı ve bunları telafi etmek için EDS'nin boyutlandırılması gerekliliği araştırılmış ve Güney Avrupa ikliminde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Gelişmiş bir enerji depolama şarj kontrol stratejisi geliştirilmiş ve test edilmiştir. Testler sonucunda geliştirilen yöntem daha önce sunulan yöntemlere kıyasla EDS için daha az performans gereksinimlerine yol açtığı görülmüştür (Schnabel ve Valkealaht, 2016).

Lappalainen ve arkadaşlarının çalışmasında, PV sistemlerde bulut yoğunluğunun neden olduğu güç dalgalanmalarının zararlarını önlemek amacıyla rampa oranlarını tahmin etmeye yönelik yöntem önerilmiştir. Yöntemin girdisinde minimum PV sistem boyutu, nokta ışınımı ve bulut gölge hızı ölçümleri kullanılmıştır. Bulut gölgeleme olayları sırasındaki ışımadaki en büyük rampa oranları ve güç arasındaki ilişki, ışımaya ölçümlerine dayalı olarak incelenmiştir. Önerilen yöntemde iki PV sistemin 57 günlük ölçülen verileri kullanılarak doğrulanmıştır (Lappalainen ve ark., 2020).

Pourmousavi ve arkadaşının çalışmasında, PV üretimindeki mekânsal ve zamansal değişkenliğin oluşturduğu zorluklara çözüm olarak depolama teknolojileri önerilmiştir. Çalışmada, 600 kW/760 kWh Li-Polimer pil sistemine sahip 3,275 MWp'lik bir PV santralinden bir yıllık rampa olayları sırasındaki enerji ve güç gibi deneysel veriler farklı açılardan değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu tür uygulamalar için basit bir süper kapasitör boyutlandırma çalışması yapılmıştır. Önerilen analizlerden elde edilen sonuçlar ile pil boyutu çalışmasıyla ilgili gelecekteki araştırmalara yardımcı olacağı düşünülmüştür (Pourmousavi ve Saha, 2018).

Moiseeva ve arkadaşlarının çalışmasında, rüzgâr enerjisi üretimindeki yüksek hıza sahip rampa oranlarının belirsiz davranışını rampa hızları ile modellenmiştir. Modelde aşırı Nash dengesi kavramı tanımlanmış ve formüle edilmiştir (Moiseeva ve ark., 2015).

Abuella ve arkadaşının çalışmasında, PV ve rüzgâr enerji santrallerindeki üretim düzenlemelerinin oluşturduğu işletme zorluklarını azaltmak için rampa olayları tahmin yöntemi önerilmiştir. Yöntem de rampa olaylarını yakalamak için güneş enerjisinin saat öncesi birleşik tahmin yeteneğini geliştirilmiştir. Performans değerlendirmesi birkaç değerlendirme metriği ile gerçekleştirilmiştir (Abuella ve Chowdhury, 2018).

Song ve arkadaşlarının çalışmasında, RES üretiminde oluşan rampa oranlarının sebep olduğu sistemdeki dalgalanmayı önlemek için sistemin güvenilirliğini ve istikrarlı çalışmasını sağlayacak görüntü analizine dayalı gün öncesi rampa olayları tahmin yöntemi önerilmiştir. Yöntemde geçmiş rüzgâr hızını önceden işlemek için olay tabanlı K-ortalama kümelemesi kullanılmıştır. Çalışma, Çin'in Hebei kentindeki rüzgâr santralinde Tipik Olay Kümelemesi Tanılama (TOKT) kullanılarak rampa olayı tahmininin etkinliğini ve doğruluğunu ispatlamıştır (Song ve ark., 2020).

Çavdar ve arkadaşlarının çalışmasında, mevcut elektrik şebekesindeki PV santral ile geleneksel senkron jeneratörlü santralin üretimlerinde meydana gelen farklı rampa

oranları kıyaslanarak güç sistemi kararlılık analizi uygulanmıştır. Çalışmada DigSlient Powerfactory programları kullanılarak karşılaştırma 4 farklı şekilde yapılmıştır. Karşılaştırmada 3-faz kısa devre arızası meydana getirilerek rotor açısı, frekans ve gerilim kararlılığı analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, geleneksel güç sistemlerine entegre edilen PV santrallerin olumlu ve olumsuz etkileri farklı uygulamalar yapılarak analiz edilmiştir (Çavdar ve ark., 2021).

Mukherjee ve arkadaşlarının çalışmasında, 2020'de yenilenebilir enerji ihtiyacını karşılamak için rüzgâr enerjisi sistemindeki değişken üretimin neden olduğu rampa oranı limitlerinin ayarlanabilmesi için yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem rampa etkilerini kategorilere ayırarak saatlik en iyi veya en kötü güç değişiklikleri belirlemek için istatistiksel analiz yapılmıştır (Mukherjee ve ark., 2011).

Couto ve arkadaşlarının çalışmasında, Portekiz'deki rüzgâr enerji santralinde meydana gelen rampa olayları ile Sayısal Hava Tahminleri (SHT) arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Analizler, bazı SHT 'ler ile rüzgâr enerjisi üretim rampaları arasında güçlü ilişki olduğunu ve rampaları tetiklemeye eğilimli SHT 'lerin tanımlanmasını kolaylaştırdığını göstermiştir (Couto A. ve ark., 2015).

Ramasubramanian çalışmasında, enerji üretimindeki rampa olaylarının sebep olduğu şebeke frekans düşmesine engel olmak için yeni evirici kontrol şemaları kullanılsa da rampa oranlarında sınırlama olduğu ve buna çözüm olarak kaynak türleri arasında rampa değeri değişse de güç şebekesinde frekans yanıtı sırasında rampa oranının dikkate alınması gerektiğine değinilmiştir (Ramasubramanian, 2021).

Parra ve arkadaşlarının çalışmasında, PV güç rampa oranı kontrolü için, enerji depolama ihtiyacını en aza indirmenin bir yolu olan eviricileri maximum güç noktasından ayıran hız sınırlayıcıları ile depolama sistemi kullanımında evirici sınırlama kayıplarının olmadığı önerileri birleştirilerek bir model önerilmiştir. Model ile depolama sisteminde düşük rampa oranları korunmuş ve evirici sınırlama kayıpları %75 oranında azaltılmıştır (Parra İ. ve ark., 2016).

Li ve arkadaşlarının çalışmasında, rüzgâr enerjisi üretiminde meydana gelen rampa olayları ile SHT 'lerin arasındaki ilişki analiz edilerek gelecekteki rüzgâr rampalarını tahmin eden model önerilmiştir. Tahmin modelinde atmosferik basınç alanlarının analizini, Gabor filtreleme adı verilen bir görüntü dokusu çıkarma tekniği kullanılarak yapılmıştır. Güç tahmininde, Gabor filtrelemeyi kullanmayan sistem ile tahmin modeli karşılaştırıldığında

önerilen model bu çalışma için seçilen üç rüzgâr santrallerinden ikisi için daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca sayısal deneyler sonucunda önerilen modelin rampa yakalama oranı ve tahmin doğruluğu açısından diğer modelden daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür ( Li ve ark., 2017).

Karadöl ve arkadaşının çalışmasında, Türkiye Nehir tipi Hidroelektrik Santral (NHES) üretimlerinin değişim yönü, büyüklüğü, zamanı ve frekansını öngörebilmek için üretim dengesizliğinden kaynaklanan rampa olayları incelenmiştir. Modelde Türkiye’de kurulu 483 adet NHES ’in 2017 ve 2018 yıllarındaki gerçek üretimlerindeki aylık rampa olaylarını araştırmak için Matlab programı kullanılmıştır. Model analizinde 1 saatlik zamanda NHES üretim rampaları değerlendirilmiş ve maksimum-minimum rampa olaylarının aylık periyotlarda ön görülemeyeceği görülmüştür. Ayrıca eş zaman diliminde bulunan rampaların ortalamaları ve standart sapmaları incelendiğinde en çok rampa olaylarının kış aylarında gerçekleştiği görülmüştür (Karadöl ve Şekkeli, 2021).

Karadöl ve arkadaşlarının çalışmasında, RES üretimlerinde iklimsel koşullara bağlı olarak görülen rampa olayları analiz edilmiştir ve bölgesel olarak ayrılan mevcut tesislerdeki rampa olayları dikkate alınarak rampa olaylarını azaltmaya yönelik model önerilmiştir. Önerilen modelde Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Yeni tesis kurulumlarında tavsiye edilen metot ile elde edilen tesislerin bölgelere dağılımının dikkate alınması durumunda oluşacak rampa olaylarının minimize edilebileceği öngörülmüştür (Karadöl ve ark., 2020).

Asensio ve arkadaşlarının çalışmasında, PV enerji santralinde hem Enerji Santrali Kontrolörü (ESK) hem de Enerji Yönetim Sistemi (EYS) olarak çalışan yöntem önerilmiştir. Modelin kullanıldığı tesiste Pil Enerji Depolama Sistemi (PEDS) ve Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS) bulunmaktadır. Model de kullanılan yöntemler ile enerji tesisindeki üretimde oluşan rampa oranı algoritmaları da yapılmıştır (Asensio ve ark., 2017).

Probst ve arkadaşının çalışmasında, bir rüzgâr santralinin üretiminde oluşan rampa olaylarını şebekeye etkisini tahmin etmeye dayanan TDA yaklaşımı önerilmiştir. TDA; şebekedeki düşük rampa oranlarının etkisini azaltmaya, sistem operatörleri tarafından çok düşük bir enerji maliyeti ve mütevazı ek ön yatırımlarla uygulanan rampa limitlerine uyum sağlamaya yönelik tasarlanmıştır (Probst ve Minchala, 2021).

Andrade ve arkadaşının çalışmasında, güneş enerjisi jenerasyonunu artırmak için güç artış oranını kontrol edilmesine yönelik yeni kontrol stratejisi önerilmiştir. Önerilen modelde Puerto Rico, Ponce’de bulunan Coto Laurel PV enerji santralinden elde edilen 1

yıllık gerçek güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler ile en yaygın güç rampa oranı kontrol yöntemlerinden bazılarıyla bir karşılaştırma yapılmıştır. Güç artış hızı kontrol yöntemleri, diğer göstergelerin yanı sıra güç artış oranı dalgalanmaları, güç artış oranı ihlalleri, şarj durumundaki dalgalanmalar dikkate alınarak Opal-RT Technologies'den OP5700 kullanılarak gerçek zamanlı simülasyonlarda karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile tahmine dayalı dinamik modelin, diğer güç artış hızı kontrol yöntemlerine kıyasla önemli ölçüde depolama maliyetini azalttığı ve lityum piller için daha yüksek bir kullanım ömrü beklentisi sağladığını göstermiştir (Andrade ve Plaza, 2021).

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde rampa olayları üzerine yapılan çalışmaların kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Çalışmaların çoğunda enerji depolama sistemleri ve rampa tahmin modelleri önerilmiştir. Rampa analizi yapılan bazı çalışmalarda ise 1 yıllık santral üretim değerleri ile tek bir lokasyonda saatlik incelemeler yapılmıştır. Ayrıca yapılan birçok çalışmada kullanılan veriler farklı üretim modellerinden elde edilmiştir.

## **1.2. Tezin Kapsamı**

Bu çalışmada rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin şebekede oluşturacağı dengesizliği önlemek amacıyla rampa analizi yapılmıştır. 2019-2020 ve 2021 yıllarındaki gerçek güç üretim değerleri TEİAŞ'tan alınmıştır. Bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda RES üretimlerindeki rampa olayları 2019-2020 ve 2021 yılları göz önüne alınarak bölgesel olarak incelenmiştir. Çalışmada elde edilen kümülatif rampa alanlarına göre bölgeler arası karşılaştırma yapılmıştır.

## **1.3. Literatüre Katkı**

Çalışmanın literatüre katkısı iki yönlü olmuştur:

- 1) İlk kez Türkiye için RES üretim değerlerindeki rampa olayları gerçek veriler ile bölgesel olarak incelenmiştir.
- 2) Üç yıllık periyottaki (2019,2020 ve 2021) RES üretimlerindeki rampa olayları farklı zamansal periyotlarda (bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik) bölgesel olarak hesaplanmıştır. Rampaların büyüklüğü, yönü ve oluşum yeri gibi özellikleri farklı zamansal periyotlarda detaylı olarak incelenmiştir.

#### **1.4. Tezin Yapısı**

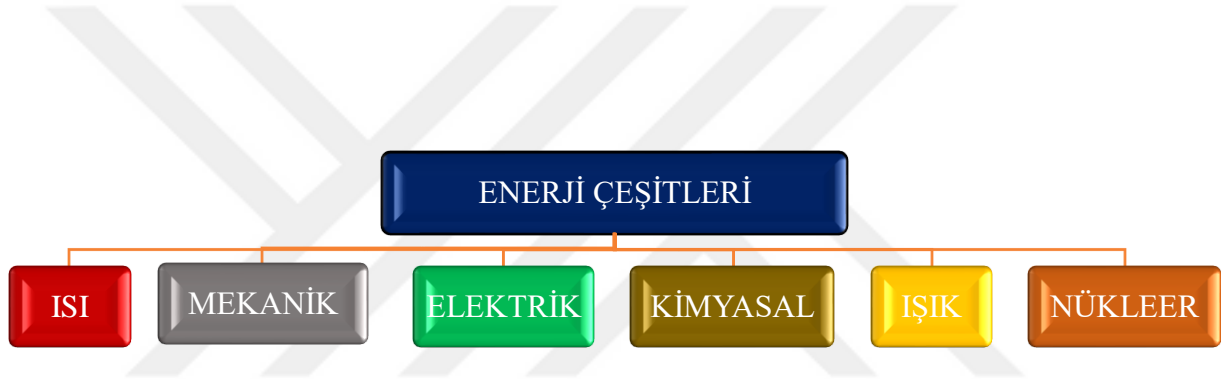
Bu tez altı bölümden oluşmaktadır. Konuyla ilgili genel bilgilerden oluşan birinci bölümde, literatürün kısa bir özetine ve çalışmanın literatüre katkısına yer verilmiştir. İkinci kısımda enerji kaynakları ve rüzgâr enerjisinin önemine değinilmiştir. Üçüncü bölümde rüzgâr enerjisinin önemi, yapısı ve rüzgârdan elektrik enerjisi elde edilmesinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan veriler tanıtılmıştır. Beşinci bölümde çalışma sonunda elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Bulgular göz önünü alındığında varılan sonuçlar son bölümde yer almaktadır.



## 2. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji; Fizik bilim dalında dolaysız bir şekilde gözlem yapılamayan ancak dolaylı yoldan gözlem yapılabilen, sayılabilen ya da ölçülebilen özellik olarak tanımlanmaktadır. Bir fiziksel düzeneğin başka bir fiziksel düzeneğin üzerinde iş yapabilme kabiliyetidir (Web 1).

Enerji, 1650 yıllarında Yunancada "energeia" olarak adlandırılmış ve 1660'lı yılların ilk çeyreğinde ise İngiliz dilinde güç terimini de içeren nicel bir özellik olarak değerlendirilmiştir. Enerjinin bazı biçimleri vardır. Bunlar; kinetik, elektrik, potansiyel, ısı, ışık, elektromanyetik, ses ve yer çekimi enerji formlarıdır. Şekil 2.1'de enerji çeşitleri verilmiştir (Niele, 2005 ; Kayri, 2017).



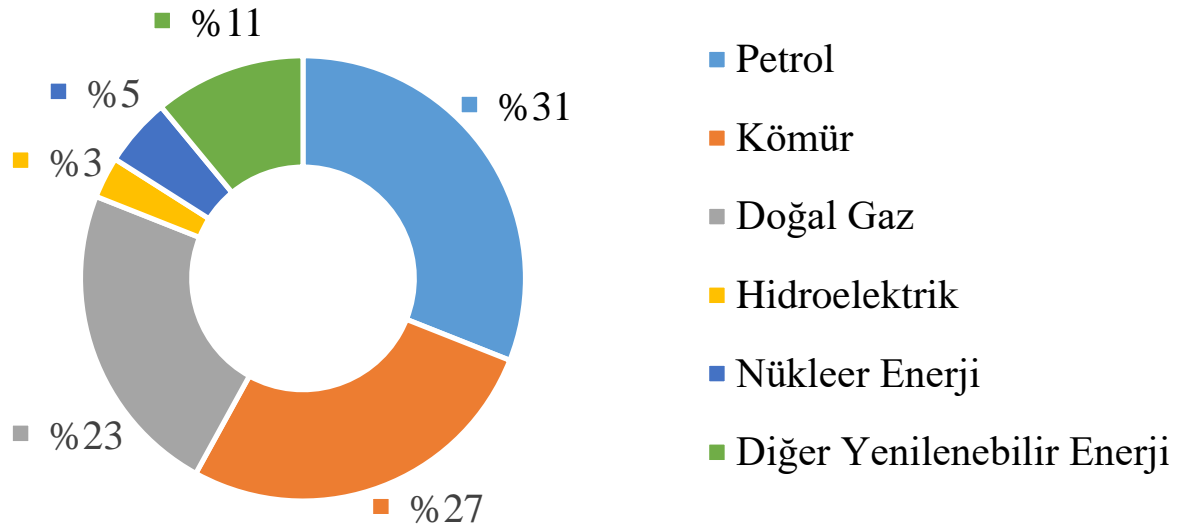
Şekil 2.1. Enerji çeşitleri

Termodinamiğin ilk yasasında bahsedildiği üzere yalıtılmış bir alanda kaybolan bir enerji olmamakta, fakat enerji türleri arasında dönüşümler meydana gelmektedir. Tabii ve oluşturulmuş enerjiler arasında biçim değiştirme imkânı vardır. Enerji sayıl bir ifadedir ve Uluslararası Birim Sistemi (UBS)'da birimi Joule (J) olarak tanımlanmaktadır (Kayri, 2017).

Nüfus hızı ve sanayileşmedeki artış dünya çapında enerjiye duyulan gereksinimi de artırmaktadır. 1970'lerde Türkiye ve dünya çapında başlayan petrol bunalımı nedeniyle enerji kaynaklarının ne denli önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Yaşanan bunalımla birlikte tüm dünya ülkeleri enerji kaynak türlerini artırmak ve daha verimli hale getirmek için önemli çalışmalar ortaya koymuştur. Enerji kaynaklarındaki alternatifler üzerine yapılan çalışmalar 2000'lerde daha da artmıştır (Gök ve ark. 2019).

Birincil enerji kaynakları, günümüz enerji tüketiminde en büyük yüzdeye sahiptir. 2018'te alınan veriler ışığında, dünya ölçeğinde toplamda harcanan birincil enerji kaynağı

14314,0 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol)'tir ve enerji harcamasının kaynaklar bazında payları Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.2'deki grafik incelendiğinde birincil enerji kaynakları içerisinde en yüksek yüzdeye sahip olan kaynaklar sıralı bir şekilde; petrol (%31), kömür (%27), doğal gaz (%23), hidroelektrik enerji (%3), nükleer enerji (%5) ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları (%11) olduğu görülmektedir. Burada, diğer yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji dikkate alınmıştır (Yılmaz, 2016).



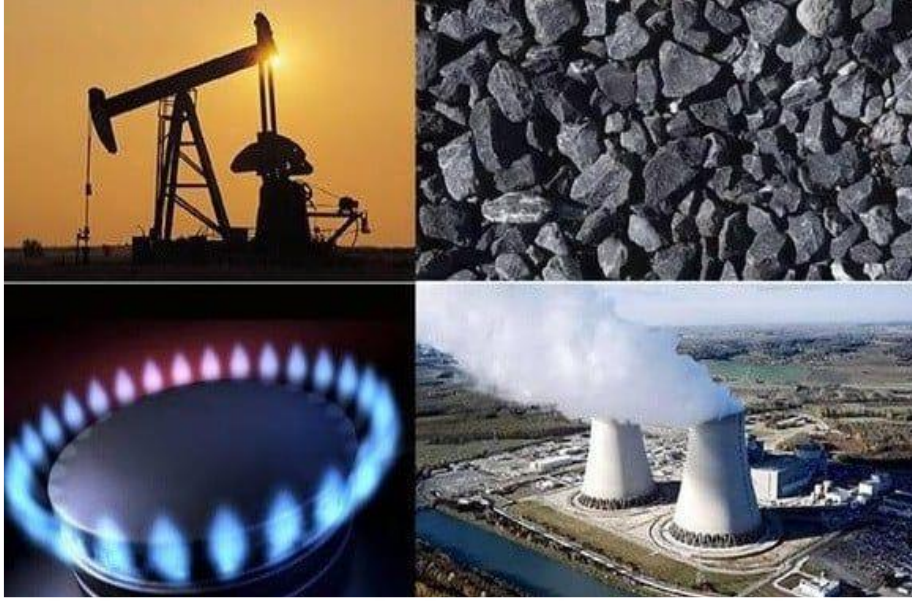
Şekil 2.2. Dünya birincil enerji tüketim oranları

Enerji kaynakları kullanımına göre 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar Yenilenebilir ve Yenilenemez enerji kaynaklarıdır.

## 2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji; geri dönüştürülemeyen, üretilemeyen veya tüketici talebini karşılamaya yetecek miktarda yeniden kullanılmayan doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir. Yenilenemeyen enerjinin enerji verimliliği, tüketim ihtiyaçlarını karşılayamaz ve doğada sınırlı sayıda bulunan kaynaklardır (Koç ve Kaya, 2015).

Yenilenemez enerji kaynakları iki ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar fosil yakıtlar ve nükleer enerjidir. Yenilenemez enerji kaynakları için bazı örnekler Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Yenilenemez enerji kaynakları (Web 2)

Fosil yakıtların temel yapısında bir karbon atomu (C) vardır. Bu enerji kaynakları genellikle doğal gaz, petrol ve kömür dâhil olmak üzere canlı kalıntılardan meydana gelmektedir. Kalorifer yakıtı ve ısınma gibi ihtiyaçlar için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılmakla birlikte çevreye verdiği zarar nedeniyle kullanımına izin verilmemektedir (Çetin, 2022 ; Web 3).

Nükleer enerji, maddenin en küçük yapı taşı olan çekirdekte oluşmaktadır. Nükleer enerji sanayi, sağlık, tarım, araştırma ve geliştirme gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Web 4).

Yenilenemeyen enerji kaynakları, miktar olarak sınırlıdır ve dünyanın belirli bölgelerinde dağınık halde bulunmaktadır. Bu kaynakların oluşabilmesi için toprağın belirli jeolojik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bünyesinde bulunan kükürt (S), karbon (C) ve azot (N) atomları nedeniyle kullanımı sırasında çevreye zarar vermektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarına göre hacim ve enerji potansiyeli açısından daha dengeli bir yapıya sahiptir (İnan ve ark., 2018).

Dünya nüfusu artmaya devam ederken ve sanayileşme geliştikçe enerjiye olan talep gün geçtikçe artış göstermektedir. Öte yandan, enerji ihtiyacının çoğunu karşılayan fosil yakıt rezervleri de hızla azalmaktadır. Fosil enerji rezervlerinin büyük ölçüde azalması ve enerji talebini karşılayamaması ön görülmektedir (Görez ve Alkan, 2005).

Fosil yakıtların kullanımı; atmosferde sera gazlarının oluşmasına, ortalama sıcaklık değerlerinin artmasına ve doğal afetlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu eksiklikler dikkate

alınarak, yenilenemeyen enerji tüketiminin olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Ayrıca çevreye ve iklime duyarlı alternatif enerji kaynakları geliştirilmektedir (Erdoğan, 2020).

## **2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, sürekli olarak kendini yenileyebilen doğal kaynaklardan oluşan bir enerji türüdür. Yenilenebilir enerjinin diğer enerji kaynaklarından en önemli farkı doğal olarak kendini yenileyebilmesi ve kullanım sırasında tükenmeyecek olmasıdır. Yenilenebilir enerji; birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin kendi enerji ihtiyaçlarını karşılama ve enerji piyasasında söz sahibi olma, dışa bağımlılığı azaltma, kaynak çeşitlendirmesi ile sürdürülebilir enerji sağlama ve çevreye verilen zararı en aza indirme konusunda büyük avantajlara sahiptir (Bekar, 2020).

Yenilenebilir enerjinin üretim ve tüketim oranı; bu alandaki yatırımlar, Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları ve teknolojik gelişmeler nedeniyle enerji piyasasında fosil yakıtlara göre önem kazanmaktadır.

Nisan 2016'da imzalanan Paris Anlaşması ile birçok ülke fosil yakıt kullanımını azaltmayı kabul etmiştir. Anlaşma sonucunda fosil yakıt kullanımının kademeli olarak azaltılmasına karar verilmiştir ve bu çerçevede ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kullanımına yönelik teşvikleri artırmaya çalışmaktadır. (Antonanzas ve ark., 2016).

Fosil kökenli yakıtların alternatifi olarak düşünülen ve dünya da yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisidir.

### **2.1.1. Hidrolik enerji**

Hidrolik enerji, suyun akışından ve düşme hızından elde edilen bir enerji türüdür. Su enerjisinin elektriğe dönüştürülmesiyle elde edilmektedir.

Hidrolik enerjinin en yaygın kullanım alanı; nehirler üzerine barajların inşa edilmesi, havuzlarda su depolanması ve su türbinleri yardımıyla elektrik üretmek için depolanan suyun kinetik enerjisinin kullanılmasıdır. Bunun için Hidroelektrik santral (HES) kullanılmaktadır ve Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Hidroelektrik santral (Süme ve Fırat, 2020)

Hidrolik enerji yağış rejimine bağlı olarak ürettiği elektrik enerjisi ile yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyan birçok işletmenin enerjisini karşılamaktadır. Hidrolik enerjide suyun akış ve düşüş hızına bağlı olarak değişen bir enerji ortaya çıkmaktadır. Potansiyel enerjisi fazla olan sudan daha büyük enerji elde edilmektedir. Bu potansiyeli yüksek olan suyun taşınması cebri borular yardımı ile yapılarak türbinlere verilmektedir. Türbinlerin dönmesiyle jeneratörlerin çıkışında elektrik enerjisi oluşur ve bu enerji transformatörler ile yükseltilerek uzak mesafelere taşınması gerçekleştirilmektedir (Perakende, 2022).

Hidrolik enerji, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha ucuz olması nedeniyle dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ancak hidroelektrik enerji üretiminde ülkelerin coğrafi konumu çok önemlidir, özellikle engebeli ve sulak alanlarda bulunan ülkeler bu enerji türünün potansiyeli açısından avantaja sahiptir. Hidrolik enerji ülkemizde önemli bir üretim kapasitesine sahiptir (Karadöl ve Kavaz, 2017).

### 2.1.2. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji; sıcak su, buhar, gaz ve sıcak kuru kayaçların basınç altında oluşturduğu, yer kabuğunun belirli elementlerinde yoğunlaşan, doğal ısı ile ısınan ve yer kabuğunun oluşturduğu hidrotermal kütleden meydana gelen termal bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji santrali görseli Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Jeotermal enerji santrali (Web 5)

Kaynağı termal enerji olan jeotermal enerji; türbin boyutunun küçüklüğü ve maliyetinin düşük olması, yüksek basınçta çalışabilmesi, hava sızması gibi sorunların görülmemesi, çevreye zarar vermemesi, enerji güvenliğine katkısı vb. birçok avantaja sahiptir. Jeotermal enerjinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır. Bazı dezavantajları; kullanımı esnasında yer altından çıkan bor madeninin akışkanlarda paslanma ve çürümelere sebep olması, buharın yapısında bulunan karbondioksit ve hidrojen sülfür gazlarının ise çevreye verdiği zararlar örnek olarak gösterilebilmektedir (Çoşkun, 2020).

Jeotermal enerji sahip olduğu birçok avantaj nedeniyle elektrik üretimi, ısınma ve sağlık amaçlı termal turizmde kullanımı mevcuttur. Jeotermal kaynaklardan elektrik elde edilebilmesi için ısı ve buhara ihtiyaç duyulmaktadır. Kuyularda oluşturulan akışkan su ve buhara ayrıştırılarak türbinlere aktarılmaktadır. Türbinlerin dönme hareketi sonucu jeneratörlerin çıkışında üretilen elektrik enerjisi transformatörler yardımı ile yükseltilerek uzak mesafelere taşınmaktadır (Aydem Perakende, 2022).

Jeotermal enerjinin rüzgâr ve güneş gibi hava koşullarına dayanan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre en önemli avantajı, iklim koşullarından etkilenmemesidir. Bu nedenlerle jeotermal enerji, çeşitli ülkeler tarafından değer verilen ve teşvik edilen yenilenebilir bir enerjidir (Erkul, 2012).

Birçok ülke coğrafi yapısına göre jeotermal enerjiden yoğun bir şekilde faydalanmaktadır. Dünya’da ve Türkiye’de jeotermal enerji üretimi kurulu gücünün son yıllarda hızla arttığı görülmektedir (Zaim ve Çavşi, 2018).

### 2.1.3. Biyokütle enerji

Biyokütle enerjisi, yapısında karbonhidrat bulunan bitki ve hayvan kaynaklı maddelerden elde edilen enerjidir. Henüz fosilleşmemiş canlıların kalıntılarında elde edilmektedir.

Günümüzde biyokütle enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. Yakıtlar alanında; biyokütle enerjisinden etanol, biyodizel ve biyogaz gibi yakıtlar elde edilmektedir. Bietanol ve biyodizel, çeşitli bitkisel veya hayvansal yağlar kullanılarak elde edilen bir yakıt türüdür. Biyogaz ise ağırlıklı olarak organik maddenin (yani bitki-hayvan ve kentsel-endüstriyel atıkların) oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen metan ve karbondioksit gazlarından oluşmaktadır. Ayrıca biyokütle enerjisi ısıtma, enerji, ulaşım ve daha birçok alanda da kullanılmaktadır (Işık ve Yavuz, 2022). Biyoenerji santrali görseli Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Biyoenerji santrali (Taşkın, 2019)

Biyokütleden elektrik elde edilmesinde 2 farklı yöntem mevcuttur. Bunlardan ilki organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak parçalanması ile oluşan gazların, gaz temizleme ünitelerinden geçerek türbinleri döndürmesi sonucunda elektrik enerji üretimi gerçekleşmektedir. Diğer bir yöntem ise biyokütlenin oksijensiz ortamda uygun sıcaklık ve zamanda bekletilmesi ile fermantasyon işleminin gerçekleşmesidir. Fermantasyon sonucunda ortaya çıkan metan ve karbondioksit gazından oluşan biyogaz gaz temizleme ünitelerinden geçerek içten yanmalı motorlara aktarılmaktadır. Motorun dönme hareketi sonucunda elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmektedir (Mutlu ve ark., 2019).

Son zamanlarda, bazı ülkeler enerji ihtiyaçlarını ve çevresel hedeflerini karşılamak için biyoenerji üretimi arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Ancak yakın vadede biyoenerji sektörü, mevcut piyasadaki düşük petrol fiyatları ve politika belirsizlikleri nedeniyle bazı zorluklarla karşılaşmaktadır.

Küresel biyokütle enerji üretimi dikkate alındığında, yenilenebilir enerji üretimindeki payı giderek artmaktadır. Türkiye son dönemde organik atık, biyokütle ve biyogaz enerji üretimine yönelik kamu ve özel sektör yatırımlarını artırmasına rağmen, dünyada yaygın olarak kullanılan ve ülkemizde de büyük potansiyele sahip olan biyokütle kaynakları yeterince değerlendirilememektedir (Koç ve Kaya, 2015).

#### **2.1.4. Güneş enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşten elde edilen enerjidir ve güneş sistemindeki tüm gezegenlerin enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, dünyadaki en yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Son zamanlarda sahaya yapılan yatırımların artması ve teknolojinin daha düşük maliyetli olması ile daha yaygın hale gelmektedir. Ülkelerin yenilenebilir enerjide güneş enerjisine büyük önem verdiği görülmektedir.

Güneş enerjisi elektrik ve ısı üretmek için kullanılmaktadır. Güneş ışınları aracılığıyla dünyamıza giren bu enerjiden faydalanmak için güneş enerjisi kolektörleri, güneş enerji santralleri ve PV hücreler gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde güneş enerjisi doğrudan ısı olarak veya elektriğe dönüştürülerek dolaylı olarak kullanılabilir. Güneş enerji santrali görseli Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Güneş enerji santrali (Akbiyık, 2017)

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılan PV panellerinde güneş pilleri doğrudan güneş enerjisini alarak elektrik üretmektedir. Üretilen elektrik enerjisi panel sayısı artırılarak yüksek enerji üretimi sağlanmaktadır. Güneş panellerinin çıkışındaki doğru akım (DA) eviriciler ile alternatif akıma (AA) dönüştürülmektedir. Dönüştürülen AA transformatörler yardımı ile yükseltilerek şebekeye aktarılmaktadır.

İspanya'nın toplam yoğunlaştırılmış güneş enerji kapasitesi dünyada ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'de son on yıldaki güneş enerji kapasitesi analizi yapıldığında, son yıllarda güneş enerjisi kurulu gücünün artmaya başladığını görülmektedir. Coğrafi konumu nedeniyle Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli, İspanya dışında herhangi bir Avrupa ülkesinden daha yüksektir. Ancak güneş enerjisi elektrik üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle genelde sıcak su ısıtma sistemlerinde (güneş panelleri) yaygın olarak kullanılmaktadır (Koçaslan, 2020).

Güneş enerjisinden daha fazla faydalanmak için dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

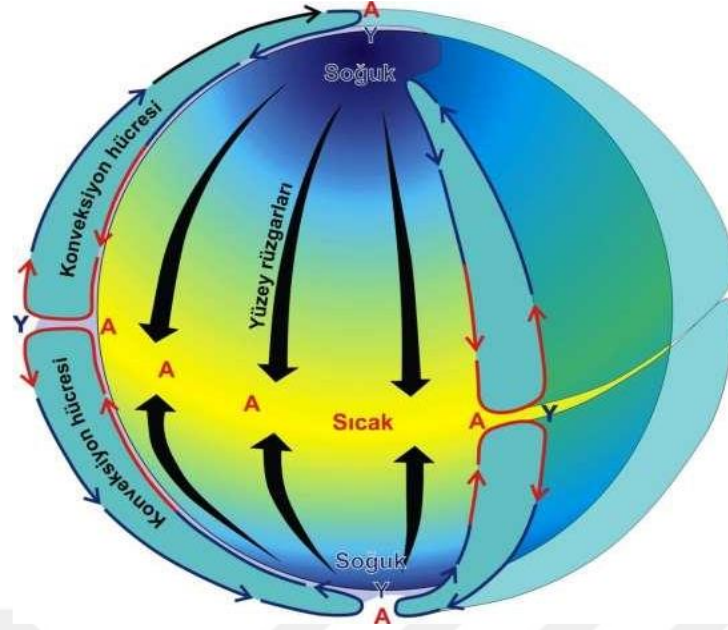
Yakın gelecekte PV enerji Dünya ve Türkiye çapında; güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim faaliyetlerinin güneş pili üretim maliyetindeki düşüş ve teşviklerin katkısıyla artması beklenmektedir (Karadöl ve Kavaz, 2017).

### **2.1.5. Rüzgâr enerjisi**

Bütün yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, güneşten kaynaklanmaktadır. Güneş ışınları, çeşitli güçlere sahip enerjiden meydana gelmektedir ve yüksek enerjili olanları termosferden geçmemektedir.

Termosferden geçen düşük enerjili güneş ışınlarının bir kısmı bulutlar aracılığıyla engellenmekte, diğer kısmı ise yeryüzüne düşmektedir. Yeryüzüne düşen ışınların bir kısmı soğurulmakta diğer kısmı ise geri yansımaktadır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının %2'si rüzgâr enerjisine ve kalan kısmı ise biyokütle enerjisine dönüşmektedir (Ceylan, 2016).

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonu ile zeminin diferansiyel ısınmasından kaynaklanmaktadır. Okyanus ve havanın diferansiyel ısınmasının yarattığı basınç farkı, havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru akan havanın bu hareketi rüzgâr olarak bilinmektedir (Koç ve Kaya, 2015).

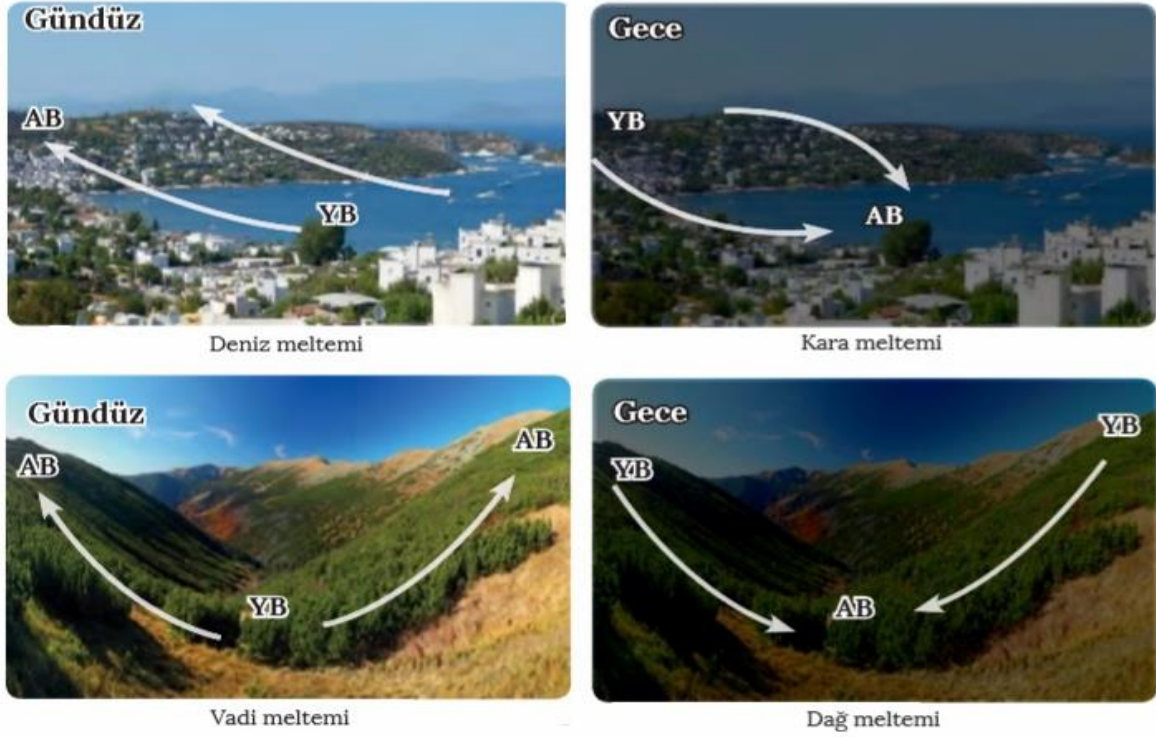


Şekil 2.8. Küresel rüzgâr hareketi (Tatlı)

Coriolus kuvveti olarak tanımlanan dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle oluşan kuvvet, ısınmış havayı hareket ettirerek rüzgârı oluşturmaktadır. Küresel rüzgâr hareketleri Şekil 2.8’de verilmiştir. Ekvatorda ısınan havanın alçak basınç oluşturarak 10 km yükselmesiyle kutuplara doğru ilerlemektedir. Aynı zamanda kutuplarda soğuyan hava alçalarak yüksek basınç oluşturmaktadır ve yüksek basınçtan alçak basınç alanlarına doğru hava akımı gerçekleşmektedir. Oluşan Coriolus kuvveti ve basınçlardaki farklılıklar sebebiyle küresel rüzgârlar meydana gelmektedir. Yeryüzünden 100 m yüksekliğe kadar gerçekleşen ve yeryüzü şekillerine göre değişen rüzgârlar ise yüzev rüzgârları (meltem) olarak tanımlanmaktadır. RES’ler 100 m yüksekliğin altında kurulduğu için meltem rüzgârları daha fazla önem arz etmektedir (Ceylan, 2016).

Bu rüzgârlar deniz ve vadi meltemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yeryüzüne gündüz aynı oranda güneş ışını düşmesine rağmen kara denize oranla daha fazla ısınmakta ve hava karada yükselerek alçak basınç alanı oluşturmaktadır. Oluşan basınç farklılıkları sebebiyle gündüz vaktinde denizden karaya hava akımı gerçekleşmektedir. Gece vaktinde ise kara denize göre daha hızlı soğumakta ve yüksek basınç alanı oluşturmaktadır. Yüksek basınç alanına sahip karadan alçak basınç alanına sahip denize doğru hava hareketi gerçekleşmektedir. Bu gerçekleşen hava hareketleri deniz meltemleri olarak adlandırılmaktadır. Diğer meltem çeşidi olan vadi meltemi ise vadi yamaçlarının gündüz vaktinde daha fazla ısınmasıyla alçak basınç alanı oluşturmakta ve tepelere doğru hava hareketi gerçekleşmektedir. Gece vaktinde ise yamaçlardaki hava daha çabuk soğuyarak

yüksek basınç alanları oluşturmakta ve yamaçlardan aşağıya doğru hava hareketi gerçekleşmektedir (Ceylan, 2016). Şekil 2.9’da meltem rüzgârlarının oluşum çeşitleri verilmiştir.



Şekil 2.9. Meltem rüzgârları oluşum çeşitleri (Web 6)

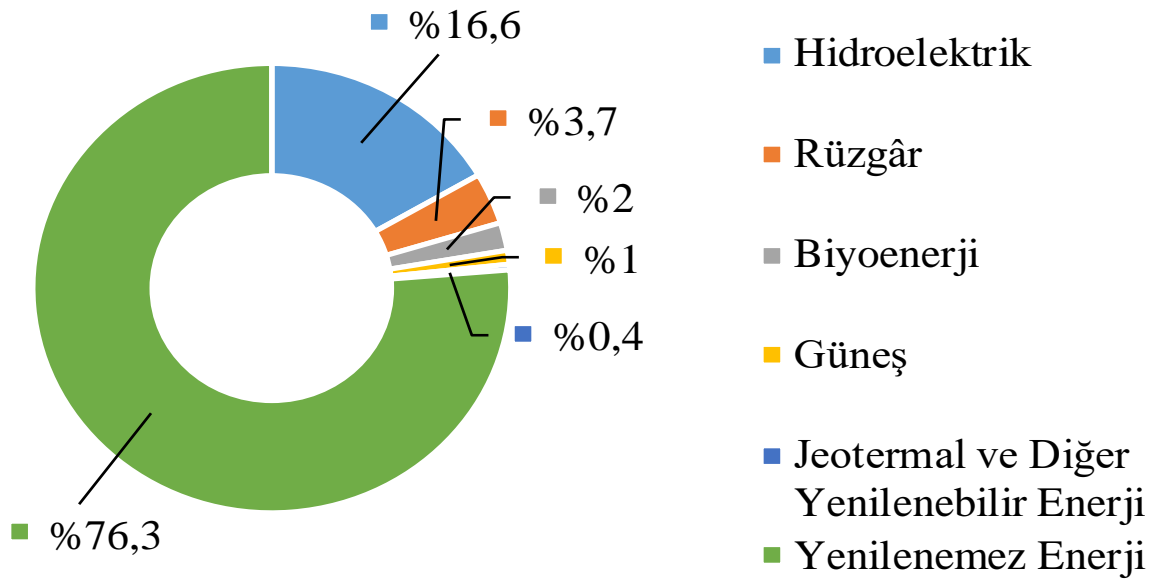
Rüzgâr enerjisinden mekanik enerji veya elektrik enerjisi üretmek amacıyla yararlanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elde edilen mekanik enerji sulama amacıyla kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretmek için de RES’lerden yararlanılmaktadır. RES görseli Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. Rüzgâr enerji santrali (Web 7)

Elektrik üretiminde rüzgâr enerjisi kullanım oranları giderek artmaktadır. Ulusal Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre 2050 yılına gelindiğinde dünya üzerinde kullanılan elektriğin yüzde 18’lik kısmının rüzgâr enerjisi tarafından sağlanacağı tahmin edilmektedir. Bu öngörüye ulaşmak için hâlihazırdaki toplam kapasite sekiz ila on kat artırılmalı ve bu alandaki yatırımlara hız verilmelidir. Kısacası birçok ülke rüzgâr enerjisini uygun ve düşük maliyetli bir enerji kaynağına dönüştürmek adına uğraş vermektedir. Dünya’da ve Türkiye’de mevcut potansiyelin %10’unun bile faaliyete geçirilemediği göz önüne alınacak olursa rüzgâr enerjisi potansiyelinden yeterince yararlanılmadığı görülmektedir (Koç ve Kaya, 2015).

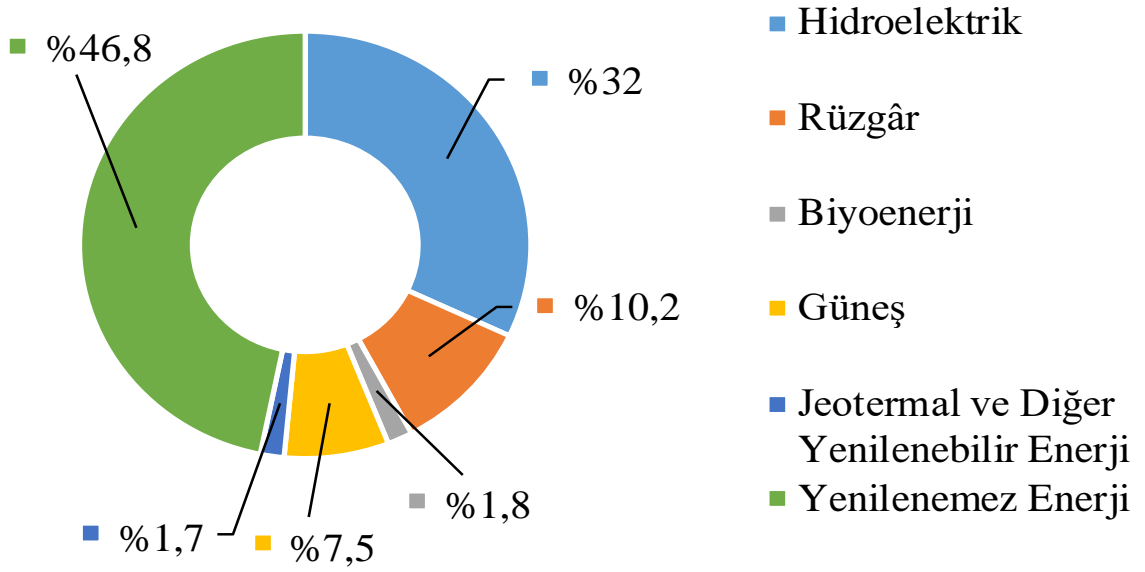
Enerji talebinin karşılanmasında en önemli kaynaklardan biri yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisidir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki toplam payı giderek artmaktadır. Toplam küresel elektrik üretiminin %23,7’si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Şekil 2.11’de verildiği gibi bu oranın %16,6’lık kısmı hidroelektrik santralleri, %3,7’si rüzgâr, %2’lik kısmı biyoenerji, %1’i PV sistemleri ve %0,4’ü ise jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Gök ve ark., 2019).



Şekil 2.11. Küresel elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar çeşitli teşvikler ile artırmıştır. Türkiye’de yapılan son çalışmalarda 2022 eylül ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı toplam kurulu gücün %53’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu gücün Şekil 2.12’de verildiği gibi %32’lik kısmı

hidroelektrik santralleri, %10,2 'si rüzgâr, %1,8'lik kısmı biyoenerji, %7,5 'i PV sistemleri ve %1,7 'ü ise jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır.



Şekil 2.12. Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı

### 3. RÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİSİ

Dünya’da teknolojinin ilerlemesi ile birlikte insanların elektrik enerjisine olan ihtiyaçları da artmaktadır. Enerji üretimi için kullanılacak mevcut fosil kaynaklar sınırlıdır, gün geçtikçe azalmakta ve sonunda tükenmektedir. Yenilenebilir ham maddelerin kullanımı etkileyici bir hızla ilerlemeye devam etmektedir. Dışa bağımlılığın azalması için yenilenebilir kaynakların enerji üretiminde kullanımına yönelik araştırmalar ülkelerin geleceği açısından önemlidir. Bu konuda yapılan araştırmalardan biri Avrupa başta olmak üzere tüm dünyada önemli bir gelişme kaydeden rüzgâr enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretimidir (Yakıncı ve Kök, 2017).

Rüzgâr, güneşin yeryüzünü eşit olmayan şekilde ısıtıp soğutmasının ve basınç farkları sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin meydana getirdiği hava hareketleridir. Bu hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi ise rüzgâr enerjisi olarak adlandırılmaktadır (Elibüyük ve Üçgül, 2014).

Rüzgâr enerjisi kısa sürede kullanılabilir ancak gürültü, görsel ve estetik kirliliği, kuş ölümleri, 2-3 km’lik alan içinde radyo ve TV alıcılarında parazitlere neden olması rüzgâr türbini teknolojisinin gelişmesine neden olmuştur. İlk türbin modelleri daha yeni ve daha büyük modellerden daha gürültülüken, günümüzün modern türbinleri önemli ölçüde daha sessizdir (Oskay, 2014).

Rüzgâr enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre kolay ulaşılabilir olması önümüzdeki yıllarda daha çok kullanım alanına sahip olacağını düşündürmektedir. Rüzgâr enerjisi kullanımı, aydınlatma sistemleri, su depolama alanları, su pompalama sistemleri, soğutma mekanizmaları, şarj sistemleri, tahıl öğütme mekanizmaları ve taşımacılık sektörü gibi uygulamaları yaygınlaştırmıştır.

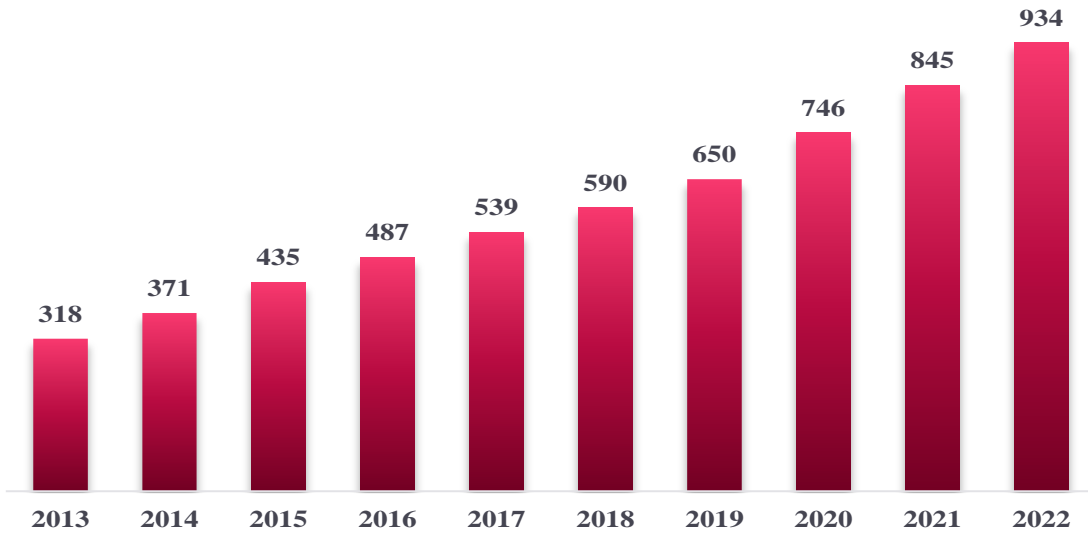
#### 3.1. Dünya’da Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisinin dünyadaki kullanımı 2000’li yılların sonlarına doğru dünyanın en önemli kaynaklarından biri haline gelmiştir. Rüzgâr enerjisi ücretsiz ve gerekli bir enerji kaynağıdır ve coğrafi özellikler sebebiyle dünya üzerinde farklı etkiler göstermektedir.

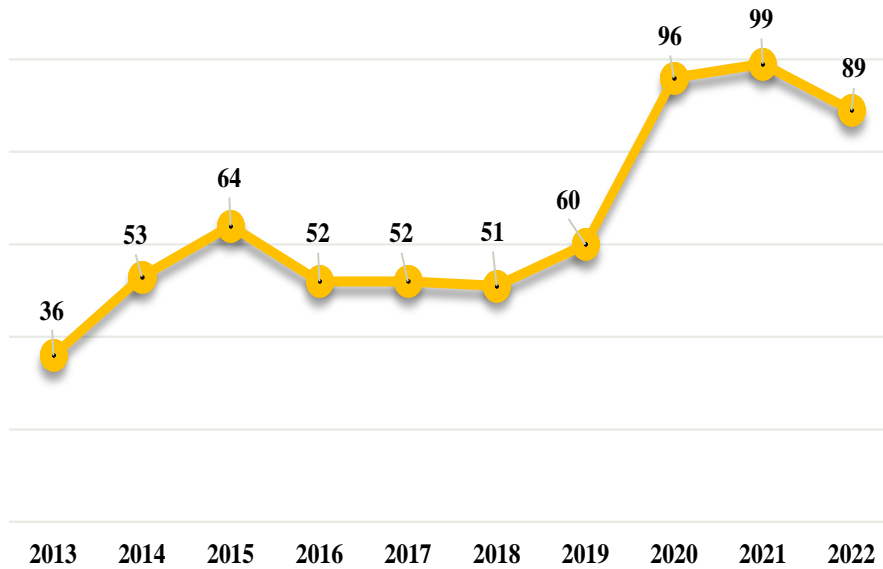
Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi tarafından hazırlanan 2023 raporuna göre, dünyadaki rüzgâr enerjisi kurulu gücü karasal ve deniz üstü kapasitenin eklenmesi ile 934,443 MW’a ulaşmıştır. 2023 yılı sonunda Dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücü 1 TW’ı

aşması beklenmektedir. Dünya’da rüzgâr enerjisi kurulu gücü yüksek olan ülkeler Çin, Amerika ve Almanya’dır (Taşbaşı, 2023).

Mevcut enerji kullanımı, rüzgâr enerjisinin önümüzdeki yıllarda katlanarak büyüyeceğini ve hızla gelişeceğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve tüketimi üzerindeki artan toplumsal baskı bunu yönlendirecektir. Rüzgâr enerjisinin ucuz ve karlı olması yatırımların rüzgâr enerjisine yönelmesini sağlamaktadır. Araştırmaların da gösterdiği gibi, gelişmiş dünyanın rüzgâr enerjisine yaptığı yatırım bugün olduğu gibi önümüzdeki yıllarda da artacaktır. Şekil 3.1’de Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücü (GW), Şekil 3.2’de ise Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW) verilmiştir (Web 8).



Şekil 3.1. Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (GW)

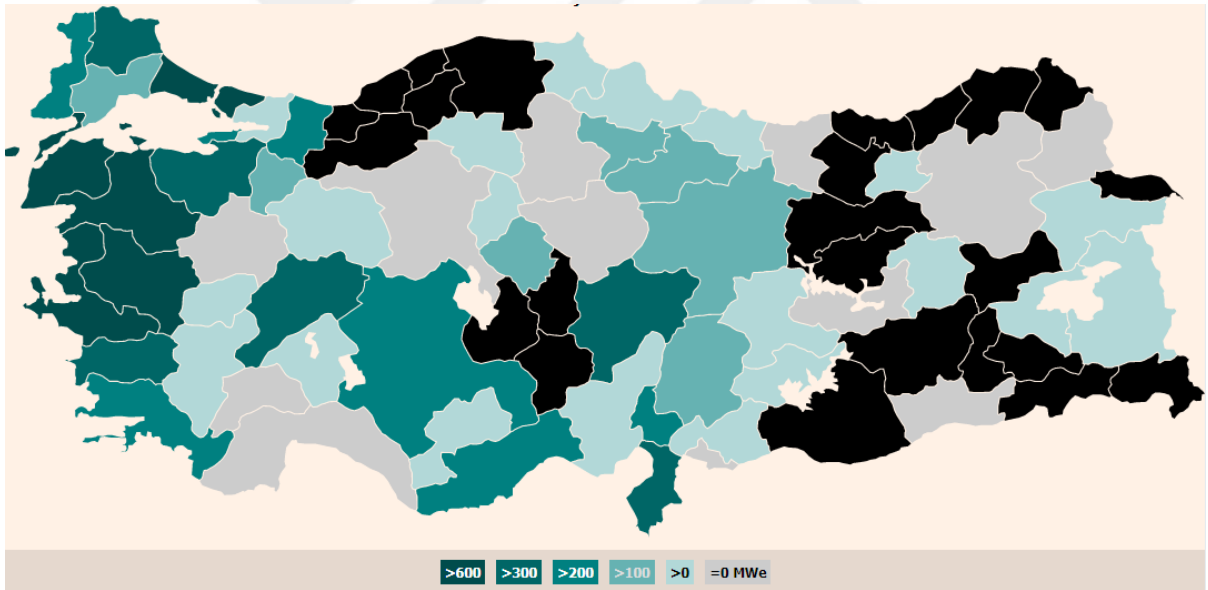


Şekil 3.2. Dünya rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW)

### 3.2. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye’de temel enerji ihtiyaçlarına olan bağımlılık giderek artmaktadır. Bununla beraber yerli ve alternatif enerji kaynaklarının geliştirilip kullanıma hazır hale getirilemeyişi enerji ihtiyacını karşılamada dışa bağımlılığa neden olmuştur. Bu durum ekonomik ve siyasi belirsizlik gibi olumsuz etkenlere yol açmıştır (Kılıç, 2016). Türkiye'nin birincil enerji talebinin büyük ölçüde dışa bağımlı olmasının nedeni, petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının aranmasında yeterince ilerleme kaydedilmemiş olmasıdır. Sürekli artış ivmesine sahip olan temel enerji ihtiyacı göz önüne alınırsa bu oranın sürekli artması öngörülmektedir (Durmuş ve Kumbaroğlu, 2021).

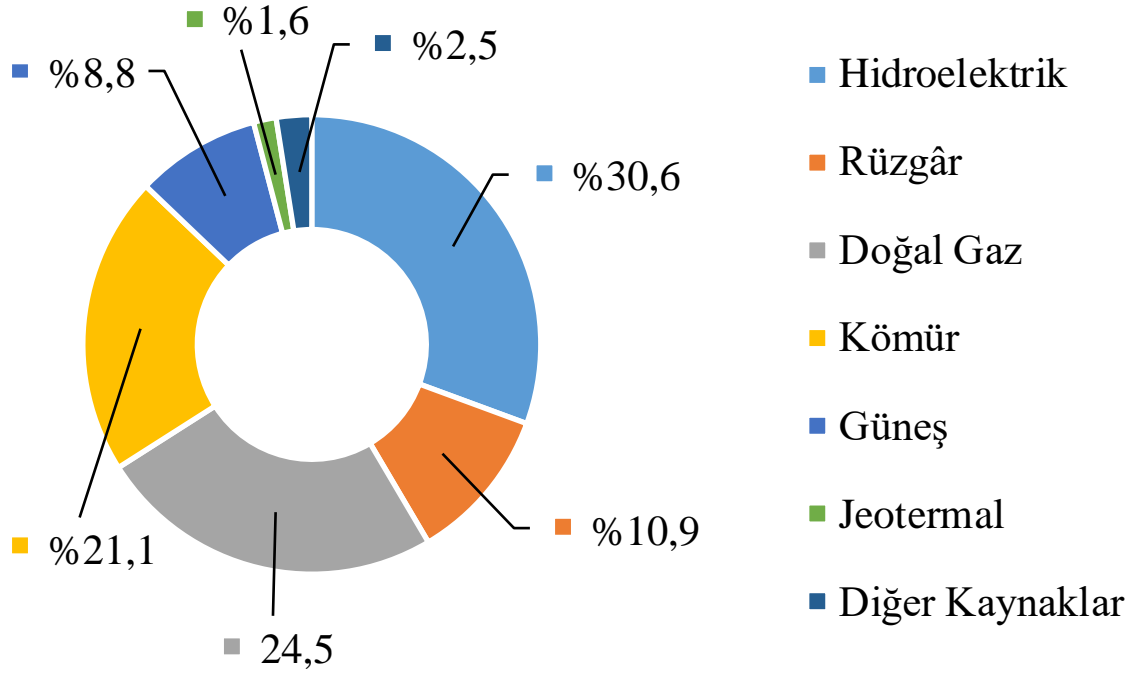
Tüm bu olumsuzluklar, yatırımcıları Türkiye’de potansiyeli yüksek yenilenebilir enerji sektöründe başta rüzgâr enerjisi olmak üzere diğer yerli temiz kaynakları keşfetmeye yöneltmiştir. Diğer taraftan ABD’ nin uzay çalışmaları ile saptadığı meteorolojik veriler, Türkiye’ nin rüzgâr enerjisi bakımından zengin olduğunu göstermektedir. Türkiye’deki RES’lerin bölgesel dağılımı Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Türkiye rüzgâr santrallerinin dağılımı (Web 9)

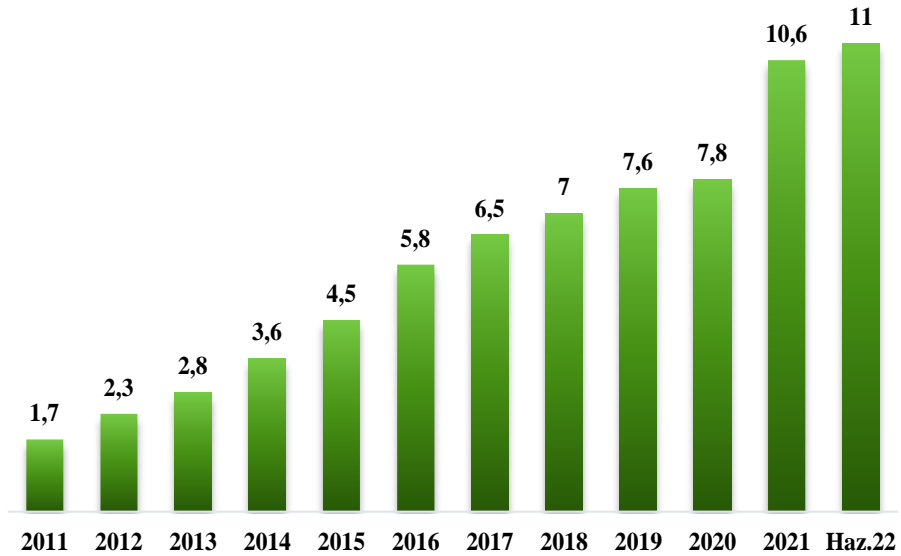
Rüzgâr potansiyeli bakımından zengin olan bölgelerimiz Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyılarıdır. Elektrik üretimi alanında ise 2022 ekim ayı sonu itibarıyla Türkiye’deki kurulu güç 103,276 MW’a ulaşmıştır. Elde edilen kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 3.4’te verildiği gibi; %30,6’sı hidrolik enerji, %10,9’u rüzgâr, %24,5’i doğal gaz, %21,1’i kömür, %8,8’i güneş, %1,6’sı jeotermal ve %2,5’i ise diğer kaynaklar şeklindedir. Ayrıca elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 11.276’ya yükselmiştir. Mevcut santrallerin

750 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 358 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 344 adedi doğal gaz, 9.203 adedi güneş, 490 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (GENSED, 2022).

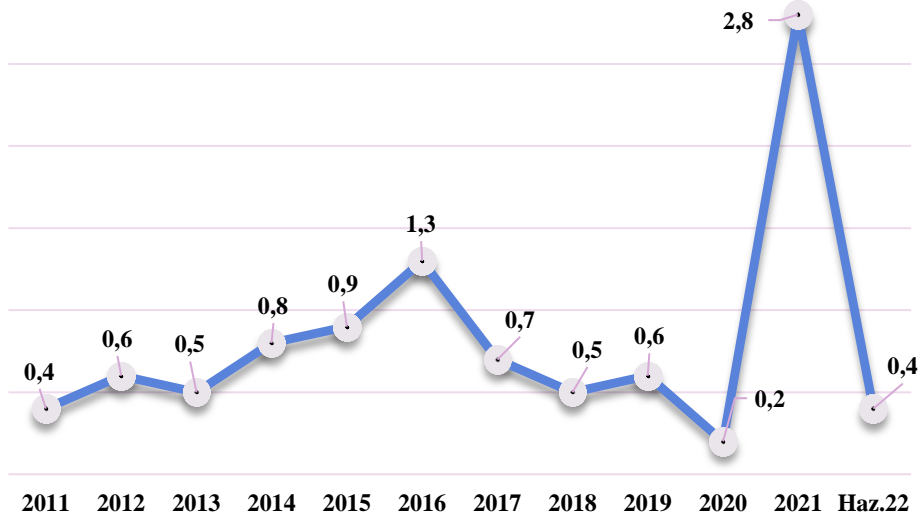


Şekil 3.4. Türkiye’de kurulu güce göre kaynak dağılımı

Türkiye’nin elektrik enerjisi açısından hem mevcut kurulu gücü hem de elektrik üretim miktarı incelendiğinde fosil yakıtların oranının çok fazla olduğu görülmektedir. Buna karşı yenilebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik kurulu gücü haziran 2022 sonu itibariyle 107,6 MW artarak 10.976 GW olmuştur (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Şekil 3.5’te Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücü (GW), Şekil 3.6’da ise Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW) verilmiştir.



Şekil 3.5. Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (GW)



Şekil 3.6. Türkiye rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değişimleri (GW)

Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi oranını arttırmak için bu alanda çalışmaların sürdürülmesi, özel sektörün teşvik edilmesi, toplumu güneş enerjisi hakkında bilinçlendirilmesi gibi adımların atılması gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi araştırma ve geliştirme konularında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Marmara Araştırma Merkezi ve üniversiteler çeşitli çalışmalar devam etmekle birlikte bazı enstitüler rüzgâr tribünlerini geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

### 3.3. Rüzgâr Enerjisi Elektrik Üretimi

Hidroelektrik santrallerin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri, nükleer santrallerin çevreye verdiği zararlar dünyadaki birçok ülkeyi rüzgâr enerjisinin kullanımına yöneltmiştir. Günümüzde endüstri, konutlar veya bireysel amaçlı kullanımlar için gerekli olan enerji ihtiyacı rüzgârdan sağlanmaktadır. Bundan dolayı rüzgâr enerjisinin çeşitli kullanım alanları vardır. Ancak bu alternatif enerji kaynağı bugün bazı alanlarda kullanılmaktadır ve her alan rüzgâr enerjisinin kullanılması için uygun değildir. Rüzgâr enerjisi, su pompalama, tahıl öğütme, soğutma, bahçe aydınlatmaları, şarj ve batarya sistemleri, su depolama alanları ve lojistik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

#### 3.3.1. Rüzgâr güç hesapları

Rüzgâr, bulunduğu bölgenin arazi karakteristiği ve hava sistemlerindeki değişkenlikten dolayı kararsız bir özellik göstermektedir. Rüzgâr gücü hesabında en önemli parametre, rüzgâr hızıdır. Rüzgâr modelleri rüzgâr hızına göre şekillenmektedir. Rüzgâr hızı

ise dakika, saat, gün, mevsim ve yıllık olarak değişkenlik gösterdiğinden rüzgâr modelleri 1 yıllık periyotta değerlendirilmektedir. Bir RES kurulduğunda üretim miktarlarını tahmin ederken en sağlıklı veriler 10 yıllık ölçüm sonucunda elde edilmektedir. Bu süre proje açısından ekonomik olmadığı için 1 yıllık periyotta değerlendirme yapılmaktadır. Rüzgâr hızı, arazinin yapısındaki engellerden dolayı azalmaktadır. Bu yüzden türbinlerin optimum yüksekliğe kurulması önemlidir. Yapılan ölçümler çoğunlukla 10 m yükseklikte yapılır fakat türbinler, daha fazla güç elde etmek ve oluşan türbülansı azaltmak için 10 m'den daha yüksek kulelere monte edilmektedir. Bu nedenle 10 m'den daha yükseğe kurulan türbinler için rüzgâr hızı hesabı yapılması gerekmektedir (Ceylan, 2016).

Çeşitli yükseklikteki türbinler için rüzgâr hızı Eşitlik 1'de verilmiştir (Ceylan, 2016).

$$V_T = V_R \cdot \left( \frac{h_T}{h_R} \right)^\alpha \quad (m/s) \quad (1)$$

$V_T$ : İstenen Yükseklikteki Rüzgâr Hızı

$V_R$ : Referans Yükseklikteki Rüzgâr Hızı

$h_T$ : İstenen Yükseklik

$h_R$ : Referans Yükseklik

$\alpha$  : Arazi Yüzeyinin Sürtünme Katsayısı

Rüzgâr türbinleri kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüşümünü sağlamaktadır. Bu kinetik enerji rüzgâr hızına, havanın yoğunluğuna ve türbinin rotorunun alanına bağlı olarak değişmektedir. Havanın yoğunluğu ise mevsime bağlı olarak sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Eşitlik 2, rüzgâr gücü hesabı için türetilerek Eşitlik 3 oluşturulmuştur (Ceylan, 2016).

$$W_{kinetik} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (J) \quad (2)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot A \cdot V) \cdot V^2 \quad (W) \quad (3)$$

Türbine doğru gelen rüzgârın tamamının gücü geçmemekte ve bir kısmının hızının azalmasıyla birlikte etkilemeden ayrılmaktadır. Kanatların süpürdüğü alan Eşitlik 4'te,

türbini etkileyen güç Eşitlik 5'te verilmiştir (Ceylan, 2016). Türbini etkileyen gücün verimini tanımlayan  $C_p$  katsayısıdır. Betz yasasına göre ise maksimum katsayı 0,59 olarak hesaplanmıştır. Bu değer aynı zamanda karşıdan gelen rüzgârın gücünün %59'u rotor kanatlarına etkidiği anlaşılmaktadır.  $C_p$  değeri çeşitli rüzgâr hızlarında türbin yapısına göre değişmektedir.

$$A = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (m^2)$$

(4)

$$P_{ort} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (W) \quad (5)$$

$P_W$  : Karşıdan Esen Rüzgâr Gücü

$\rho$  : Havanın Yoğunluğu

$P_{ort}$  : Bir Rüzgâr Türbininin Gücü

$A$  : Kanatların Süpürdüğü Alan

$V$  : Rüzgâr Hızı

$D$  : Rotor Kanatlarının Çapı

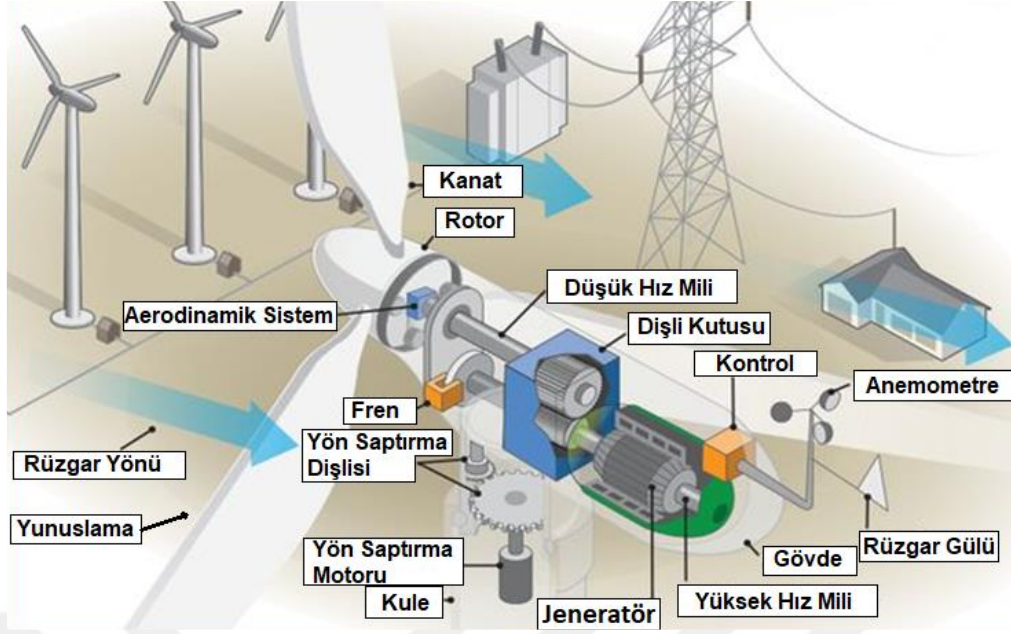
$C_p$  : Rotor Kanatlarına Etkiyen Rüzgâr Güç Katsayısı

### 3.3.2. Rüzgâr türbini

Rüzgâr türbinlerinin çalışma mantığı basit olmasına rağmen büyük miktarlarda güç üretebilmektedir. Rüzgâr enerjisi en yaygın elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Rüzgârın itme kuvveti pervaneyi döndürerek mekanik enerjiyi serbest bırakmaktadır. Elektrik jeneratöre gönderilen mekanik enerji ile üretilmektedir.

İlk rüzgâr türbinleri 20-30 kW aralığında elektrik üretim kapasitelerine sahipken günümüzde kullanılan modern türbinler MW aralığında enerji üretebilmektedir. Elektrik üretimi için genellikle yatay eksenli rüzgâr türbinleri tercih edilmektedir. Dikey ve eğik eksenli rüzgâr türbin çeşitleri de vardır. Kullanım ömrü yaklaşık 25 yıldır. Rüzgâr türbinin kullanım ömrünü belirleyen en önemli faktörler; bulunduğu ortam, hava koşulları ve üretilen malzemelerin kalitesidir (Elibüyük ve Üçgül, 2014).

Rüzgâr türbinlerinin yapısında bulunan bileşenler Şekil 3.7'de verilmiştir. Bunlar; kule, rotor kanatları, rotor, fren sistemi, anemometre, jeneratör, dişli kutusu, gövde, yön saptırma sistemi, düşük ve yüksek hız mili, kontrol sistemi, aerodinamik kontrol sistemi ve kule rüzgâr vanasıdır (Ceylan, 2016).



Şekil 3.7. Rüzgâr türbini yapısı (Web 10)

### 3.3.2.1. Kule

Rüzgâr kulesi, türbin ve gövde tertibatını taşımaktadır. Kulelerin yapısı çelik ve betondan oluşmaktadır. Kuleler, kafes ya da tüp şeklinde üretilmekte ve en önemli problemi ise rüzgâr hızının değişken olmasından kaynaklı titreşimlerdir. Çünkü bu titreşimler kule ve kanatlarda yorulmaya neden olmaktadır. Bu nedenle rüzgâr türbinleri üretilirken değişken rüzgâr hızı karakteristiklerine göre analiz edilerek tasarlanmakta ve genellikle tüp şeklinde tercih edilmektedir. Kulelerin tüp şeklinde tercih edilmesi maliyetinin ve ağırlığının daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Tüp şeklinde olmasının dezavantajı ise araziye monte işlemlerinin zorluğu ve tarım arazisinin kullanımını engellemesidir (Küçükaya, 2019). Montaj aşamasında ise büyük vinçler kurulmakta ve parçalar halinde kurulum yapılmaktadır.

### 3.3.2.2. Rotor kanatları

Rotor kanatları, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüşmesinde en büyük rol alan türbin bileşenidir ve türbin çeşidine bağlı olarak farklı şekillerde üretilmektedir. Kanatların üretiminde kullanılan yapı malzemesi günümüzde cam elyafla desteklenmiş plastikten oluşmaktadır. Eğilmelere karşı dayanıklı çelik malzemeden üretilen türbin kanatları da vardır fakat yorulma ve korozyon meydana gelmesi sebebiyle kullanışlı değildir. Günümüzdeki cam elyafla desteklenmiş plastik malzeme de eğilmelere karşı dayanıklılığı açısından çelik malzemeye yakın değerdedir. Bu yüzden plastik malzemeyle

üretimi yapılan kanatlar tüm yönleriyle değerlendirildiğinde bu sistem için daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır.

Yeni nesil kanatların üretimi yapılırken göbek (hub) ve gövde kısımlarında havaya karşı direnç azaltılarak havanın kanatların her bölgesine etkimesi sağlanmıştır. Bu sayede kanatların uç kısımlarında meydana gelen türbülans ve gürültü azalmıştır (Ceylan, 2016). Rotor kanatları Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Rotor kanatları (Web 11)

### 3.3.2.3. Jeneratör

Rüzgâr türbinlerinde üç farklı jeneratör çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar DA asenkron ve senkron jeneratördür. Eski küçük güce sahip tesislerde kullanılan DA jeneratörler yerini sabit mıknatıslı jeneratörlere bırakmıştır. Büyük güçlere sahip sistemlerde ise senkron ve asenkron jeneratörler tercih edilmektedir. Bu jeneratörlerden üretilen elektrik enerjisi istenilen gerilime dönüşümü yapılarak şebekeye aktarımı yapılmaktadır (Ceylan, 2016).

Senkron jeneratörler rotor üzerinde bulunan kutup pabuçları sayesinde kendinden uyartım sağlanmaktadır. Bu bir avantaj olmasına rağmen maliyet açısından uygun değildir. Rüzgâr türbinlerinde genellikle asenkron jeneratörler kullanılmaktadır. En çok kullanılanları ise sincap kafesli ve rotoru sargılı asenkron jeneratörlerdir. Yaygın olarak kullanılmasının sebepleri şunlardır:

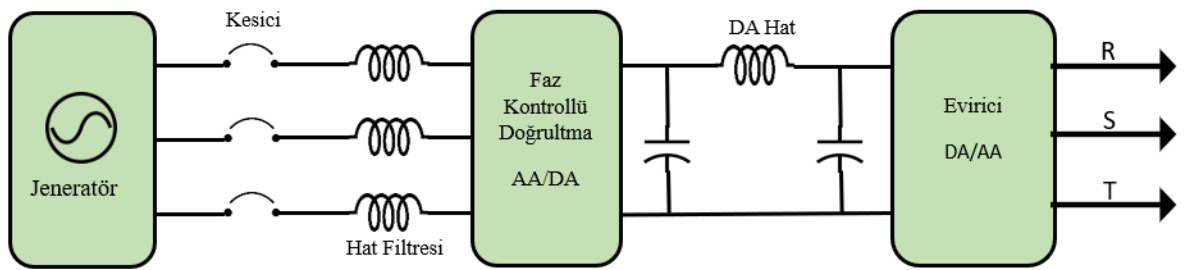
- ✓ Şebekeye zarar veren salınımlara neden olmamaktadır.
- ✓ Mekanik özellikleri itibariyle ucuz, basit, dayanıklı olmasının yanında yüksek güç üretimi sağlanabilmektedir.
- ✓ Güvenlik açısından diğer jeneratörlerden daha üstündür.

✓ Rüzgâr hızı çok değişken olan bölgelerde performansı diğer jeneratörlere göre daha yüksektir.

✓ Tüm bunların yanında şebekeye bağlantısı basittir (Web 12).

### 3.3.2.4. Güç elektroniği

Günümüzde kullanımı yaygın olan güç elektroniği devreleri faz kontrollü doğrultma ve eviricilerdir. Faz kontrollü doğrultma, AA gerilimi DA gerilime dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Eviriciler ise DA gerilimi AA gerilime dönüştürmeye yarayan devredir. Bu dönüştürücülerin içeriğinde BJT, MOSFET, SCR vb. gibi yarı iletken elemanlar bulunmakta ve fonksiyonlarının temelini bu elemanlar oluşturmaktadır (Ceylan, 2016). Güç elektroniği yapısı Şekil 3.9'da verilmiştir.



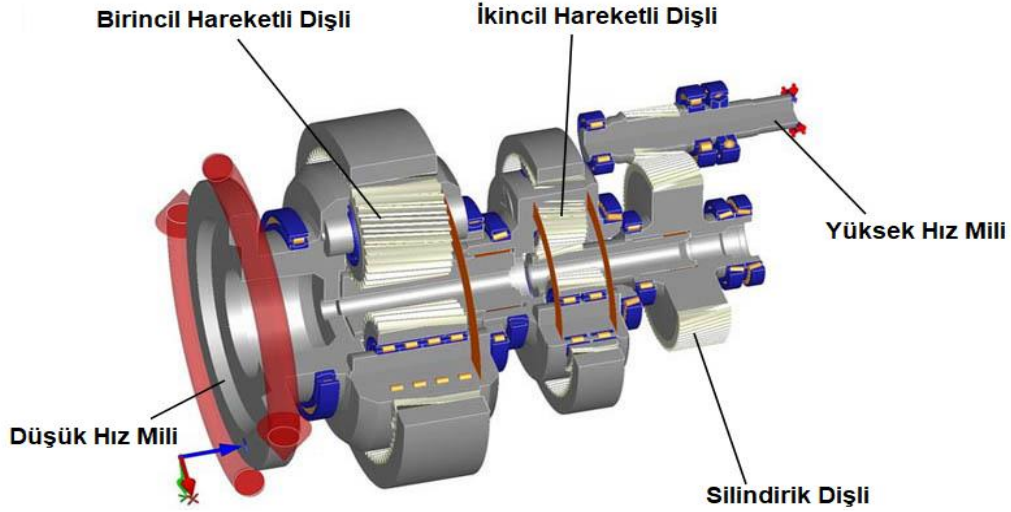
Şekil 3.9. Rüzgâr hızı değişken güç devresi

Rüzgâr hızındaki değişkenlikten dolayı aerodinamik sistem kontrolü yeterli gelmediği için Şekil 3.9'da verilen devre de kullanılarak daha etkin frekans ve güç kontrolü sağlanmaktadır.

AA bara gerilimi ile referans gerilim arasındaki hata dikkate alınarak evirici çıkış gerilimi ayarlanırken aktif güç ile evirici güç çıkışı arasındaki fark değerlendirilerek referans sinyalin açısı ayarlanmaktadır. Bu şekilde güç ve frekans kontrolü sağlanmaktadır (Ceylan, 2016).

### 3.3.2.5. Dişli kutusu

Dişli kutusu, Rüzgâr türbinlerinin kanatlarının bağlı olduğu milin düşük devir sayısını jeneratörün sisteme uygun çalışması için gerekli olan yüksek devire çıkartılmasını sağlayan ve hareketli parçalardan oluşan türbin bileşenidir. Şekil 3.10'da rüzgâr türbinlerinde kullanılan dişli kutusu görseli verilmiştir.



Şekil 3.10. Dişli kutusu (Web 13)

Günümüzde dişli kutusuz tasarımlar gelişmeye başlamıştır. Bunun nedeni ise son dönemde elektrik motor teknolojisinin gelişmesiyle elektrik motorlarında kutup sayısı artırılmış ve bu sayede yüksek devir gereksinimi kalmamıştır. Bu gelişmeyle birlikte dişli kutusuz rüzgâr türbinlerinde artış gözlenmektedir (Leblebicioğlu, 2021).

#### 3.3.2.6. Anemometre

Rüzgâr hızını ölçerek kontrol ünitesine iletilmesini sağlamaktadır.

#### 3.3.2.7. Kontrol ünitesi

Rüzgârın hızına göre aşırı rüzgârlarda sistemin durmasını ve iletim anında sistemin maksimum güçte çalışmasını sağlamaktadır (Küçükkaya, 2019).

#### 3.3.2.8. Aerodinamik sistem

Rotor kanatlarının yüksek ya da düşük hızda dönmesinin kontrolünü sağlamaktadır.

#### 3.3.2.9. Rüzgârgülü

Rüzgârın yönünü belirler ve yön saptırma motoruyla iletişim kurarak türbinin uygun pozisyona gelmesini sağlamaktadır.

#### 3.3.2.10. Yön saptırma dişlisi ve motoru

Rüzgârın hızına ve yönüne göre rüzgârın rotor başına dik gelecek şekilde konumlanmasını sağlamaktadır.

#### 3.3.2.11. Hidrolik sistem

Rüzgâr türbinlerinde hidrolik mantıkla çalışan rotor, fren vb. mekanizmalara yağ basıncı sağlamaktadır.

### 3.3.2.12. Fren sistemi

Türbinin koruma elamanıdır. Hız limitinin aşıldığı, şebeke ile iletimin kopması ve diğer acil durumlarda türbinlerdeki güvenliliği sağlamaktadır. İki adet fren bulunmaktadır. Bunlar; aerodinamik ve disk frenidir. Aerodinamik fren sistemi rotor kanatlarının uç fren sistemidir. Frenleme esnasında kanat uçlarında merkezkaç kuvveti meydana gelmektedir. Disk freni ise rüzgâr hızı kesme değerine ulaştığında yüksek hız milinde devreye girer ve türbinin durağan bir pozisyon almasını sağlamaktadır.

Acil durumlarda ise fren sistemlerinin ikisi de devreye girer ve türbini durdurmaktadır (Ceylan, 2016).

### 3.3.3. Rüzgâr güç kontrolü

Rüzgâr türbinlerinde elektrik ve mekanik olarak yüklenmeler uygun değerlerden daha fazla olursa türbin sistemlerine zarar vermektedir ve bu durumlara engel olmak amacıyla güç kontrolünün sağlanması gerekmektedir. İki çeşit güç kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; aerodinamik (pitch) kontrol ve durdurarak (stall) kontroldür. Günümüzde en çok tercih edilen yöntem aerodinamik güç kontrolüdür.

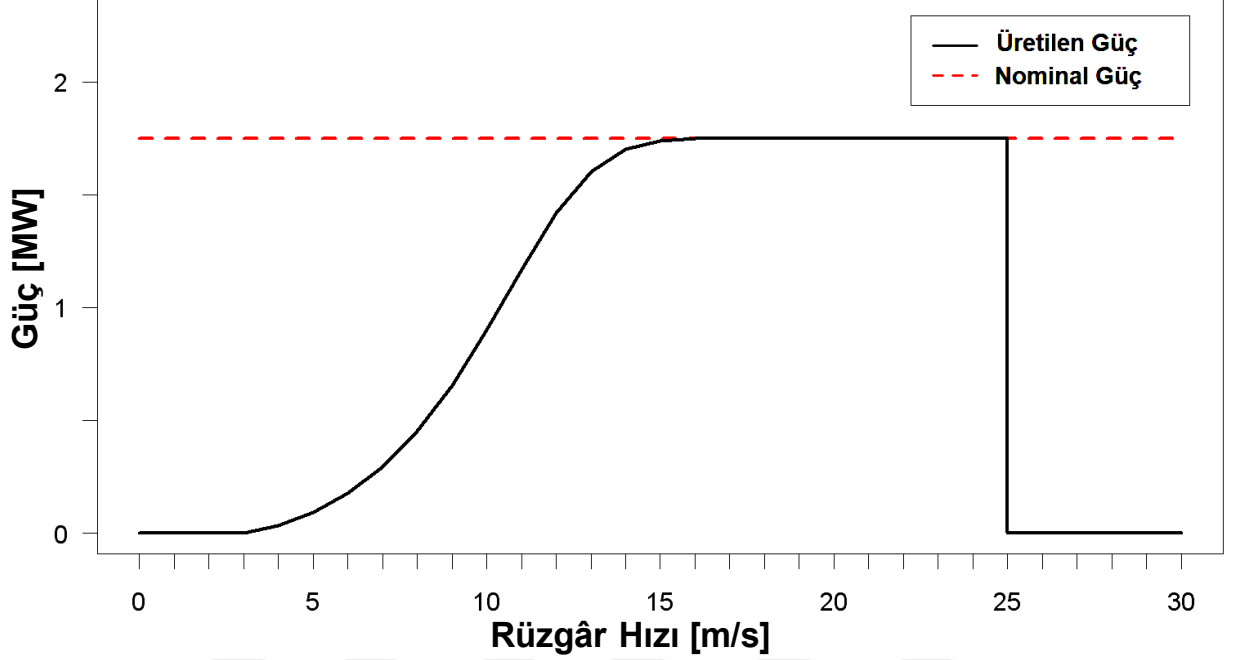
#### 3.3.3.1. Aerodinamik güç kontrolü

Jeneratörün güç sinyaline göre türbinin çalışmasını ayarlayan bir güç kontrol sistemidir. Bu sistem gelen hava akışına göre kanatların pitch açısını ayarlamaktadır. Bu sayede kaldırma kuvveti azalırken sürüklenme artmakta ve güç kontrolü optimum değere ulaşmaktadır. Bu sistemin sağladığı avantajlar;

- ✓ Değişken rüzgâr hızlarında başarıyla optimum güç kontrolünü sağlamaktadır.
- ✓ Rüzgâr hızı düşük olsa bile uygun çıkış gücü sağlanmaktadır.
- ✓ Bu kontrol sisteminin tercih edilmesinde etkili olan faktörlerden birisi de diğer yöntemlere göre daha fazla elektrik üretimi sağlamasıdır.
- ✓ Rotorun acil olarak durdurulması gerektiği zamanlarda fren sistemini zorlamamaktadır.
- ✓ Rotor kanatları, çok yüksek rüzgâr hızlarında kılıcına pozisyon alarak sistemi korumaktadır.
- ✓ Verimli çalışmasından dolayı kullanılan türbin boyutlarında küçültme yapılabilmektedir (Ceylan, 2016)

### 3.3.3.2. Rotor hızı kontrolü

Rüzgâr türbinlerinin verimi yüksek bir şekilde çalışması ve aşırı yüklenmelerde jeneratör, rotor vb. elemanların korunması için hız kontrolü gerekmektedir. Hız kontrolü Şekil 3.11’de verildiği gibi 4 farklı bölge şeklinde tasarlanmıştır.



Şekil 3.11. Rüzgâr türbinini güç üretimi grafiği (Web 14)

1. Bölge: Şekil 3.11’de de görüldüğü üzere türbinin kalkışından itibaren rüzgâr yaklaşık 2-4 m/s hıza ulaşmadan güç üretimi gerçekleşmemektedir.

2. Bölge: Rüzgâr türbininin ilk güç üretimi yapmaya başladığı andan nominal güce ulaşana kadar maksimum verimle ( $C_p$ ) çalışmaktadır. Bu bölgede rüzgâr hızı yaklaşık 12 m/s’ye ulaşmaktadır.

3. Bölge: Türbin güç üretimi nominal güce ulaşmış ve rüzgâr hızı (12-25 m/s) artsa da bu güç değeri sabit tutulmuştur. Bunun amacı aşırı yüklenmelere karşı jeneratör ve güç elektroniği sistemini korumaktır. Rotor kanatları ise aerodinamik kontrol sistemi sayesinde korunmaktadır.

4. Bölge: Rüzgâr hızı artık nominal hızın (25 m/s) üzerine çıkmıştır ve tüm türbin bileşenlerini korumak amaçlı güç üretimi tamamen kesilmektedir.

### 3.3.4. Rüzgâr depolama sistemleri

Rüzgâr gücündeki değişiklikler üretimi etkilediği için elektrik üretiminde her zaman aynı verimlilik düzeyine ulaşamamaktadır. Rüzgâr şiddetinin fazla olduğu zamanlarda

jeneratörün hasar görmesini önlemek için türbinler yavaşlatılmaktadır. Mevsime bağlı olarak rüzgâr şiddetinin zayıf olduğu zamanlarda ise verimli elektrik üretimi mümkün değildir. Rüzgâr şiddetinden kaynaklanan verimlilik farklılıklarını telafi etmek için depolama yöntemleri kullanılmalıdır. Rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri gelişmiş bazı yöntemler ile sağlanmaktadır (Elibüyük ve Üçgöl, 2014). Günümüzde kullanımda olan rüzgâr enerjisi depolama sistemleri şunlardır:

✓ Hava Torbaları: Yaklaşık yarım kilometrelik bir suyun içerisine yerleştirilen hava keseleri, verimin düştüğü zamanlarda kullanmak için gün boyunca toplanan rüzgâr enerjisini depolamaktadır. Toplanan enerji, ihtiyaç duyulduğunda elektrik üretmek için enerji türbinlerine beslenmektedir.

✓ Basınçlı Hava Sistemi: Verimliliğin düşük olduğu durumlarda yerdeki tanklarda bulunan basınçlı hava doğal gaz ile karıştırılarak gaz türbinleri ile elektriğe dönüştürülmektedir.

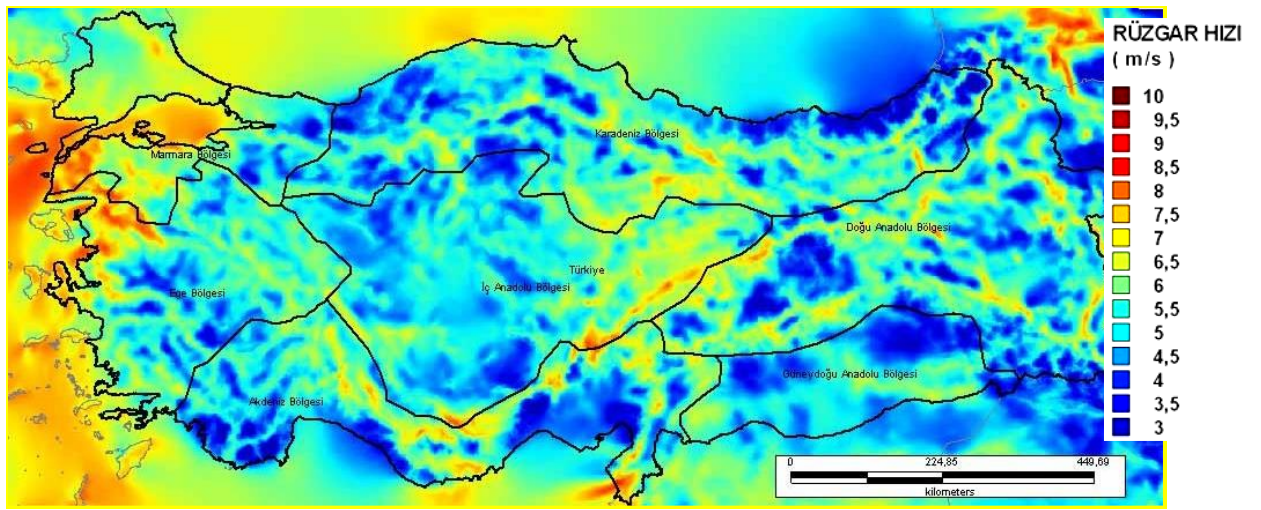
✓ Okyanus Yenilenebilir Enerji Sistemi: Açık okyanusta çalışan rüzgâr türbinleri için geliştirilmiş bir sistemdir. Deniz tabanına yerleştirilmiş beton bir toptan oluşmaktadır. Yüksek rüzgâr kuvveti olduğunda toptaki su boşalmaktadır. Verimlilik düştüğünde, toptayı yeniden doldurulurken elde edilen enerji, elektrik üretmek için kullanılmaktadır.

✓ Hidrojen Depolama Sistemi: Rüzgâr enerjisinden üretilen fazla elektrik, hidrojeni suda ayırıştırılan bir tesise beslenmektedir. Üretilen hidrojen daha sonra kullanılmak üzere bir depoda saklanır ve ihtiyaç halinde yakılarak elektrik enerjisine dönüşmektedir.

✓ Piller ve Şarj Edilebilir Piller: İhtiyaç fazlalığı elektrik, batarya ve pil sistemlerinde depolanabilmektedir. Gerektiğinde şebekeye destek veya doğrudan kullanım için uygundur (Enerji, 2022).

#### 4. MATERYAL ve METOT

Günümüzde geleneksel kaynakların azalması ile yenilenebilir enerjinin önemi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı yayılım gösteren rüzgâr enerjisi, güneş ışınlarının dünyanın yüzeyini ısıtmasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Dünyanın üzerindeki ısınmadaki farklılıklarından kaynaklanan farklı basınç ve nem, hava kütlelerinin basıncın yüksek olduğu taraftan alçak olduğu tarafa doğru akmasını sağlayarak rüzgârı oluşturmaktadır. (Şenel ve Koç, 2015). Türkiye'nin bölgelerine göre 50 m yükseklikteki rüzgâr enerjisi potansiyel atlası Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye bölgesel rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (50 m) (Web 15)

Rüzgâr hızları 7 m/s'den fazla olan yerler belirlenerek Türkiye'nin rüzgâr enerji kapasitesi 47,849 MW olarak hesaplanmıştır. Bu atlasa göre Marmara Bölgesi'nin ve Ege Bölgesi'nin kuzeyinin rüzgâr enerji potansiyeli diğer bölgelerden daha fazladır. Bu durumda Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi'ne kurulması planlanan RES'lerin üreteceği rüzgâr enerjisi daha verimli olacaktır (Behçet ve ark., 2014).

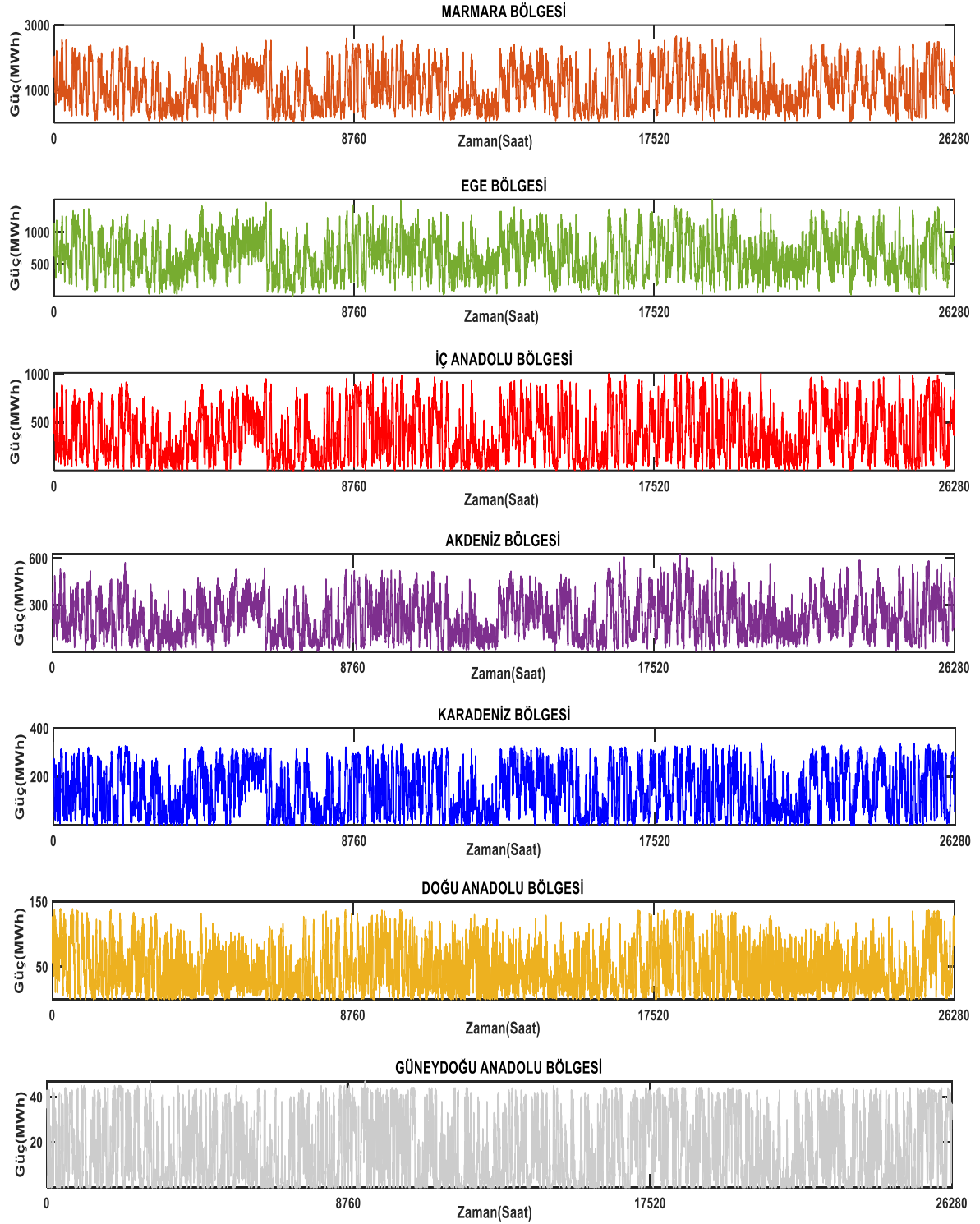
Rüzgâr enerjisinin Dünya çapında ve ülkemizde süratle gelişmesinde bu kaynak türünün yenilenebilir olması, taşıma rahatlığı ve enerji üretiminde çağın teknolojisine gereksinim duyulmaması gibi avantajları yer almaktadır (Şenel ve Koç, 2015). Rüzgâr enerjisi kullanımındaki artışlar beraberinde bazı problemlere neden olmuştur. Rüzgâr enerjisi üretimi yapılırken ortaya çıkan rampa olayları bu problemlerin başında gelmektedir (Karadöl ve ark., 2020). Çalışmada rampa olaylarını bölgesel olarak incelemek ve azaltmak için tüm bölgelerin birer saatlik zaman aralıklarında 2019-2020 ve 2021 yıllarına ait 3 yıllık RES üretim değerleri incelemeye alınmıştır. Türkiye'de aktif olarak faaliyet gösteren

Marmara Bölgesi'nde 70, Ege Bölgesi'nde 49, İç Anadolu Bölgesi'nde 19, Akdeniz Bölgesi'nde 13, Karadeniz Bölgesi'nde 10, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 3 ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1 tesis bulunmaktadır. Tesislere ait üretim verileri TEİAŞ'tan elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin genel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu verilere göre, en yüksek ortalama üretim ve standart sapma Marmara Bölgesi'nde, en düşük ortalama üretim ve standart sapma ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde görülmektedir. Marmara Bölgesi'ndeki standart sapma, diğer tüm bölgeler arasında en yüksek olanıdır. Bu da üretimdeki en yüksek değişkenliğin Marmara Bölgesi'nde meydana geldiğini göstermektedir. Her bir bölgenin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farklar dikkate alındığında Marmara Bölgesi'nde 639,24 MW, Ege Bölgesi'nde 1508,36 MW, İç Anadolu Bölgesi'nde 1014,17 MW, Akdeniz Bölgesi'nde 626,33 MW, Karadeniz Bölgesi'nde 39,01 MW, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 39,23 MW ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 47,00 MW olduğu anlaşılmaktadır. Tüm bu değişimler, RES'lerin aktif olduğu şebeke sisteminin işletme kısmında zorluklara sebep olmaktadır.

Çizelge 4.1. Türkiye bölgesel RES üretimlerinin istatistiksel ve genel özellikleri

Özellikler	Marmara	Ege	İç Anadolu	Akdeniz	Karadeniz	Doğu Anadolu	Güneydoğu Anadolu
<b>Santral Sayısı</b>	70	49	19	13	10	3	1
<b>Toplam Veri Sayısı</b>	26304	26304	26304	26304	26304	26304	26304
<b>Santral Çalışma Zaman Aralığı</b>	01.01.2019 - 31.12.2021						
<b>Standart Sapma (MW)</b>	621,68	307,90	262,54	127,90	101,43	35,13	14,97
<b>Ortalama Üretim (MW)</b>	1065,83	634,95	365,30	213,43	134,67	44,61	15,84
<b>Maximum Üretim (MW)</b>	663,33	1514,59	1014,27	628,32	39,01	39,23	47,00
<b>Minimum Üretim (MW)</b>	24,09	6,23	0,10	1,99	0	0	0
<b>Toplam Kurulu Güç (MW)</b>	3139,27	1779,82	1077,65	664,77	348,75	138,70	43,90

Ayrıca çalışmada kullanılan, Marmara Bölgesi'nde 70, Ege Bölgesi'nde 49, İç Anadolu Bölgesi'nde 19, Akdeniz Bölgesi'nde 13, Karadeniz Bölgesi'nde 10, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 3 ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1 kurulu tesise ait saatlik toplam üretim değerleri Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Türkiye'deki RES'lerin bölgesel olarak saatlik toplam üretimleri

RES santral üretimlerinin zaman bazında değişken bir yapıda olduğu Şekil 4.2'den çıkarılmaktadır. Üretimde meydana gelen değişkenliği rampa olarak tanımlayabilmek için bu değişkenliğin santralin kurulu gücünün %5 veya daha fazlası olmalıdır (Frate ve ark. 2019). Üretimin rampa olaylarını göstermek için toplam kurulu gücün %5, %7,5 ve %10 üzerindeki değişkenlikleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.2'de bölgesel veri seti verilmiştir.

Çizelge 4.2. Veri seti

Veri Numarası	Tarih	Marmara	Ege	İç Anadolu	Akdeniz	Karadeniz	Doğu Anadolu	Güneydoğu Anadolu
1	01.01.2019 01:00	20	13	21	16	15	19	35
2	01.01.2019 02:00	20	14	20	18	17	19	38
3	01.01.2019 03:00	22	14	23	17	19	19	41
4	01.01.2019 04:00	23	16	26	20	18	19	43
5	01.01.2019 05:00	23	18	28	17	19	20	43
6	01.01.2019 06:00	23	17	28	19	22	19	43
7	01.01.2019 07:00	25	18	31	22	23	20	43
8	01.01.2019 08:00	26	19	34	24	22	22	41
9	01.01.2019 09:00	27	21	33	24	22	26	40
10	01.01.2019 10:00	27	22	32	22	21	27	37
11	01.01.2019 11:00	28	22	30	25	20	36	36
12	01.01.2019 12:00	29	23	31	27	22	42	37
13	01.01.2019 13:00	29	22	31	28	23	37	33
14	01.01.2019 14:00	28	23	30	28	20	36	33
15	01.01.2019 15:00	28	22	30	29	23	27	29
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
<b>26304</b>	31.12.2021 24:00	8	6	11	11	5	3	2

Herhangi bir zamanda üretimde meydana gelen rampanın büyüklüğünü hesaplamak için Eşitlik 6'da verilen formüller kullanılmıştır (Frate ve ark. 2019).

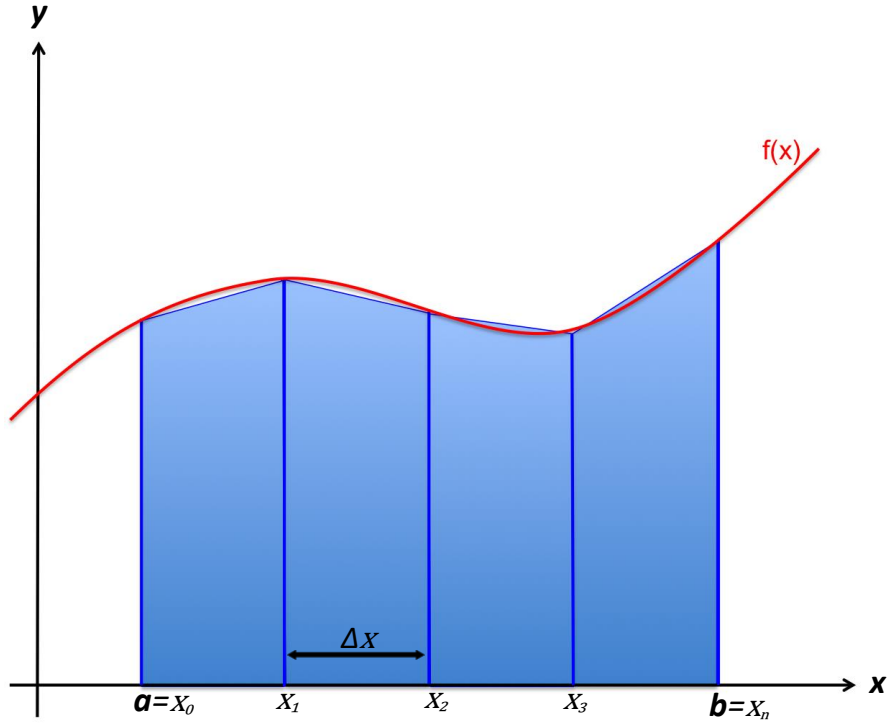
$$\Delta P = \{\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n\}$$

$$\Delta P_i = p(i) - p(i+t) \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad n \in N \quad (6)$$

$$t = (1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

Denklemden verilen  $\Delta P_i$ ,  $i$  zamandaki rampa büyüklüğünü,  $p(i)$  ise  $i$  saatindeki santral üretimini göstermektedir.  $t$  zamansal periyodu ve  $n$  ise santralin saatlik çözünürlük süresini göstermektedir. Eşitlik 6'da verilen  $\Delta P$ , tüm zamansal periyotlardaki üretim için rampa setini ifade etmektedir.

Çalışmada, santralin üretimdeki değişkenliklerini hesaplayabilmek için Bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarındaki fonksiyonlarının, histogram grafik alanını hesaplamak için yamuk kuralı kullanılmıştır. Matematiksel bir yöntem olan yamuk kuralı alan hesaplamaları için kullanılmaktadır. Bu yöntem, ilgili fonksiyon ile x-ekseni arasında kalan alanı daha küçük yamuklara bölerek gerçek değere yaklaştırmaktadır. Şekil 4.3'te yamuk kuralı görsel olarak verilmiştir.



Şekil 4.3. Yamuk kuralı ( Web 16)

Yamuk kuralının formülü Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’de verilmiştir (Karadöl ve Şekkeli, 2021). Eşitlik 7’de,  $f(x)$  fonksiyonun a ve b değerleri integral alan sınırlarıdır. a ve b değerleri Eşitlik 9’da detaylı biçimde verilmiştir (Karadöl ve Şekkeli, 2021).

$$\int_a^b f(x)dx \quad (7)$$

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2} \{f(a) + f(b)\} \quad (8)$$

Eşitlik 10’da verilen  $\Delta x_i$  değeri, bölünerek oluşturulan her bir yamuk parçasının taban uzunluğunu göstermektedir. Bir yamuğun alanını hesaplayabilmek için Eşitlik 8’de verilen matematiksel ifade, birden çok yamuk alanı hesabı için Eşitlik 11’deki formül kullanılmaktadır (Karadöl ve Şekkeli, 2021). Eşitlik 11’deki formülle farklı zamansal periyotlardaki saatlik RES üretim değişimlerinin histogram grafik alanlarının hesabı yapılmıştır (Karadöl ve Şekkeli, 2021).

$$[a, b] = \{a = x_0 < x_1 < \dots < x_{N-1} < x_N = b\} \quad (9)$$

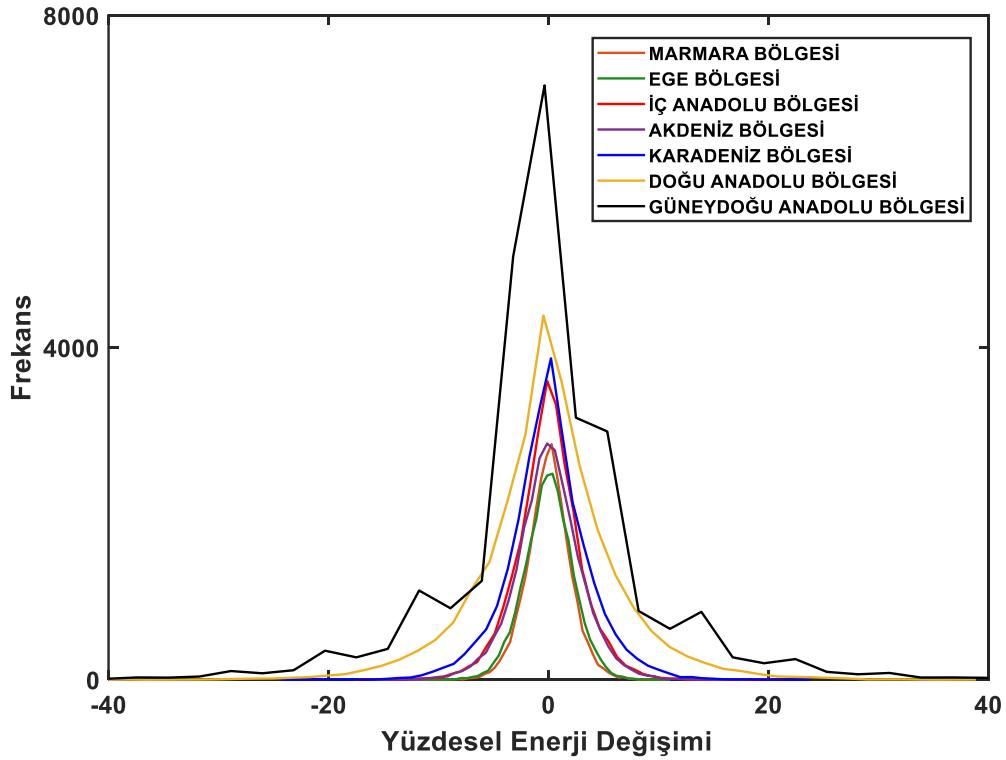
$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x)dx &\approx \sum_{i=1}^N \frac{f(x_{i-1}) + f(x_i)}{2} \Delta x_i \\ &= \frac{\Delta x_i}{2} (f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{N-1}) + f(x_N)) \end{aligned} \quad (11)$$

## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

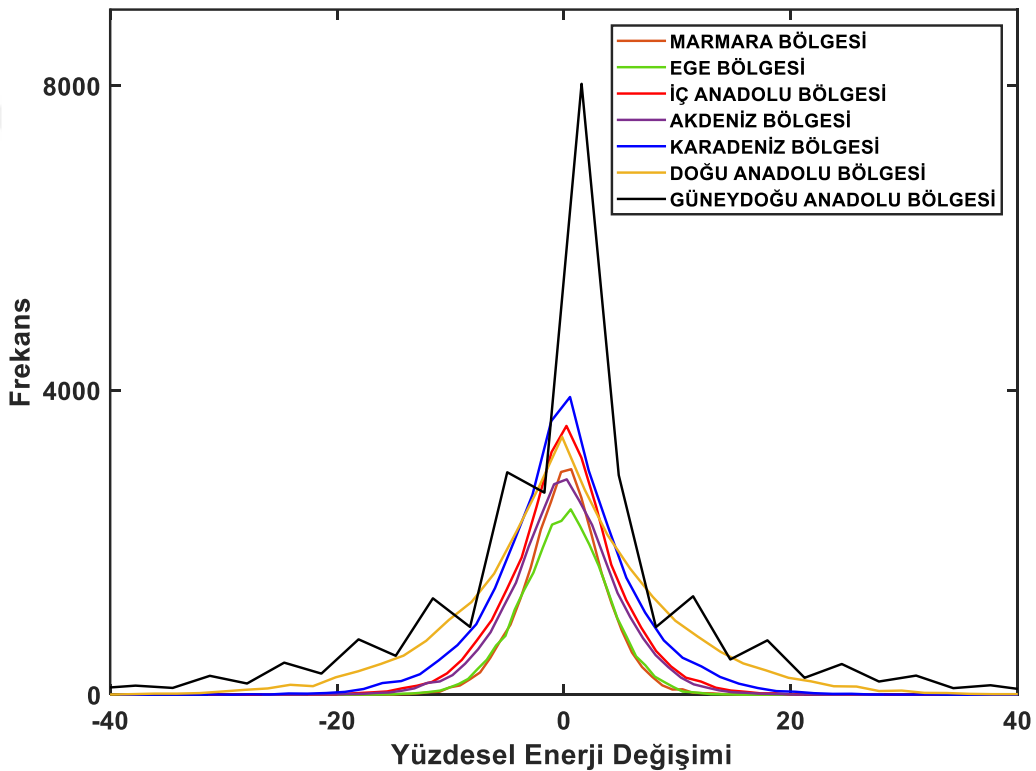
İki zaman aralığında meydana gelen RES üretimindeki güç değişkenlikleri rampa olayı olarak ifade edilmektedir. RES üretiminde saniyelik ve dakikalık zamansal periyotlarda meydana gelen yüksek rampa olayları şebekede önemli bir zarar meydana getirmemektedir. Ama bir saat ve daha büyük zaman dilimlerinde oluşan rampa olaylarının şebekede dengelenmesi ek maliyetler ve şebekenin güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Bu sürenin artmasının sebebi şebekede devrede olmayan santrallerin devreye alınmasıyla yük ve şebekede meydana gelen dengesizliğin giderilmesinin uzun sürmesidir. Bu sonuçlar RES üretimindeki rampaların sabit bir değerde olmadığını ve tesiste bulunan elemanların olumsuz etkileneceğini göstermektedir (Couto A. Ve ark., 2015 ; Lia ve ark., 2018).

Bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda RES üretim rampa olaylarının birinci derecede olduğu; ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler gibi istatistiksel verileri ifade etmektedir. (Radu ve ark. 2019). Bu sebeple çalışmada Türkiye’de 2019, 2020 ve 2021 yıllarında RES üretimindeki rampa olaylarının farklı zamansal periyotlarda bölgesel olarak saatlik değişimleri incelenmiştir. Bu değişiklikler per unit olarak histogram grafiklerinde Şekil 5.1-5.2-5.3-5.4-5.5 ve 5.6’da verilmiştir.



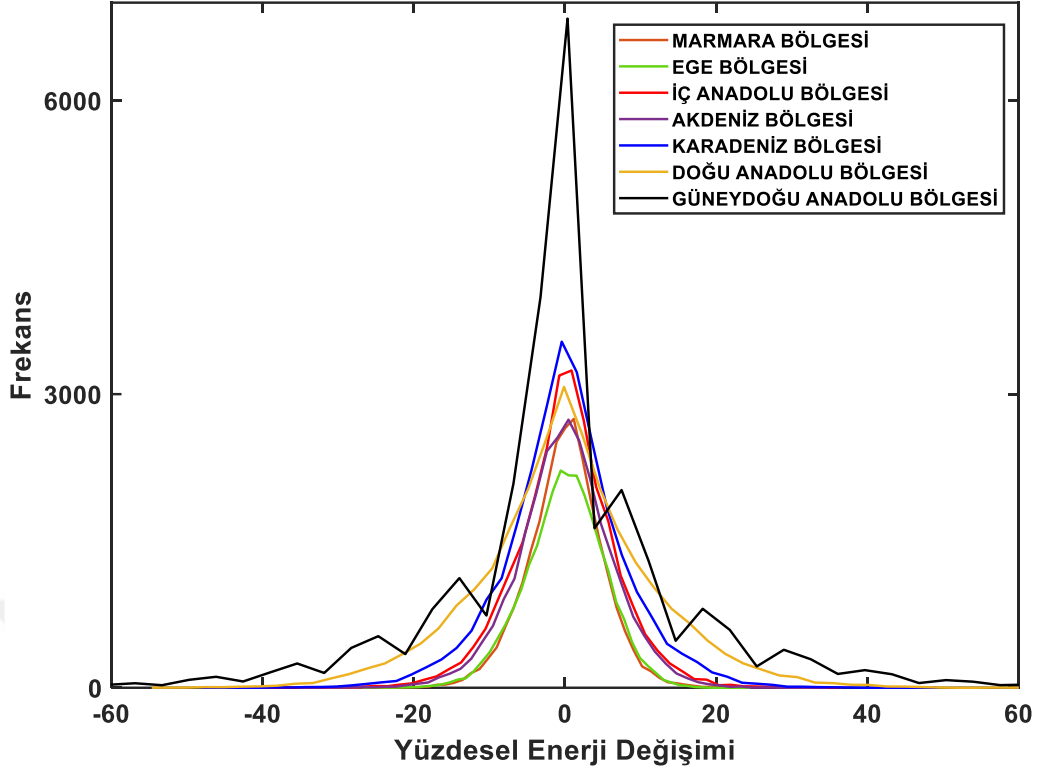
Şekil 5.1. Bir saatlik periyottaki rampa olayları

Bir saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 111, 116, 182, 164, 223, 365 ve 603'tür. Bir saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgesidir. Fakat rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %5 ve üzerinde en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiştir. Aynı zamanda İç Anadolu bölgesi için toplam kümülatif rampa alanı Akdeniz bölgesinden daha fazla olmasına rağmen kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında daha az olduğu görülmüştür.



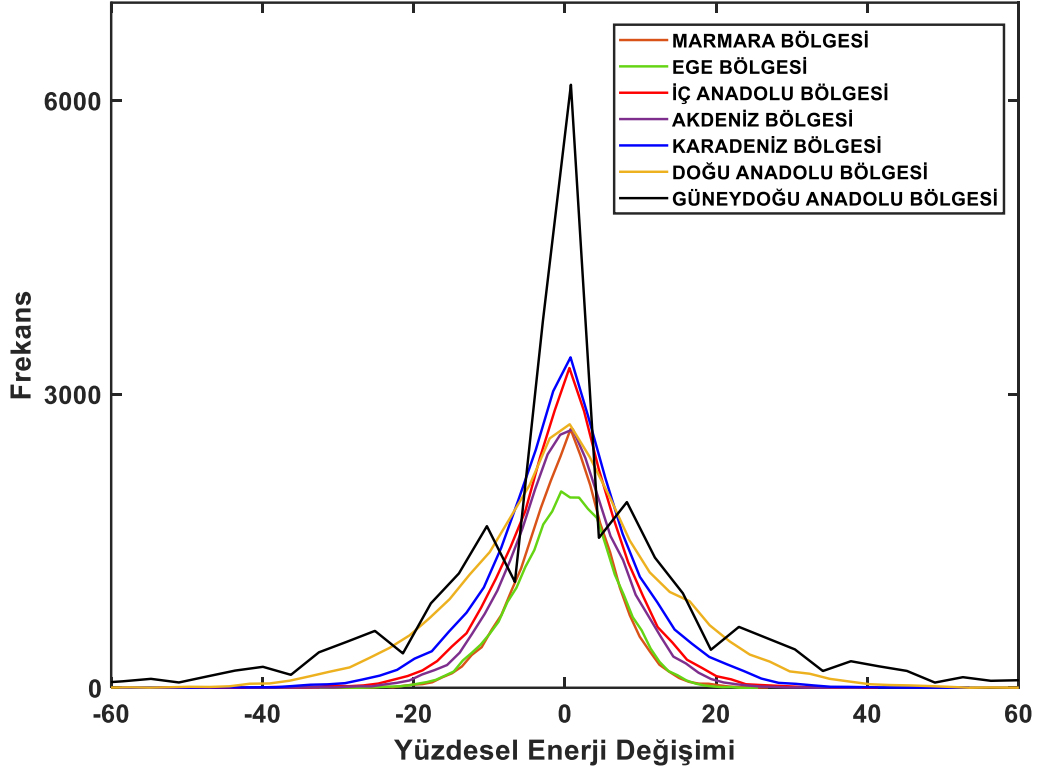
Şekil 5.2. İki saatlik periyottaki rampa olayları

İki saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 208, 197, 302, 263, 373, 464 ve 687'dir. İki saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgesidir. Rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %5, %7,5 ve üzerinde en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiş, %10 ve üzerindeki en düşük rampa olayları ise Ege bölgesinde görülmüştür.



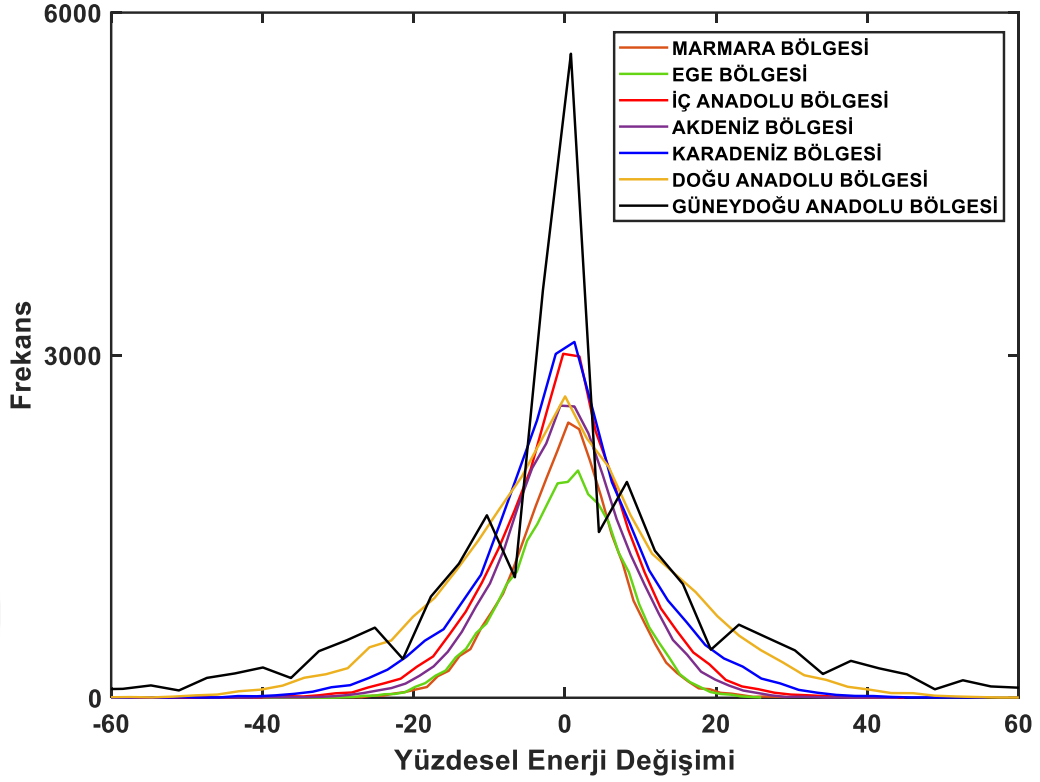
Şekil 5.3. Üç saatlik periyottaki rampa olayları

Üç saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 268, 252, 375, 338, 456, 556 ve 747'dir. Üç saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgesidir. Rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %5, %7,5 ve üzerinde en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiş, %10 ve üzerindeki en düşük rampa olayları ise Ege bölgesinde görülmüştür. Aynı zamanda İç Anadolu bölgesi için toplam kümülatif rampa alanı Akdeniz bölgesinden daha fazla olmasına rağmen kurulu güce göre %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında daha az olduğu görülmüştür.



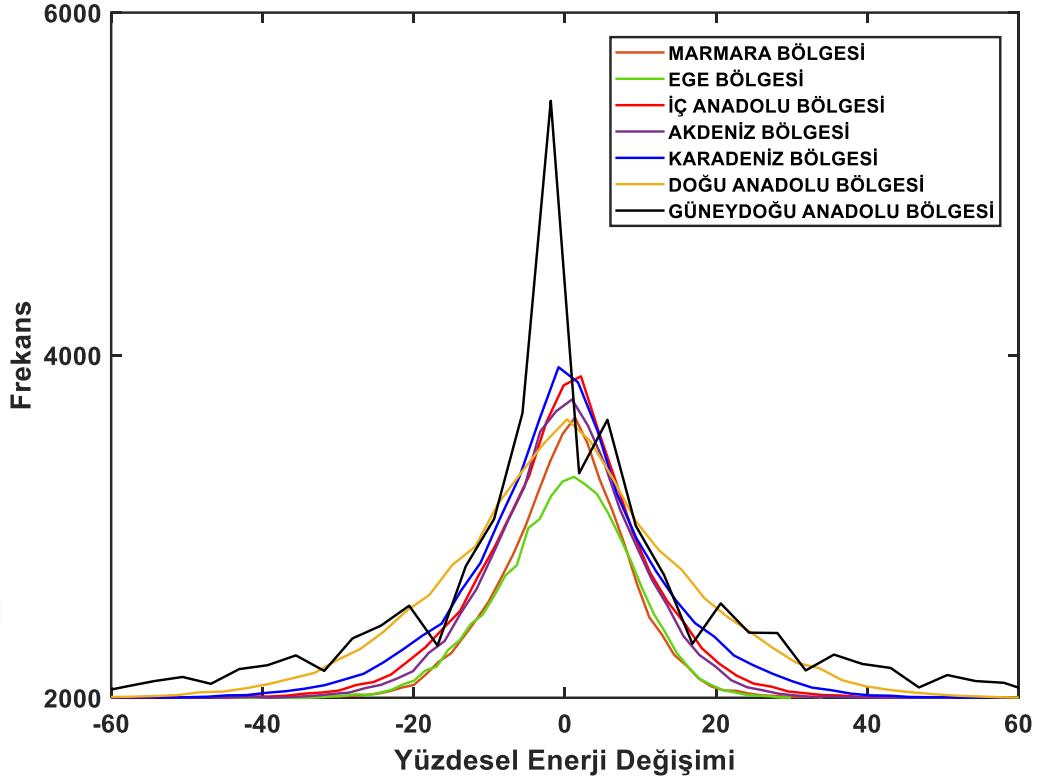
Şekil 5.4. Dört saatlik periyottaki rampa olayları

Dört saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 311, 288, 452, 394, 530, 626 ve 790'dır. Dört saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgesidir. Rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.5. Beş saatlik periyottaki rampa olayları

Beş saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 345, 329, 501, 442, 574, 685 ve 803'tür. Beş saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgesidir. Rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. Altı saatlik periyottaki rampa olayları

Altı saatlik periyottaki rampa olaylarını incelediğimizde Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin toplam kümülatif rampa alanları sırasıyla 392, 368, 537, 500, 605, 727 ve 850'dir. Altı saatlik periyotta en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmüştür. Bu bölgeyi takip eden bölgelerimiz ise sırasıyla Doğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgesidir. Rampa büyüklükleri arttıkça kurulu güce göre %7,5 ve %10 üzerinde en düşük rampa olayları Marmara bölgesinde gözlemlenmiştir. Aynı zamanda İç Anadolu bölgesi için toplam kümülatif rampa alanı Akdeniz bölgesinden daha fazla olmasına rağmen kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında daha az olduğu görülmüştür.

Rampa olaylarında hesaplanan minimum değişim negatif rampayı, maksimum değişim ise pozitif rampayı ifade etmektedir. Tesislerde; geçmişteki üretimlere göre gerçekleşen üretimdeki azalış negatif değişimi, artış ise pozitif değişimi göstermektedir.

Marmara Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif yönlü kümülatif rampa alanları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Rampa olayları kümülatif rampa alanlarına göre incelendiğinde en fazla rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında gözlenmiştir. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı

%10 ve üzerindeki rampa olaylarında görülmüştür. Oluşma şekline göre rampaları incelediğinde, kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında iki saatlik zamansal periyot hariç tüm zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında bir, üç ve dört saatlik zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı iki, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda ise negatif rampa alanı daha fazla olduğu gözlenmiştir. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında ise tüm zamansal periyotlarda pozitif kümülatif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %7,5 ve %10 üzerindeki rampa olaylarında bir saatlik zamansal periyotta toplam rampa alanı 0'a yakındır ve bu değer Marmara Bölgesi için %7,5 ve %10 üzeri rampa olaylarında bir saatlik zamansal periyotta rampa olayı gerçekleşmediğini göstermektedir.

Çizelge 5.1. Marmara Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	1,02	0,90	1,91	0,13	0,08	0,21	0,02	0,01	0,03
<b>2 saat</b>	14,90	17,11	32,01	3,91	4,10	8,01	1,49	1,03	2,53
<b>3 saat</b>	36,87	34,28	71,15	18,02	15,14	33,15	8,14	6,30	14,45
<b>4 saat</b>	56,55	52,83	109,37	30,81	25,61	56,42	15,54	11,51	27,06
<b>5 saat</b>	81,61	69,43	151,04	48,43	50,69	99,12	26,59	25,28	51,87
<b>6 saat</b>	104,64	91,29	195,93	63,26	66,82	130,08	47,87	33,74	81,61

Ege Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif yönlü kümülatif rampa alanları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Rampa olayları kümülatif rampa alanlarına göre incelendiğinde en fazla rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında meydana geldiği görülmüştür. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif yönlü kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında gözlenmiştir. Oluşma şekline göre rampaları incelediğinde, kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında bir ve altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise tüm zamansal periyotlarda pozitif kümülatif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında bir, dört ve altı saatlik zamansal periyotlarda negatif ve pozitif rampa alanları yaklaşık olarak aynı hesaplanmıştır. İki, üç ve beş saatlik zamansal periyotlarda ise pozitif rampa alanı daha fazla olduğu gözlenmiştir. %7,5 ve %10 üzerindeki rampa olaylarında bir

saatlik zamansal periyotta toplam rampa alanı 0'a yakındır ve bu değer Ege Bölgesi için %7,5 ve %10 üzeri rampa olaylarında bir saatlik zamansal periyotta rampa olayı gerçekleşmediğini göstermektedir.

Çizelge 5.2 Ege Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	1,35	1,43	2,77	0,16	0,12	0,28	0,01	0,01	0,03
<b>2 saat</b>	20,00	15,53	35,53	6,35	4,12	10,46	1,72	0,76	2,48
<b>3 saat</b>	37,41	36,73	74,14	20,32	17,63	37,95	6,58	4,72	11,30
<b>4 saat</b>	63,38	62,30	125,69	38,81	34,44	73,25	16,54	16,83	33,37
<b>5 saat</b>	86,42	80,32	166,74	55,58	45,47	101,05	33,58	22,87	56,45
<b>6 saat</b>	88,06	102,53	190,60	71,21	59,98	131,18	44,19	43,77	87,96

İç Anadolu Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif yönlü kümülatif rampa alanları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Kümülatif rampa alanlarına göre rampa olayları değerlendirildiğinde en fazla rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında oluşmuştur. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında meydana gelmiştir. Meydana geliş şekline göre rampalar değerlendirildiğinde kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında bir, beş ve altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.3 İç Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	6,67	7,72	14,39	1,78	1,89	3,67	0,53	0,44	0,97
<b>2 saat</b>	47,72	40,66	88,38	21,01	17,07	38,08	8,45	6,94	15,38
<b>3 saat</b>	75,33	72,28	147,61	36,68	33,08	69,77	24,49	21,85	46,34
<b>4 saat</b>	117,47	96,78	214,25	61,11	67,54	128,65	42,31	45,97	88,28
<b>5 saat</b>	120,51	130,15	250,66	88,96	93,48	182,44	64,16	65,81	129,97
<b>6 saat</b>	136,46	143,96	280,42	102,80	105,64	208,44	75,72	76,53	152,25

%7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise iki ve üç saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında dört, beş ve altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür.

Akdeniz Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif kümülatif rampa alanları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Kümülatif rampa alanlarına göre rampa olayları değerlendirildiğinde en fazla rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında oluşmuştur. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında meydana gelmiştir. Oluşum şekline göre rampalar incelendiğinde, kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise iki ve beş saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında dört saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5.4 Akdeniz Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	9,18	6,84	16,02	1,88	1,99	3,86	0,31	0,38	0,69
<b>2 saat</b>	35,90	30,75	66,65	16,96	13,81	30,77	5,22	5,60	10,82
<b>3 saat</b>	68,78	56,82	125,60	35,09	39,80	74,89	16,28	18,24	34,52
<b>4 saat</b>	91,98	87,08	179,06	48,69	63,36	112,05	34,16	30,61	64,77
<b>5 saat</b>	107,35	98,44	205,79	79,66	72,23	151,89	41,53	51,41	92,93
<b>6 saat</b>	148,24	157,05	305,29	82,96	86,37	169,34	59,82	61,33	121,15

Karadeniz Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif kümülatif rampa alanları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Kümülatif rampa alanlarına göre rampa olayları incelendiğinde en fazla rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında meydana gelmiştir. Aynı zamansal periyotta en küçük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında oluşmuştur. Oluşma şekline göre rampaları değerlendirildiğinde kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında beş ve altı saatlik

zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha fazla olduğu görülmüştür. Beş saatlik zamansal periyotta negatif ve pozitif rampa alanları birbirine çok yakın değerlerdedir. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise 3, 4 ve 5 saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu gözlenmiştir. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında 1, 2 ve 5 saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu, 5 saatlik zamansal periyotta negatif ve pozitif rampa alanları birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.5 Karadeniz Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	16,05	19,90	35,95	7,07	5,90	12,97	1,78	2,44	4,21
<b>2 saat</b>	57,99	66,53	124,52	38,76	30,07	68,83	16,62	20,16	36,78
<b>3 saat</b>	93,34	108,63	201,97	65,74	76,86	142,60	45,66	36,78	82,44
<b>4 saat</b>	136,98	152,88	289,86	98,55	110,22	208,77	70,42	56,18	126,59
<b>5 saat</b>	164,40	164,27	328,67	121,24	122,26	243,50	89,17	89,81	178,98
<b>6 saat</b>	188,41	172,73	361,14	143,19	131,76	274,95	107,70	99,49	207,19

Doğu Anadolu Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki negatif ve pozitif kümülatif rampa alanları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Kümülatif rampa alanlarına göre rampa olayları değerlendirildiğinde en büyük rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında oluşmuştur. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında meydana gelmiştir. Meydana geliş şekline göre rampalar değerlendirdiğinde kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında iki, üç ve dört saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha büyük olduğu görülmüştür. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise beş ve altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında bir, iki ve altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda negatif rampa alanı daha fazla olduğu, beş saatlik zamansal periyotta negatif ve pozitif rampa alanları birbirine yaklaşık olarak eşit değerlerde olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.6 Doğu Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	66,53	56,12	122,66	31,50	38,65	70,16	21,92	18,68	40,60
<b>2 saat</b>	112,80	118,75	231,55	84,78	89,34	174,13	62,84	49,49	112,33
<b>3 saat</b>	145,00	148,79	293,80	111,09	114,53	225,63	84,70	87,18	171,88
<b>4 saat</b>	184,25	206,90	391,15	143,07	161,22	304,29	109,44	125,72	235,16
<b>5 saat</b>	246,99	245,10	492,09	195,34	192,99	388,33	151,73	151,85	303,58
<b>6 saat</b>	270,40	258,37	528,77	214,72	205,79	420,51	168,86	162,70	331,56

Güneydoğu Anadolu Bölgesi için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki, negatif ve pozitif kümülatif rampa alanları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Rampa olayları kümülatif rampa alanlarına göre analiz edildiğinde en yüksek rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında gözlenmiştir. Aynı zamansal periyotta en düşük pozitif ve negatif kümülatif rampa alanı %10 ve üzerindeki rampa olaylarında gözlenmiştir.

Çizelge 5.7 Güneydoğu Anadolu Bölgesi %5, %7,5 ve %10 üzeri kümülatif rampa alanları

	%5 +			%7,5 +			%10 +		
	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam	Pozitif	Negatif	Toplam
<b>1 saat</b>	112,97	137,88	250,85	83,72	83,45	167,17	56,12	62,91	119,03
<b>2 saat</b>	146,99	145,53	292,52	146,99	145,53	292,52	111,67	109,80	221,47
<b>3 saat</b>	212,63	208,80	421,43	162,16	149,56	311,71	162,16	149,56	311,71
<b>4 saat</b>	257,89	237,03	494,92	207,32	237,03	444,35	207,32	177,29	384,61
<b>5 saat</b>	271,94	252,47	524,41	222,83	252,47	475,30	222,83	193,66	416,49
<b>6 saat</b>	313,32	309,69	623,00	237,32	235,91	473,23	186,41	187,59	374,00

Oluşum şekline göre rampalar incelendiğinde kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında bir saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında ise dört ve beş saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha fazla olduğu, bir saatlik zamansal periyotta negatif ve pozitif rampa alanları birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında bir ve altı

saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda pozitif rampa alanı daha büyük olduğu görülmüştür.

Tüm bölgeler için bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki negatif ve pozitif kümülatif rampa alanı toplamaları Çizelge 5.8-5.9 ve 5.10'da verilmiştir. Tüm bölgelerde aynı zamansal dönemde toplam kümülatif rampa alanlarına göre rampa olaylar analiz edildiğinde en yüksek rampa olayları kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olaylarında görülmüştür. En düşük toplam kümülatif rampa alanı ise %10 ve üzerindeki rampa olaylarında gözlenmiştir. %5 ve üzerindeki rampa olaylarında altı saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda en düşük toplam kümülatif rampa alanı Marmara Bölgesi'ne, altı saatlik zamansal periyotta ise en az kümülatif rampa alanı Ege Bölgesi'ne aittir. Ayrıca tüm zamansal periyotlarda en yüksek toplam kümülatif rampa alanı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne aittir. %7,5 ve üzerindeki rampa olaylarında, bir saatlik zamansal periyotta Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi toplam kümülatif rampa alanları 0 olduğu görülmüş olup bu iki bölgede rampa olayı gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Diğer zamansal periyotlarda en düşük kümülatif rampa alanı Marmara Bölgesi'ne aittir. Buna ek olarak, %7,5 ve üzerindeki rampa olayları için tüm zamansal periyotlarda en yüksek kümülatif rampa alanı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne aittir. %10 ve üzerindeki rampa olaylarında, bir saatlik zamansal periyotta Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi toplam kümülatif rampa alanları 0 olduğu görülmüş olup bu iki bölgede rampa olayı meydana gelmediği anlaşılmıştır. Ayrıca iki ve üç saatlik zamansal periyot hariç diğer zamansal periyotlarda en küçük toplam kümülatif rampa alanı Marmara Bölgesi'ne aittir. Buna ek olarak, %10 ve üzerindeki rampa olayları için tüm zamansal periyotlarda en yüksek toplam kümülatif rampa alanı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne aittir.

Çizelge 5.8 Tüm bölgelerin %5 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları

	Marmara	Ege	İç Anadolu	Akdeniz	Karadeniz	Doğu Anadolu	Güneydoğu Anadolu
<b>1 saat</b>	2	3	14	16	36	123	251
<b>2 saat</b>	32	36	88	67	125	232	293
<b>3 saat</b>	71	74	148	126	202	294	421
<b>4 saat</b>	109	126	214	179	290	391	495
<b>5 saat</b>	151	167	251	206	329	492	524
<b>6 saat</b>	196	191	280	305	361	529	623

Çizelge 5.9 Tüm bölgelerin %7,5 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları

	Marmara	Ege	İç Anadolu	Akdeniz	Karadeniz	Doğu Anadolu	Güneydoğu Anadolu
<b>1 saat</b>	0	0	4	4	13	70	167
<b>2 saat</b>	8	10	38	31	69	174	293
<b>3 saat</b>	33	38	70	75	143	226	312
<b>4 saat</b>	56	73	129	112	209	304	444
<b>5 saat</b>	99	101	182	152	244	388	475
<b>6 saat</b>	130	131	208	169	275	421	473

Çizelge 5.10 Tüm bölgelerin %10 ve üzeri toplam kümülatif rampa alanları

	Marmara	Ege	İç Anadolu	Akdeniz	Karadeniz	Doğu Anadolu	Güneydoğu Anadolu
<b>1 saat</b>	0	0	1	1	4	41	119
<b>2 saat</b>	3	2	15	11	37	112	221
<b>3 saat</b>	14	11	46	35	82	172	312
<b>4 saat</b>	27	33	88	65	127	235	385
<b>5 saat</b>	52	56	130	93	179	304	416
<b>6 saat</b>	82	88	152	121	207	332	374

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji, çevreyi kirletmeyen ve tükenmeyen bir enerjidir. Bu enerji çeşitlerinden birisi olan rüzgâr enerjisi de diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi gün geçtikçe şebekeye aktarılması artmaktadır. Fakat rüzgâr enerjisi üretimi yapan santrallerin üretim karakteristiği incelendiğinde kararsız bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu değişken üretim karakteristiği elektrik şebekesinde problemlere sebep olmaktadır.

Bu çalışma, üç yıllık zaman aralığında Türkiye'deki rüzgâr enerji santral üretimlerinde oluşan rampa olaylarının farklı zamansal periyotlarda ve bölgesel olarak incelemesini amaçlamıştır. Çünkü rüzgâr enerji tesislerinde oluşan rampaların büyüklüğünün ve oluşma zamanının bilinmesi, elektrik şebekesinde yapılan planlamalarda işletmelere önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Bu amaçla çalışmada Türkiye'deki Marmara Bölgesi'nde 70, Ege Bölgesi'nde 49, İç Anadolu Bölgesi'nde 19, Akdeniz Bölgesi'nde 13, Karadeniz Bölgesi'nde 10, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 3, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bir rüzgâr enerji santralinin 2019, 2020 ve 2021 yıllarını kapsayan üç yıllık ortalama saatlik üretimleri kullanılmıştır. Bu tesislerin saatlik enerji üretimlerine göre bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda oluşan rampa büyüklükleri, standart sapmaları ve yönü hesaplanmıştır. Kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10'un üzerindeki rampalar incelenmiştir. İnceleme bir, iki, üç, dört, beş ve altı saatlik zamansal periyotlarda bölgesel olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda kurulu güce göre %5 ve üzerindeki rampa olayları altı saatlik zamansal periyot hariç tüm zamansal periyotlarda en az Marmara Bölgesi'nde görülmüştür. Altı saatlik zamansal periyotta %5 ve üzeri için toplam kümülatif rampa alanı Marmara Bölgesi için 196, Ege Bölgesi için ise 191'dir ve bu zamansal periyotta en az rampa olayları Ege Bölgesi'nde görülmüştür.

Kurulu güce göre %7,5 ve üzerindeki rampa olayları bir saatlik zamansal periyot hariç tüm zamansal periyotlarda en az Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiştir. Bir saatlik zamansal periyotta Marmara ve Ege Bölgesi için toplam kümülatif rampa alanı 0'dır ve bu zamansal periyotta en az rampa olayları Marmara ve Ege Bölgesi'nde meydana gelmiştir.

Kurulu güce göre %10 ve üzerindeki rampa olayları bir, iki ve üç saatlik zamansal periyotlar hariç en az Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiştir. İki ve üç saatlik zamansal periyotlarda toplam kümülatif rampa alanları Marmara Bölgesi için sırasıyla; 3 ve 14, Ege Bölgesi için ise sırasıyla; 2 ve 11'dir. Bu nedenle iki ve üç saatlik zamansal periyotlarda en

az rampa olayları Ege Bölgesi'nde görülmüştür. Kurulu güce göre %10 ve üzeri için bir saatlik zamansal periyotta ise Marmara ve Ege Bölgesi için toplam kümülatif rampa alanları 0'dır. Ayrıca kurulu güce göre %5, %7,5 ve %10 üzerindeki rampa olayları tüm zamansal periyotlarda tüm bölgeler içerisinde en fazla rampa olayları Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde Marmara ve Ege Bölgesi'nde diğer bölgelere göre RES üretiminin çok fazla değişken olmadığı ve bu bölgelerde rampa olaylarının bozucu etkisinin çok az olduğu görülmüştür. Aksine Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde diğer bölgelere göre RES üretimindeki değişkenliğin ve şebekedeki bozucu etkinin çok fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde bu çalışma, Türkiye'de kurulması planlanan yeni tesislere bulunduğu bölge açısından ışık tutacak niteliktedir. Aynı zamanda, mevcut kurulu tesisler için ise gerçekleşecek olan rampa olayları için önlem almalarına fayda sağlayabilecek ve Türkiye ölçeğinde rampa olaylarının tahmini üzerine yapılan çalışmalara girdi niteliği taşıyabilecektir.

## KAYNAKÇA

- Abuella, M., & Chowdhury, B. (2018, Eylül 3). Forecasting of Solar Power Ramp Events: A Post-processing Approach. Department of Electrical and Computer Engineering, Energy Production and Infrastructure, Center, University of North Carolina at Charlotte, nc 28223 USA.
- Akbıyık, A. (2017, Temmuz 1). Güneş Enerjisi Santrali Ön Fizibilite Etüdü ve Yol Haritası. Ankara AB Yatırım Danışmanlık: <https://124.im/bYu> adresinden alındı.
- Andrade, F., & Plaza, J. D. (2021). Comparative and Cost Analysis of a Novel Predictive Power Ramp Rate Control Method: A Case Study in a PV Power Plant in Puerto Rico. *Applied Sciences*, 11-5766.
- Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Martinez, P., & Antonanzas, T. (2016). Review of Photovoltaic Power Forecasting. 78-111. *Solar Energy*.
- Asensio, A. P., Gómez, S. A., & Rodriguez-Amenedo, J. L. (2017). Master of Power: A Power Plant Controller and Energy Management System Concept. 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America). Quito, Ecuador. Quito, Ecuador: IEEE Xplore.
- Ataman, A. R. (2007). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Ankara: Ankara Üniversitesi, Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi (Yönetim Bilimleri) Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, M. (2016). Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: Türkiye Değerlendirmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi / Journal of Administrative Sciences*, Cilt / Volume: 14, Sayı / N: 28, ss. / pp.: 409-441.
- Behçet, R., Gül, H., Oral, H., & Oral, F. (2014). Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Bakımından Malatya İlinin Doğu Anadolu Bölgesindeki Yeri.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye’nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 37-54.
- Ceylan, M. (2016). Güç Kontrolü. *Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı* (s. 122-124). içinde Seçkin Yayıncılık.

- Ceylan, M. (2016). Rüzgâr Enerjisi. Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı (s. 109-110). içinde Seçkin Yayıncılık.
- Ceylan, M. (2016). Rüzgâr Güç Potansiyelinin Analizi. Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı (s. 112-114). içinde Seçkin Yayıncılık.
- Ceylan, M. (2016). Rüzgâr Türbinleri. Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı (s. 116-122). içinde Seçkin Yayıncılık.
- Couto, A., Costa, P., Rodrigues, L. ., Lopes, V. V., & Estanqueiro, A. (2015). Impact of Weather Regimes on the Wind Power Ramp Forecast in Portugal. IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 6, no. 3, pp. 934–942, 2015.
- Couto, A., Costa, P., Rodrigues, L., & Lopes, V. (2015). Impact of Weather Regimes on the Wind Power Ramp Forecast In Portugal. IEEE Transactions on Sustainable Energy ( Volume: 6, Issue: 3, July 2015) (s. 934-942). IEE Xplore.
- Çavdar, B., Akyazı, Ö., & Nuroğlu, F. M. (2021). Fotovoltaik Santrallerin Rampa Oranlarının Güç Sistemi Kararlılığına Etkisi. Journal of Investigations on Engineering & Technology, 28-35.
- Çetin, Ö. (2022). Güneş Enerji Santrallerinde Derin Öğrenme İle Aylık Elektrik Üretim Tahmini. Burdur: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Çoşkun, O. (2020, Haziran 23). ESMühendisliği: <https://124.im/lirejFY> adresinden alındı.
- D’Amico, G., Petroni, F., & Vergine, S. (2021, Temmuz 5). An Analysis of a Storage System for a Wind Farm with Ramp-Rate Limitation.
- Dhiman, H. S., Deb, D., & Guerrero, J. M. (2019). Hybrid Machine Intelligent SVR Variants for Wind Forecasting and Ramp Events.
- Durmuş, A., & Kumbaroğlu, G. (2021, Nisan 12). Türkiye Enerjide Dışa Bağımlılığını Azaltma Yönünde İlerliyor. Boğaziçi Üniversitesi Haberler: <https://shorturl.at/goLN4> adresinden alındı.

- Ekström, J., Koivisto, M., Mellin, I., Millar, R. J., & Lehtonen, M. (2018, Eylül 14). A Statistical Modeling Methodology for Long-Term Wind Generation and Power Ramp Simulations in New Generation Locations.
- Ela, E., & Kemper, J. (2009, Aralık). Wind Plant Ramping Behavior.
- Elibüyük, U., & Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum .
- Enerji, A. (2022, Temmuz 4). Aydem Enerji. <https://shorturl.at/goDG2> adresinden alındı.
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 277-303.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri : Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. Yönetim Bilimleri Dergisi, Cilt: 10, Sayı: 19, ss. 1-30,.
- Ersöz, A. (2022, Ekim 27). Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü Gelecek Yaklaşımları. Temiz Enerji Haber Portalı.
- Ery, A. C., Jan, K., & Matthew, L. (2014, Ocak 20). A Poisson Model for Anisotropic Solar Ramp Rate Correlations.
- Frate, G. F., Cherubini, P., Tacconelli, C., Micangeli, A., Ferrari, L., & Desideri, U. (2019). Ramp Rate Abatement for Wind Power Plants: A Techno-Economic Analysis. Applied Energy (s. 254-255). içinde Science Direct.
- GENSED. (2022, Kasım 14). Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği. <https://shorturl.at/ejqR9> adresinden alındı.
- Gevorgian, V., & Booth, S. (2013). Review of PREPA Technical Requirements for Interconnecting Wind and Solar Generation. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States) (s. 72). içinde United States: U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.
- Gök, A. O., Yıldız, C., & Şekkel, M. (2019). Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Güneş Enerjisi Santrali Üretim Tahmini: Kahramanmaraş Örnek Çalışması. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1(2),186-195.

- Görez, T., & Alkan, A. (2005). Türkiye' Nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, (s. 21-22). Antalya.
- Huotari, M., Tengner, T., & Johansson, N. (2015). Control of Energy Storage Units to Limit Active Power Ramp-Rates of Renewable Energy Sources Using Non-ideal Generation Forecasts. Charlotte, NC, ABD: 2015 Kuzey Amerika Güç Sempozyumu (NAPS).
- İnan, İ., Akbulut, İ., & Aslan, E. (2018). Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez e Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi. Türk Dünyası Araştırmaları, 11-40.
- Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 193-201.
- Karadöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji . SETA, 197.
- Karadöl, İ. (2022). Nehir Tipi Hidroelektrik Güç Santrallerinin Rampa Olaylarının Mevsimsel Değerlendirilmesi. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1)2023.
- Karadöl, İ., & Şekkeli, M. (2021, Ocak 17). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinde Rampa Olayları: Türkiye Örneği. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 361-375.
- Karadöl, İ., Yıldız, C., & Şekkeli, M. (2020). Spatial Distribution Optimization of Wind Power Plants to be Installed in Turkey to Minimize Wind Power Ramp Events. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji, 959-971.
- Kayri, İ. (2017). Güneş Panelleri İle Üretilen Enerjinin Ortam Bilgileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Kılıç, H. (2016). Güneş Enerjisi İle İlgili Meteorolojik Verilerin Tahmini İçin Yöntem Geliştirilmesi. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları Yenilenebilir Enerji Durumu.

- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, Cilt 56, sayı 668, s. 36-47.
- Koçaslan, G. (2020). Dünyada Ve Türkiye’de Güneş, Rüzgâr Ve Jeotermalde Güncel İktisadi Görünüm. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 213-226.
- Kök, M., & Yakıncı, Z. D. (2017). Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı. Malatya: İnönü Üniversitesi. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt 5 , Sayı 1.
- Küçükkaya, E. (2019, Mart 18). Enerji Portalı. <https://shorturl.at/gisI4> adresinden alındı.
- Lappalainen, K., Wang, G., & Kleissl, J. (2020). Estimation of The Largest Expected Photovoltaic Power Ramp Rates. Applied Energy.
- Leblebicioğlu, E. (2021, Eylül 23). Rüzgâr Türbini Nedir ? Nasıl Çalışır? Mühendis Beyinler: <https://shorturl.at/hjtI5> adresinden alındı.
- Li, Y., Musilek, P., & Lozowski, E. (2017). Improving The Prediction Of Wind Power Ramps Using Texture Extraction Techniques Applied To Atmospheric Pressure Fields. International Journal of Data Science and Analytics , 237-250.
- Lia, H., Wang, J., Lu, H., & Guo, Z. (2018). Research And Application Of A Combined Model Based On Variable Weight For Short Term Wind Speed Forecasting. Renewable Energy, vol. 116, pp. 669–684, 2018.
- Martins, J., Spataru, S., Sera, D., Stroe, D.-I., & Lashab, A. (2019, Nisan 8). Comparative Study of Ramp-Rate Control Algorithms for PV with Energy Storage Systems.
- Moiseeva, E., Hesamzadeh, M. R., & Bigga, D. (2015). Exercise of Market Power on Ramp Rate in Wind-Integrated Power Systems. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, 1614-1623.
- Mukherjee, S., Teleke, S., & Bandaru, V. (2011). Frequency Response and Dynamic Power. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. Detroit, MI, USA: IEE Xplore.

- Mutlu, N., Tolay, M., Karaca, C., & Öztürk, H. (2019). Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 53-59.
- Niele, F. (2005). *Energy Engine and Evolution*. içinde.
- Oskay, C. (2014). Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Rüzgâr Enerjisinin Önemi Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarına Yönelik Teşvikler. *İğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 76-94.
- Parra, İ., Marcos, J., & Garcia, S. M. (2015). Control Strategies to Use the Minimum Energy Storage Requirement for PV Power Ramp-Rate Control. *Solar Energy*, 332-343.
- Parra, İ., Marcos, J., Garcia, M., & Marroyo, L. (2016). Dynamic Ramp-Rate Control to Smooth Short-Term Power Fluctuations in Large Photovoltaic Plants Using Battery Storage Systems. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Florence,İtaly: IEEE Xplore.
- Parra, İ., Marcos, J., Garcia, M., & Marroyo, L. (2018). Dealing With the Implementation of Ramp-Rate Control Strategies –Challenges and Solutions to Enable PV Plants With Energy Storage Systems to Operate Correctly. *Solar Energy*, 242-248.
- Parra, İ., Marcos, J., Garcia, S. M., & Marroyo, L. (2016). Improvement of a Control Strategy for PV Power Ramp-Rate Limitation Using the Inverters: Reduction of the Associated Energy Losses. *ScienceDirect,Solar Energy*, 262-268.
- Perakende, A. (2022, Eylül 23). Aydem Perakende: <https://shorturl.at/luvHT> adresinden alındı.
- Perakende, A. (2022, Eylül 15). Aydem Perakende. <https://shorturl.at/fqNOW> adresinden alındı.
- Poe, W. a., & Mokhatab, S. (2008). *Combustion Optimization and Power Plant Performance Enhancements*.
- Pourmousavi, A., & Saha, T. K. (2018). Evaluation Of The Battery Operation İn Ramp-Rate Control Mode Within A PV Plant: A Case Study. *Solar Energy*, 242-254.

- Probst, O. (2020). A New Strategy for Short-Term Ramp Rate Control in Wind Farms. *Electrical Power and Energy Systems*,.
- Probst, O., & Minchala, L. (2021). Mitigation of Short-Term Wind Power Ramps through Forecast-Based Curtailment. *Applied Sciences*, 11-4371.
- Radu, D., Berger, M., R. F., Hardy, S., Fettweis, X., Du, M. L., . . . Ernst, D. (2019). Complementarity Assessment Of South Greenland Katabatic Flows And West Europe Wind Regimes. *Energy*, vol. 175, pp. 393–401, 2019.
- Ramasubramanian, D. (2021). Importance of Considering Plant Ramp Rate Limits for Frequency Control in Zero Inertia Power Systems. 2021 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech). USA: Grid Operations & Planning Group, Electric Power Research Institute, Knoxville, Tennessee.
- Reindl, T., Walsh, W., Yanqin, Z., & Bieri, M. (2017). Energy Meteorology For Accurate Forecasting of PV Power Output on Diffrent Time Horizons. *Science Direct-Energy Procedia*, 130-138.
- Sangwongwanich, A., & Yang, Y. (2016). A Cost-Effective Power Ramp-Rate Control Strategy for Single-Phase Two-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems.
- Schnabel , J., & Valkealaht, S. (2016). Energy Storage Requirements for PV Power Ramp Rate Control in Northern Europe. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, s. 1-11.
- Song, T., Liu, B., Ma, H., & Li, J. (2020). Forecasting of Wind Capacity Ramp Events Using Typical Event Clustering Identification. *IEEE Access*.
- Süme, V., & Fırat, S. S. (2020). Hidroelektrik Santraller ve Trabzon İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, *Türk Hid. Der. (Tur. J. Hyd.)*, Sayfa 11-24.
- Şenel, M. C., & Koç, E. (2015, Nisan 17). Dünyada Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu Genel Değerlendirme.

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022, Ağustos 17). <https://shorturl.at/MV235> adresinden alındı.
- Taşbaşı, D. (2023, Nisan 13). Temiz Enerji Haber Portalı. <https://shorturl.at/sHNTW> adresinden alındı.
- Taşkın, H. (2019, Mart 19). Biyokütle Enerjisi Nedir? Kullanım Yerleri ve Avantajları. Ungo: <https://shorturl.at/xzPS7> adresinden alındı.
- Tatlı, H. (tarih yok). Atmosferik Kuvvetler ve Rüzgâr Genel Dolaşım (Sirkülasyon). Klimatoloji ve Meteoroloji (s. Ünite 4). içinde Çanakale.
- Unchugchun, P., & Audomvongseree, K. (2017). Determination of Optimal Battery Size in Generation. 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). Phuket, Thailand: IEEE Xplore.
- Wang, Y., Zhang, K., Teng, X., Ding, Q., & Huang, X. (2015, Nisan 15). Coordinated Operation of Wind Power and Other Resources Considering Power System Requirements. Journal of Renewable and Sustainable Energy.
- Web 1. (tarih yok). Web 1: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji> adresinden alındı.
- Web 2. (2023, Mayıs 15). Yenilenemez Enerji Kaynaklarının Dezavantajları. İzmir Enerji: <https://124.im/6gqCQsv> adresinden alındı.
- Web 3. (tarih yok). Wikipedia. Web 3: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Fosil\\_yak%C4%B1t](https://tr.wikipedia.org/wiki/Fosil_yak%C4%B1t) adresinden alındı.
- Web 4. (tarih yok). Web 4. Allianz: <https://shorturl.at/ainuz> adresinden alındı.
- Web 5. (2021, Ağustos 30). Küresel Jeotermal Enerji Talebinin % 11,5'i Türkiye'den! Enerji Gazetesi: <https://shorturl.at/gjxQZ> adresinden alındı.
- Web 6. (tarih yok). Rüzgar Çeşitleri. Bilgipedia. adresinden alındı.
- Web 7. (2019, Ekim 28). Rüzgâr Enerjisinin 7 Faydası. Pitech: <https://piltech.com.tr/ruzgar-enerjisinin-7-faydasi/> adresinden alındı.

- Web 8. (2023, Mart 23). Wind Power Installations 2022 Stay Below Expectations. Reve: <https://shorturl.at/dmLW3> adresinden alındı.
- Web 9. (tarih yok). Enerji Beş Temiz Enerji Portalı. Enerji Beş Temiz Enerji Portalı: <https://www.enerjibes.com/turkiye-ruzgar-enerjisi-santralleri/> adresinden alındı.
- Web 10. (2019, Mayıs 6). How does a wind turbine work ? Action Renewables: <https://shorturl.at/hnJSY> adresinden alındı.
- Web 11. (2020, Temmuz 17). Temiz Enerji Haber Portalı. Temiz Enerji Haber Portalı: <https://124.im/fV0> adresinden alındı.
- Web 12. (tarih yok). Rüzgâr Türbinlerinde Asenkron Jeneratör Kullanımı. Enerjimiz: <https://124.im/2SrNB> adresinden alındı.
- Web 13. (tarih yok). Planetary Gear Increase Speed. Peng: <https://124.im/NKS4UCa> adresinden alındı.
- Web 14. (tarih yok). Rüzgâr Türbini Tasarımı. Vikipedi: <https://124.im/pwm4Tl> adresinden alındı.
- Web 15. (2015, Aralık 3). Rüzgâr Enerjisi Hakkında Doğru Bilinen Yanlışlar. Ekoyapı: <https://124.im/39uXHA5> adresinden alındı.
- Web 16. (tarih yok). Integration Using the Trapezoidal Method. Calvin Üniversitesi: <https://cs.calvin.edu/courses/cs/374/exercises/05/lab/> adresinden alındı.
- Yakıncı, Z. D., & Kök, M. (2017). Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu.
- Yılmaz, Ş. (2016). Dünyada Ve Türkiye’de Birincil Enerji Arzı. Türkiye’nin Enerji Görünümü, 5-17.
- Zaim, A., & Çavşı, H. (2018). Türkiye’deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu. Mühendis ve Makina, 45-58.
- Zucatelli, P., Nascimento, E., Santos, A., Arce, A., & Moreira, D. (2021, Mayıs 6). An investigation on deep learning and wavelet transform to nowcast wind power and wind power ramp: A case study in Brazil and Uruguay.