



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTA KAPASİTELİ HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİNDE FİZİBİLİTEYE GÖRE VERİLEN
ENERJİ ÜRETİMİ ETKİ FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ
VE ANALİZİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Betül DEMİR

172108008

Temmuz 2019

GİRESUN

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA KAPASİTELİ HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİNDE FİZİBİLİTEYE GÖRE VERİLEN
ENERJİ ÜRETİMİ ETKİ FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ
VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül DEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Atılgan ALTINKÖK

Temmuz 2019

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA KAPASİTELİ HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİNDE FİZİBİLİTEYE GÖRE VERİLEN
ENERJİ ÜRETİMİ ETKİ FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ
VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül DEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez 10/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mehmet KARA
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Serdar
KARADENİZ
Üye


Doç. Dr.
Atılgan ALTINKÖK
Üye

.....
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Betül DEMİR

08/08/2019,



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren bilgi birikimi ve tecrübesiyle geliőtiren, aydınlatan çok değerli tez danıőmanım saygıdeğer Doç. Dr. Atılđan ALTINKÖK'e desteğinden dolayı teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın en kıymetlileri her zaman yanımda duran baőarılı olacağıma gönülden inanan sevgili aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

AGB Enerji Yatırımları İnaaat San. ve Tic. A.Ő. iőtirakine desteklerinden dolayı tecrübesini ve birikimlerini her daim öğreten Danıőmanım Kaya BAŐYILDIZ ve Koordinatrm iğdem SARI'ya Őukranlarımı sunuyorum.

Çalışma hayatıma ve tez çalıőmama katkı sağlayan vermiŐ olduğu destekten ve emeğinden dolayı her zaman yanımda olan Kalyoncu Enerji Genel Müdür Yardımcısı nal KALYONCU'ya teşekkür ederim.

Çalıőmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaŐım Nur YILDIZ'a, desteklerinden dolayı Damla Gl KELEŐ, BüŐra BORUZA ve Elif DÜNDAR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
ÖZET.....	IX
SUMMARY	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Hidroelektrik Santrallerin Tarihçesi.....	3
2.2. Hidroelektrik Santraller.....	7
2.3. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	8
2.3.1. Düşü yüksekliğine göre hidroelektrik santraller	8
2.3.2. Üretilen enerjinin değeri ve özelliğine göre hidroelektrik santraller	9
2.3.3. Kapasitesine göre hidroelektrik santraller.....	10
2.3.4. Yapı özelliğine göre hidroelektrik santraller.....	13
2.3.5. Depolama alanlarına göre hidroelektrik santraller	16
2.4. Su Türbinlerinin Sınıflandırılması	20
2.4.1. Etkili türbinler (aksiyon türbinleri)	20
2.4.2. Tepkili türbinler (reaksiyon türbinleri)	20
2.5. Türbin Çeşitleri	21
2.5.1. Pelton türbinler.....	21
2.5.2. Turgo türbinler	23
2.5.3. Banki türbinler	24

2.5.4. Kaplan türbinleri	24
2.5.5. Francis türbinler	26
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1. Yumrutepe Hidroelektrik Santraline Ait Bilgiler ve Çalışma Şekli.....	29
3.2. Yumrutepe HES Enerjinin Üretim ve Dağıtım:.....	37
3.3. Giresun Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri	39
3.4. HES Üretim Verimliliği	40
3.5. Kapasite Faktörü	41
3.5.1. Kapasite faktörünün hesaplanması.....	43
3.5.2. Hidroelektrik santralleri kapasite faktörlerini etkileyen nedenler.....	44
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	45
4.1. Yumrutepe HES Fizibilite Raporuna Göre Üretim.....	45
4.2. Yumrutepe HES 2018 Gerçekleşen Üretimi	46
4.3. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretimin Ortalama Aktüel Basınç ile İlişkisi	46
4.4. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim ve Ortalama Sıcaklık	48
4.5. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim ve Ortalama Nispi Nem	50
4.6 Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim Ve Ortalama Yağış Miktarı	52
4.7. Yumrutepe HES Üretim Verimliliği	54
4.8. Yumrutepe HES Kapasite Faktörü.....	55
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
h	: Net Düşü (m)
g	: Yerçekimi İvmesi (m/s^2)
P_a	: Gerçekleşen Üretim Miktarı (W)
ρ	: Suyun Yoğunluğu (Kg/m^3)
Q	: Türbine Gelen Suyun Debisi (m^3/sn)
μ	: Verimlilik
A	: Akım
AC	: Alternatif Akım
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
cm	: Santimetre
CO ₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru akım
DSİ	: Devlet Su İşleri
EIA	: Enerji Bilgi Daire Başkanlığı
GW	: Gigawatt
HES	: Hidroelektrik Santrali
hPA	: Hectopascal
Hp	: Beygir Gücü
Hz	: Hertz
IEA	: Ulusal Enerji Ajansı
kV	: Kilovolt
kWh	: Kilowatt saat
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt saat

OECD	: Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
SCADA	: Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TW	: Terawatt
V	: Volt
W	: Watt



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. 1971-2016 Arasında Bölgesel Hidroelektrik Enerji Üretim Miktarının Gelişimi	4
Şekil 2.2. 2017 Yılı Dünyada Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Kapasitesi	4
Şekil 2.3 Dünyada İlk 10 Ülkenin Hes Kurulu Gücü	5
Şekil 2.4. Avrupa'nın Hes Kurulu Gücü Bakımından 10 Ülkesi	6
Şekil 2.5. 2017 Yılı Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Gücü	7
Şekil 2.6. Akköy 2 Yaşmaklı Hes Projesi	9
Şekil 2.7. Melikom Hes Projesi	10
Şekil 2.8. Yumrutepe Hes Projesi	12
Şekil 2.9. Atatürk Barajı Projesi	13
Şekil 2.10.Yeraltı Hidroelektrik Santrali (Deriner Hes)	14
Şekil 2.11.Yarı Gömülü Ve Batık Santral (Yumrutepe Hes).....	15
Şekil 2.12. Yerüstü Santrali (Hızır Hes)	16
Şekil 2.13. Nehir Tipi Hidroelektrik Santral (Lamas Hes)	17
Şekil 2.14. Kanal Tipi Hes Uygulaması	18
Şekil 2.15.Barajlı Hidroelektrik Santral (Karakaya Hes)	19
Şekil 2.16. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral	20
Şekil 2.17. 5 Adet Su Jetine Sahip Pelton Türbin	22
Şekil 2.18. Turgo Türbin Modeli	23
Şekil 2.19. Banki (Crossflow) Türbin Modeli	24
Şekil 2.20. 3 Adet Kanata Sahip Kaplan Türbin	25
Şekil 2.21. Düşey Eksenli Francis Türbin	27
Şekil 2.22. Yatay Eksenli Salyangoz Şeklinde Francis Türbin	28
Şekil 3.1. Yumrutepe Hes Regülatör Alanı.....	30
Şekil 3.2. Yumrutepe Hes Çökeltim Havuzu	35
Şekil 3.3. Yumrutepe Hes Yükleme Havuzu	36

Şekil 3.4. Yumrutepe Hes 3 Adet Senkron Jeneratör.....	38
Şekil 4.1. Yumrutepe Hes Fizibilite Raporu Aylık Dağılım Grafiği	45
Şekil 4.2. Gerçekleşen Üretimin Aylara Göre Dağılım Grafiği.....	46
Şekil 4.3. a) 2018 Yılı Gerçekleşen Enerji Üretim Grafiği b) 2018 Yılı Ortalama Aktüel Basınç Grafiği.....	47
Şekil 4.4. Ortalama Aktüel Basıncın Aylık Gerçekleşen Üretim Grafiği.....	48
Şekil 4.5. a) 2018 Yılı Gerçekleşen Enerji Üretim Grafiği b) 2018 Yılı Ortalama Sıcaklık Grafiği	49
Şekil 4.6. Yumrutepe Hes Aylık Ortalama Sıcaklık Ve Gerçekleşen Üretim Grafiği	50
Şekil 4.7. a) 2018 Yılı Gerçekleşen Enerji Üretim Grafiği b) 2018 Yılı Ortalama Nispi Nem Grafiği	51
Şekil 4.8. Aylık Ortalama Nispi Nem Ve Gerçekleşen Üretim Grafiği.....	52
Şekil 4.9. a) 2018 Yılı Gerçekleşen Enerji Üretim Grafiği b) 2018 Yılı Ortalama Yağış Grafiği	53
Şekil 4.10. Aylık Ortalama Yağış Miktarı ve Gerçekleşen Üretim Grafiği.....	54
Şekil 4.11. 2018 Yılı Yumrutepe Hidroelektrik Santrali Verimlilik Grafiği	55
Şekil 4.12. 2018 Yılı Yumrutepe Hes Aylık Kapasite Faktörü Değerleri	56

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Radyal Kapakların Otomatik Açılma Aralığı	31
Tablo 3.2. Radyal Kapakların Tahliye Durumunda Attıkları Su Debisi.....	31
Tablo 3.2. (Devamı)	32
Tablo 3.2. (Devamı)	33
Tablo 3.3. Yumrutepe Hes Aylık Can Suyu Miktarı	34
Tablo 3.4. Yumrutepe Hes Havuz Kot Seviyeleri.....	36
Tablo 3.5. Yumrutepe Hes Türbin Ve Senkron Jeneratör Bilgileri	37
Tablo 3.6. Aylık Fizibilite Üretim Değerleri	39
Tablo 3.7. Aylık Ortalama Aktüel Basınç (Hpa)	39
Tablo 3.8. Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	40
Tablo 3.9. Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	40
Tablo 3.10. Aylık Ortalama Yağış Miktarı (kg/m ²).....	40
Tablo 3.11. Ortalama Debinin Aylık Değişimi.....	41
Tablo 3.12. Aylık Verimlilik Değeri.....	41
Tablo 3.13. Ortalama Kapasite Faktörü	42
Tablo 3.14. 2013-2018 Yılları Farklı Tip Elektrik Santralleri Kapasite Faktörü	43

ORTA KAPASİTELİ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE FİZİBİLİTEYE GÖRE VERİLEN ENERJİ ÜRETİMİ ETKİ FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ VE ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, orta kapasiteli hidroelektrik santral sınıfında inceleme yapılmış olup bu santral sınıfında yer alan Yumrutepe HES örneği üzerinde çalışıldı. Bu amaçla, 2018-2019 yılları arasında Yumrutepe hidroelektrik santralinin gerçekleşen enerji üretimi, aylık ortalama aktüel basınç, sıcaklık, nispi nem, yağış miktarı ve türbinlerden geçen debi miktarı gibi parametrelerin bu hidroelektrik santralin üzerindeki üretimine etkileri, verimliliği ve kapasite faktörünün hesaplanması yapıldı. Kullanılan bu parametreler yardımıyla üretilen veriler Yumrutepe hidroelektrik santralin fizibilite raporundaki veriler ile karşılaştırılarak incelendi.

Söz konusu parametrelerin oldukça etkili olduğu görülmüş olup ve bu sonuçlara göre en yüksek gerçekleşen enerji üretimi 5932 MWh ile Mart ayında ve en düşük 782 MWh ile Eylül ayında gerçekleşti. Enerji üretiminin verimliliğine bakıldığında 2018 yılı içerisinde en fazla üretimin olduğu Mart ayında değil Aralık ayında olduğu hesaplandı. Bu sonuca göre, HES'te enerji üretiminin fazla olmasının çok verimlilik oluşturmadığı sonucuna varıldı. Artışı ile kWh başına üretim maliyetini düşürdüğü bilinen kapasite faktörünün en yüksek değeri %55 ile Mart ayında aldığı ve en düşük %7 ile Eylül ayında olduğu yapılan hesaplamalar sonucu bulundu. Böylece enerji üretimi ile kapasite faktörü değişiminin doğru orantılı olduğu ispatlandı.

Anahtar kelimeler: Orta kapasiteli hidroelektrik santral, enerji üretimi, enerji verimliliği, kapasite faktörü, Yumrutepe HES

INVESTIGATION AND ANALYSIS OF ENERGY PRODUCTION EFFECT FACTORS GIVEN ACCORDING TO FEASIBILITY STUDY IN THE MEDIUM CAPACITY HYDROELECTRIC POWER PLANTS

SUMMARY

In this study, medium capacity hydroelectric power plant class was investigated and Yumrutepe HES case was studied in this power plant class. For this purpose, the effects of parameters, such as energy generation realized of Yumrutepe hydroelectric power plant, monthly average partial pressure, temperature, relative humidity, rainfall and the mass flow rate of water passing through turbines, on the efficiency and capacity factor of the Hydroelectric power plant was calculated between 2018-2019 years. The data produced by these parameters were compared with the data in the feasibility study of the Yumrutepe hydroelectric power plant and investigated.

These parameters were found to be very effective, and according to these results the highest real energy production was achieved in March with 5932 MW and the lowest actual energy production was in September with 782 MW. When the efficiency of energy production is analyzed, it is calculated that the most production is in December, not in March in 2018. Thus, it was concluded that high energy production in the hydroelectric power plant generally does not create much efficiency. It was found that the capacity factor, which is known to decrease the production cost per kWh with the increase, has the highest value in March with 55% and the lowest in September with 7%. Thus, it has been proved that energy factor and change of capacity factor is directly proportional.

Keywords: Medium capacity Hydroelectric power plant, hydropower energy production, energy efficiency, capacity factor, Yumrutepe HES

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı ile gelişen teknoloji ve sanayileşmeyle birlikte enerjiye duyulan talep fazlalaşmaya başlamıştır. Enerji ülkelerin gelişmesi, kalkınması ve ekonomik açıdan önemli olup enerjiyi temiz, ucuz ve kolay yoldan elde edebilmek için araştırmalar hız kazanmıştır. Enerji açığını karşılamak için fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilen enerjiyle karşılanmış ancak fosil kaynaklı yakıtların tükenebilir olması, atmosferde arttırdığı CO₂ miktarı gibi etkilerden doğaya ve insanlara verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerjiye yönelim başlamış gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte yenilenebilir enerjiye yatırımlar yapılarak hızla büyümeye başlamıştır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacı gelişen sanayi ve teknolojiye paralel olarak artış göstermiştir. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülke olmasına karşın ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir bölümünü dış ülkelere ithal etmektedir. İthalatı azaltmak ve bir nebze enerji açığını kapatmak için enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmış özellikle çevreye daha az zarar veren ve ekonomik açıdan uygun olan yenilenebilir enerjiye ve bu sektöre ilgi büyümeye başlamıştır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları açısından yaygın olarak tercih edilen santraller hidroelektrik santralleridir (HES) [1].

Tercih edilmesinin sebepleri arasında fosil yakıtlar gibi herhangi bir hammaddeye gereksinim duymamasından kaynaklı kurulum ve işletme maliyeti azlığı ve aynı zamanda enerji üretimi esnasında atmosfere zararlı madde göndermemesi bakımından temiz bir enerjidir. Diğer enerji kaynaklarına oranla işletme ömrü uzun, ucuz işletme maliyeti ve verimlilik açısından yüksektir. Ülkeye olan katkısı düşünülerek bu tez çalışmasında Hidroelektrik santral üzerine çalışılmıştır. Orta kapasiteli hidroelektrik santral olan Giresun ili Yumrutepe HES örneği ele alınarak fizibiliteye göre yapılan

verilerin 2018-2019 yılları arasındaki bir yıllık gerçekleşen veri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

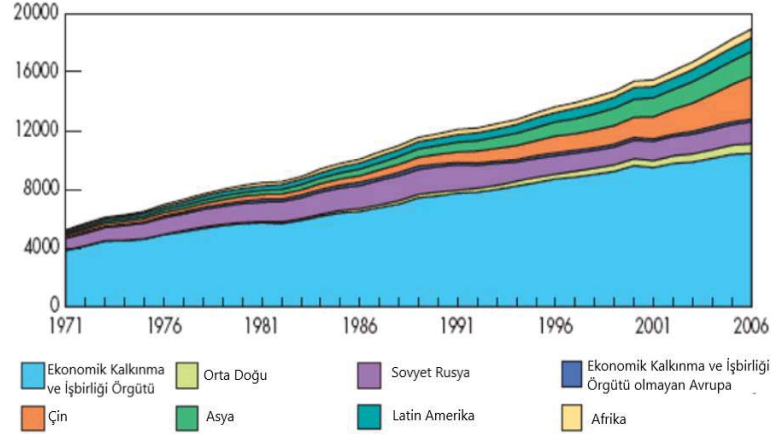


BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hidroelektrik Santrallerin Tarihçesi

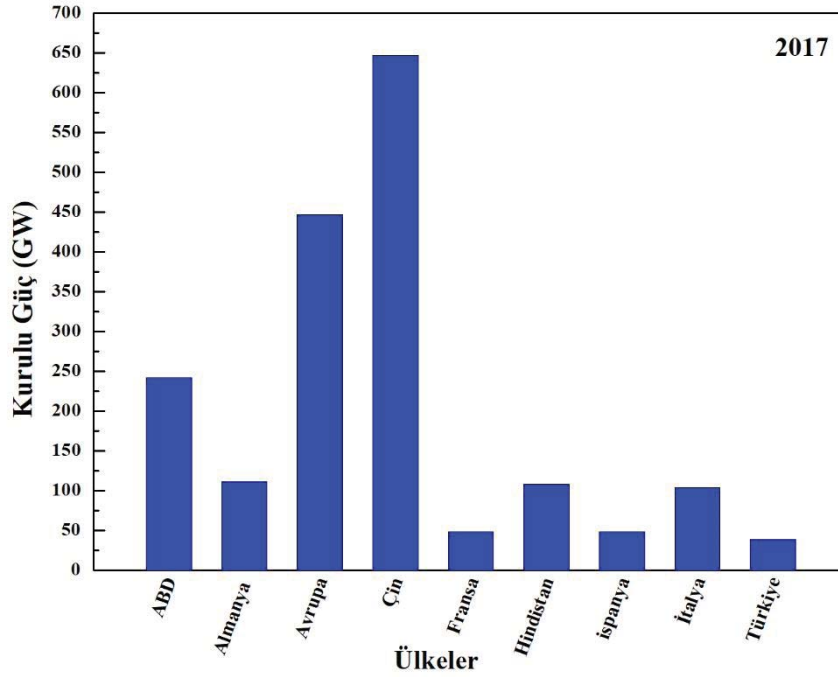
1800 lü yılların başında endüstriyel devrim zamanlarında hidroenerji mekanik güç destekli olarak tekstil ve makina sanayinde kullanılmaya başlanmıştır. Michael FARADAY'ın ilk elektrik enerji üreticini bulduğu tarih 1831 yılından sonra Benoit FEURNEYRON tarafından 1833 yılında ilk modern türbin icat edilmiş ancak yaklaşık 50 yıl sonra insanlar hidroenerjiyi verimli olarak kullanarak elektrik enerjisini üretmeyi başarmışlardır. 1878 yılında İngiltere'de hidroenerji ile üretilen tek ampülü çalıştıran elektrik enerjisi ilk kez kullanılmış ve 1882 yılında Thomas EDISON'un dinamosu mantığıyla çalışan 12,5 kW kapasiteli ilk hidroelektrik santrali (HES) Amerika Birleşik Devletleri Wisconsin eyaletinde kurulmuştur [2]. Sonraki yıllarda HES'lerin sayısı hızla artmış ve dönüm noktası olan 1930 yıllarında yine ABD'de 1345 MW kurulu gücü olan Hoover ve Grand Coulee hidroelektrik santralleri inşa edilmiştir [2]. Bu santraller 1940'larda ABD'nin %40 elektrik enerji ihtiyacını karşılar hale gelmişlerdir [3, 4].

1940 ile 1970 yılları arasındaki 2. Dünya savaşını izleyen savaş sonrası ekonomi, nüfus artışı gibi nedenler hidroelektrik santrallerin batı Avrupa, Sovyet Rusya, kuzey Amerika ve Japonya'da önemini arttırmış ve gelişmeye başlamıştır. 1990'lı yıllara doğru Brezilya ve Çin hidroenerji de dünya liderleri olmuş Brezilya ve Paraguay 1984'te 12600 MW kapasiteli dönemin en büyük HES'ini inşa etmişlerdir. Şekil 2.1. 1997-2016 yılları arasındaki dünya üzerinde üretilen hidroelektrik miktarlarını GW cinsinden göstermektedir. (Çin dahil edilmemiştir) [5].



Şekil 2.1. 1971-2016 arasında bölgesel hidroelektrik enerji üretim miktarının gelişimi [5]

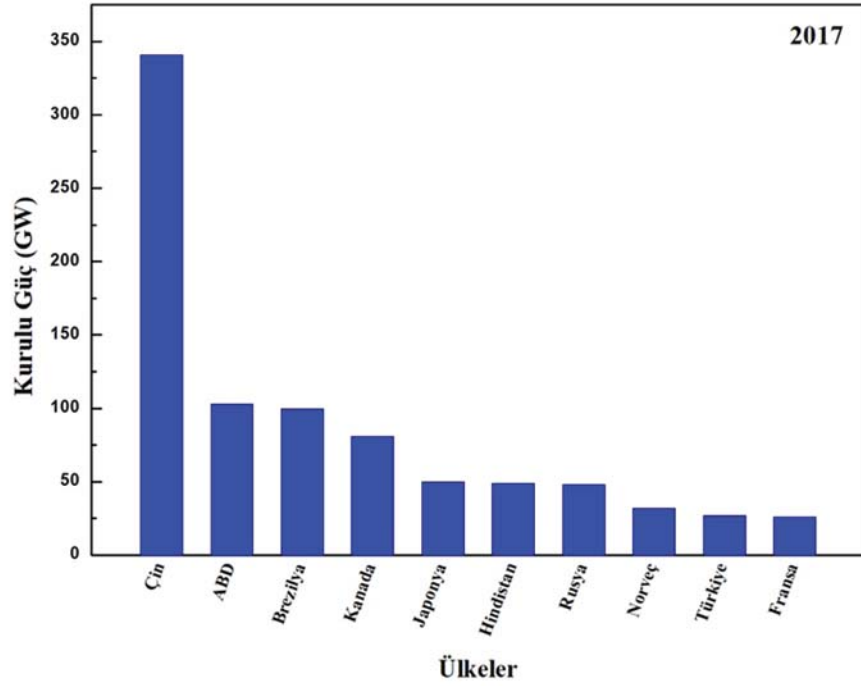
Günümüzde ise dünyadaki mevcut elektrik enerjisi üretim payının %75,5'lik kısmı yenilenemez enerji kaynaklarından %24,5'lik kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde ise hidroelektrik enerjisi %16,6'lık en büyük pay ile öne çıkmaktadır.



Şekil 2.2. 2017 yılı Dünyada yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi [6, 7, 8]

Şekil 2.2’de 2017 yılı dünyada yenilenebilir enerji kurulu gücünün ülkelere göre dağılımı verilmiştir. Yenilenebilir kaynaklı elektrik enerjisi üretimi bakımından 647 GW ile Çin öne çıkmaktadır. Avrupa ikinci sırada yer alarak yenilenebilir enerji bakımından 447,2 GW kurulu gücüne ulaştırmıştır. ABD ise yenilenebilir enerji kurulu gücü bakımından 2017 yılında 242 GW ile kurulu güç kapasitesini arttırmıştır. Türkiye aynı yıl yenilenebilir kurulu güç kapasitesini 39,11 GW’a çıkarmış olup elektrik enerjisinin %32’lik kısmını yenilenebilir enerjiden karşılamaktadır [9].

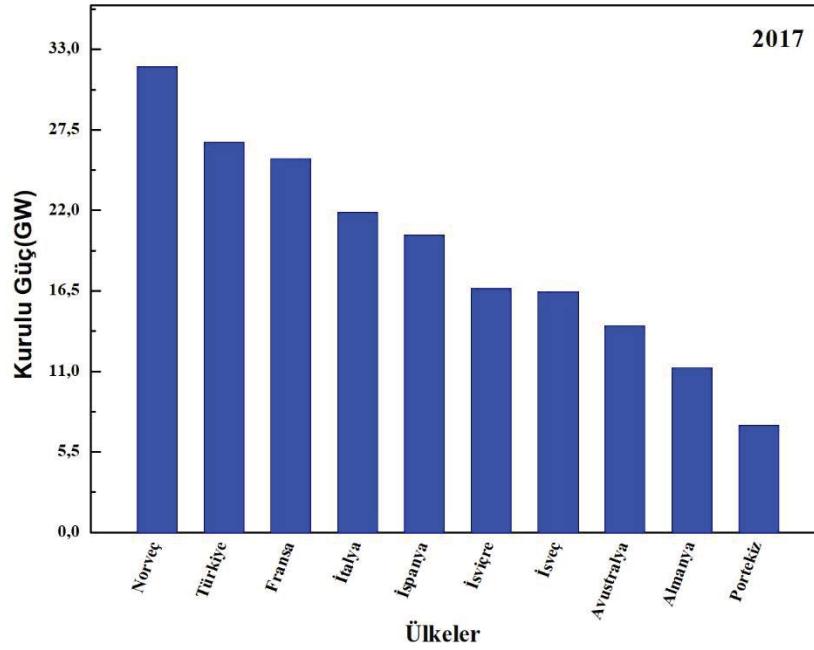
Dünyada 2017 yılında 10 ülkenin toplam HES kurulu güç kapasitesi Şekil 2.3.’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Dünyada ilk 10 ülkenin HES kurulu gücü [10]

Hidroelektrik enerji Avrupa genelinde 2017’de tahmini 600 TWh temiz elektrik enerjisi üreten tek büyük yenilenebilir elektrik kaynağı olmaya devam etmektedir. 2017 yılında bu üretime 2304 MWh daha eklenmiş olup ilave kapasitenin yarısından fazlasını pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinden karşılamıştır. Yine aynı yıl içerisinde Portekiz iki adet pompaj depolamalı hidroelektrik projesi başlatmıştır:

Avrupa'nın ikinci en büyük değişken hızlı projelerinden biri olan Foz Tua kurulu gücü 270 MWh ve Frades II kurulu gücü 780 MWh'dir. Neredeyse tamamen hidroelektrik enerjisine dayanan Arnavutluk 2017 yılında Fangu istasyonunu devreye almıştır. Fangu istasyonunun kurulu gücü 74,6 MWh'dir. Türk firması olan AYEN Enerji tarafından hazırlanan proje ülkenin en büyük özel santrali ve dördüncü en büyük hidroelektrik santralidir. İsviçre'de bulunan Hognin-leman pompaj depolamalı projesinin ikinci aşaması tamamlanmıştır. 240 MWh'lik olan gücünü 480 MWh'e çıkarmış olup güç kapasitesini iki katına çıkararak ülkenin en büyük ikinci pompaj depolamalı enerji santrali olmuştur. Avrupa'da kurulu hidrolik güç kapasitesi bakımından 10 ülkeye ait grafik Şekil 2.4.'te belirtilmiştir [10].

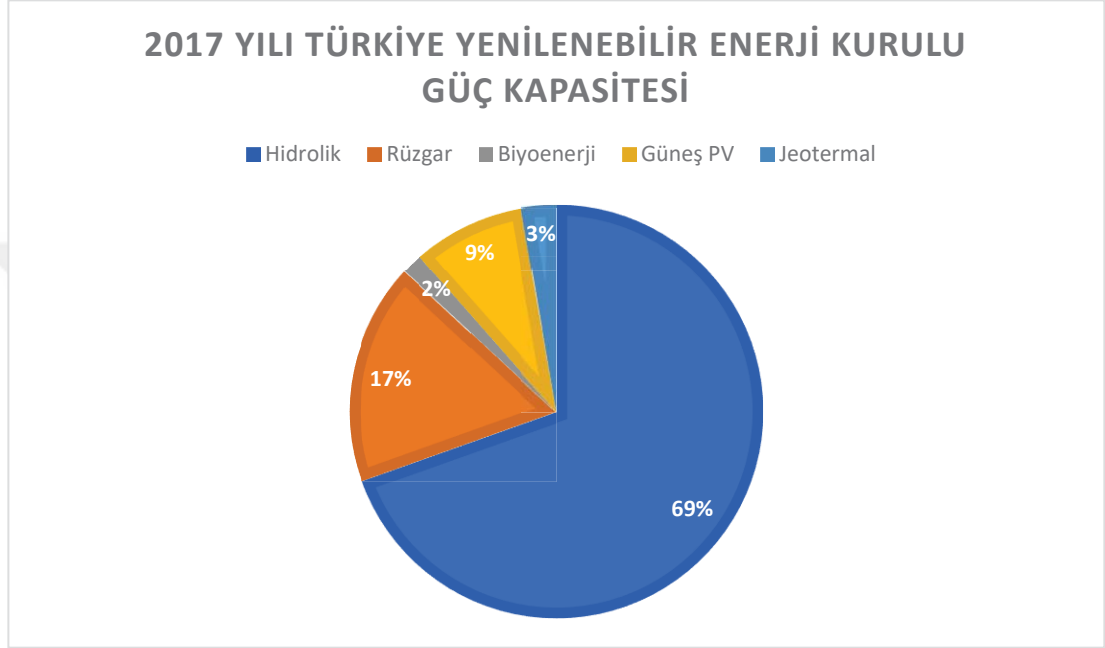


Şekil 2.4. Avrupa'nın HES kurulu gücü bakımından 10 ülkesi

Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere Türkiye Avrupa'da kurulu hidrolik güç kapasitesi bakımından ilk 10 ülke içerisinde Norveç'in ardından ikinci sırada yer almaktadır [10].

Türkiye ise Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2017 verilerine göre, en sert kuraklığını son 44 yılda yaşamıştır. Ancak hidroelektrik enerji üretimi, ülkenin barajlarında

depolanan suyun etkin kullanımı ve aynı zamanda kamu su ve sulama ihtiyaçlarını karşılarken bile 58,55 TW olmuştur. Türkiye, hidroelektrik kapasitesini 2017 yılında 0,6 GW arttırarak mevcut toplamı 27,2 GW'a çıkarmıştır. Yıl içerisindeki Kiğı HES (140 MWh), Kargı HES (97 MWh), Darıca 2 HES (74 MWh), Doğançay HES (62 MWh) ve daha birçok projeyi içermektedir [10].



Şekil 2.5. 2017 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü [9]

Şekil 2.5.'de yer alan hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, bioenerji, güneş enerjisi ve jeotermal enerjinin 2017 yılı için Türkiye kurulu güç değerleri gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji içerisinde %69 ile en büyük paya sahip hidrolik enerjidir. %17'lik pay ile rüzgar enerjisi yenilenebilir kurulu gücü bakımından ikinci sırada yer alırken, %9 ile güneş enerjisinin öne çıktığı görülmektedir. Türkiye'de yenilenebilir kurulu güç bakımından en az paya sahip ise biyoenerjidir.

2.2. Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik santrallerde öncelikle sabit akışta olan su potansiyel enerjiye sahip olup akış halinde bulunan su öncelikle kinetik enerjiye dönüştürerek yer şekillerinden kaynaklı düşü yardımıyla ve alternatör aracılığıyla elektrik enerjisine

dönüştürmektedir [11, 12]. Hidroelektrik santrallerin olumlu yanları olarak yakıt giderinin olmaması, az miktarda enerji kaybına sebep olması, işletme için az elemanla üretimi tamamlama, istenilen yük değerine üretilen enerjiyi ayarlama, tesis bakım maliyetinin azlığı, enerjiyi iletme açısından kolay olması ve insan sağlığı açısından olumsuzluk yaratmaması gibi durumlardan bahsedilebilir. Olumsuz yanı olarak ise tüketim ihtiyacına göre enerji depolanamadığından dolayı üretim miktarını tüketim miktarına göre ayarlanma durumu söz konusudur [13].

2.3. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santraller kurulacağı bölgenin özelliklerine göre farklı şekillerde kururlar. Kurulumu etkileyen en önemli faktörler; bölgenin coğrafi konumu, arazinin biçimi ve oluşumu, su depo alanlarının hacmi, suyun debisi, yeraltındaki ve yüzeydeki toprak yapısı ve düşü başlıca öne çıkan unsurlardır. Hidroelektrik santrallerin seçimi yapılırken beş ana sınıfta incelenebilir. Bunlar; Düşü yüksekliğine göre, üretilen enerjinin değeri ve özelliğine göre, kapasitesine göre, yapı özelliği ve depolama alanına göre değişmektedir [13, 14].

2.3.1. Düşü yüksekliğine göre hidroelektrik santraller

Yüksek düşü olarak bilinen santraller 50 m ve üstü olan santrallerdir. Genellikle suyun akışı yüksek ve dağlık bölgeden akan akarsu ve barajlara tünel ve cebri boru kullanılarak yapılan santrallerdir. Yüksek düşüye sahip yerlerde Francis tipi türbinler veya pelton tipi türbinler seçilmektedir. Orta düşü santraller ise 15 ila 50 m aralığında, alçak düşü santraller ise 15 m'den az olan santrallerdir. Şekil 2.6.'da gösterilen AKKÖY 2 Yaşmaklı HES 1220 m düşüye sahiptir ve Dünya sıralamasında ilk 10'da yer almaktadır. Ayrıca Türkiye'nin de en yüksek düşüye sahip olan hidroelektrik santrali konumundadır [13, 15].



Şekil 2.6. Akköy 2 Yaşmaklı HES projesi [16]

Yapısı bakımından ise yerüstü santralleri, yeraltı santralleri ve yarı gömülü batık santraller olarak ayrılmaktadır. Depolama alanlarına bakıldığında deposuz santraller olarak adlandırılan nehir ve kanal tipi santrallerdir. Doğal su deposu olan ve yapay su deposu olan santraller baraj tipi ve pompaj depolamalı santrallerdir [13].

2.3.2. Üretilen enerjinin değeri ve özelliğine göre hidroelektrik santraller

Üretilen enerjinin değeri ve özelliğine göre baz santraller ve pik santraller olarak iki bölümde incelenmektedir. Baz santralleri sulama kanalları üzerine kurulan ve minimum tüketimi karşılamak için devamlı enerji üretimi yapan santrallerdir. Yıl baz alındığında ekonomik açıdan bakım ve arızalar dışında minimum maliyet ve yüksek verimle üretim yapmaktadır. Pik santraller enerjiye olan talebin fazla olması durumunda baz yüklü santrallere ilave olarak istenilen zaman aralığında enerji açığını karşılamak için devreye giren santrallerdir. Bununla birlikte üretilen enerjinin değeri ve özelliğine bakıldığında “sürekli enerji üreten” adı ile bilinen baz santraller en çok enerjiye ihtiyaç duyulduğunda devreye giren pik santrallerdir [17].

2.3.3. Kapasitesine göre hidroelektrik santraller

Hidroelektrik santralleri kapasitelerine göre incelendiğinde 3 bölüme ayrılmaktadır. Bunlar; küçük kapasiteli santraller, Orta kapasiteli santraller ve Yüksek kapasiteli santrallerdir [15].

2.3.3.1. Küçük kapasiteli santraller

Küçük hidroelektrik santralleri genel olarak 0,1 MW ile 10 MW arasında kapasiteye sahip olanlardır, ancak bu üst sınır ülkeden ülkeye değişebilir ve bazı durumlarda 30 MW'a kadar çıkabilir. Türkiye'de Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) tarafından yapılan sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Buna göre;

- 100 kW kurulu gücü olanlar Mikro HES
- 101-1000 kW kurulu gücü olanlar Mini HES
- 1001-10000 kW kurulu güce sahip santraller ise küçük HES olarak adlandırılır.



Şekil 2.7. Melikom HES projesi [18]

Şekil 2.7’de verilen 7,60 MW kurulu gücü olan Melikom HES projesi örneği bu kapsamdaki santrallerden biri olarak gösterilmiştir [18]. Küçük hidroelektrik santraller, olumlu yönden bakıldığında kırsalda kurulan ve ulaşımı zor olan ulusal sistemden beslenemeyen bölgeyi kültürel ve sosyoekonomik yönden geliştirmektedir. Aynı zamanda enerjiyi iletmek yönünden bakıldığında ise kısa mesafelere ulaştırmasından kaynaklı enerji kaybını azalmaktadır. Bu santrallerin depolama özelliği olmadığından dolayı enerji üretimi açısından süreklilik arz etmekte ve olumsuz özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

2.3.3.2. Orta kapasiteli santraller

Genellikle ulusal enerji şebekesine bağlı olan bu santraller 10 MW ve 50 MW aralığında kurulu güce sahip olan santrallerdir. Orta kapasiteli santraller buldukları yerleşim bölgesinin hem de büyük işletmeye sahip olan fabrikaların enerji ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılabilirler. Bu kapasitedeki HES’e örnek olarak bu tez çalışmasında üzerinde çalışma yapılan 15 MW kurulu gücü olan Yumrutepe HES projesi şekil 2.8’te verilmiştir [17].



Şekil 2.8. Yumrutepe HES projesi

2.3.3.3. Yüksek kapasiteli santraller

Yüksek kapasiteli santraller 50 MW ve üstünde kurulu güce sahip olan santrallerdir. Bu santraller konvansiyonel enerji olarak adlandırılmakta olup doğalgaz ve kömüre dayalı termik santraller sınıfında değerlendirilirler. Birçok santrallerde üretilen elektrik enerjisiyle birlikte merkez enerji nakil hatlarına bağlanarak dağılımı yapılmaktadır. Fırat Nehri üzerinde kurulu olan Atatürk baraj projesi ülkemizde yapılan en iyi ve yüksek kapasiteli HES örneklerinden biridir (Şekil 2.9). Aynı zamanda sulama ve enerji amaçlı da kullanılmaktadır. 2400 MW kurulu gücüyle yıllık 8900 GWh elektrik enerjisi üretim kapasitesine sahiptir [19].



Şekil 2.9. Atatürk Barajı projesi [19]

2.3.4. Yapı özelliğine göre hidroelektrik santraller

Santral binasının konumuna göre yapı özelliği bakımından hidroelektrik santraller yeraltı santralleri, yarı gömülü ve batık santraller ve yerüstü santralleri olarak 3 gruba ayrılırlar [20].

2.3.4.1. Yeraltı santralleri

Yeraltı santralleri jeolojik durumun uygun olması durumunda nadiren tercih edilen kaya kütesinin içine sağlam bir yapıya inşa edilirler. Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri bu sistemle yapılabilir. Şekil 2.10.'da doğu karadeniz bölgesinde Çoruh nehri üzerinde bulunan ve 670 MW kurulu güce sahip olan yeraltı santral tipi olan Deriner HES'i örneği gösterilmektedir [17, 19].



Şekil 2.10. Yeraltı hidroelektrik santrali (Deriner HES) [19]

2.3.4.2. Yarı gömülü ve batık santraller

Eğer santralin kurulacağı alan yeterli büyüklükte değil, dar ve kayalık bölge ise bir kısmı kayalığın altında bulunduğu ya da türbin ve jeneratörün bulunduğu kısım çevre kot farkından dolayı yarı gömülü ve batık santral tipidir. Şekil 2.11.'da görülen Yumrutepe HES yarı gömülü ve batık santral tipindedir [13].



Şekil 2.11. Yarı gömülü ve batık santral (Yumrutepe HES)

Santralin kurulumu için seçilen yerin fiziki durumu ve jeolojik yapısı, kullanılacak yere göre türbin seçimi, kuyruk suyu yapısının hidrolik karakteristikleri ve dere yatağının taşkın karakteristikleri etkilidir.

2.3.4.3. Yerüstü santraller

Suyun ilk geldiği bölüm olan ve su alma yapısından geçen su tünel vasıtasıyla denge bacası olan bölüme veya basınçsız tünel ile yükleme havuzuna getirilmekte ardından eğimli cebri boru yardımıyla yerüstü santraline gelerek türbine girmektedir. Borçka ilçesi sınırları içinde bulunan Çosedinara Deresi üzerinde 1,96 MW kurulu güce sahip olan Hızır HES şekil 2.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yerüstü santrali (Hızır HES)

Bu tip santrallerde türbinden çıkan su kuyruk suyu ile dere yatağına dönmektedir. Yerüstü santralleri çevre kotu ile eşit mesafede yer alırlar [17].

2.3.5. Depolama alanlarına göre hidroelektrik santraller

Hidroelektrik santraller depolama alanlarına göre deposuz santraller ve depolu santraller olarak 2 ana başlığa ayrılırlar [21].

2.3.5.1. Depolanamayan santraller

Deposuz santrallerin suyu depolayabileceği herhangi bir göl veya alanı bulunmayıp kanal ya da nehir üzerine kurulurlar. Bu santrallerde kanal ya da nehir üzerinden gelen biriktirilemeyen su doğrudan enerjiye çevrilir [21].

2.3.5.1.1. Nehir tipi santraller

Yatak eğiminin küçük ve akarsularının aşağı doğru olduğu bölgelere kurulurlar. Yüksek debi ve alçak düşü ile çalışan santrallerdir. Debi ve düşü değerleri zamanla değişiklik göstermektedir [13]. Şekil 2.13. Mersin ilindeki Lamas çayı üzerinde 36,4 MW kurulu gücü olan Lamas HES'i göstermektedir [22].

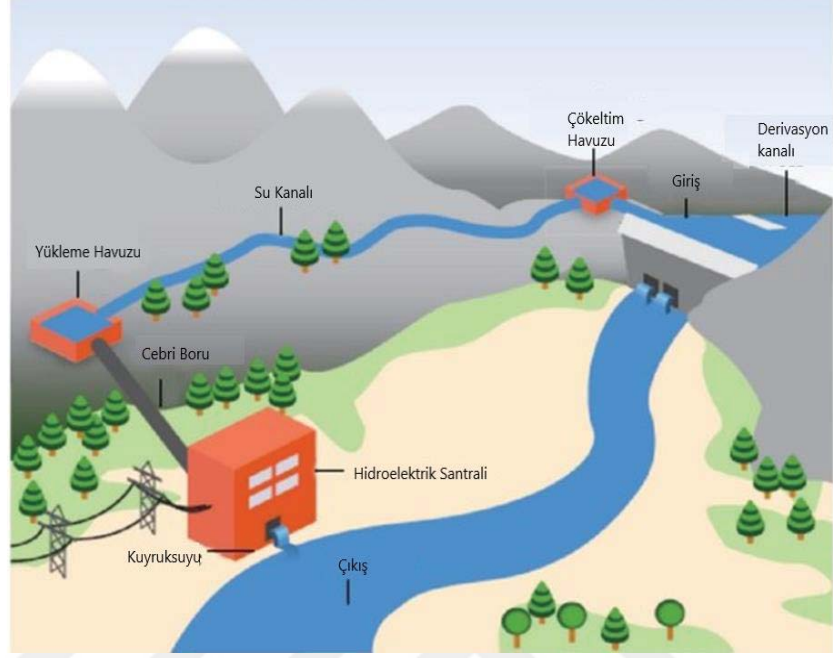


Şekil 2.13. Nehir tipi hidroelektrik santral (Lamas HES) [22]

2.3.5.1.2. Kanal tipi santraller

Kanal tipi santrallerde, suyun akış yönünü değiştirerek kurulumu yapılacak olan yerin topografik özelliğinden yararlanılarak iletim kanalları veya yanal kanallarla taşınmakta ve belirli bir düşü elde etmek için yükleme havuzuna iletilmektedir. Yükleme havuzuna getirilen su basınçlı boru yardımıyla türbine gelmektedir. Dere yatağında meydana gelebilecek taşkın durumlarında dere yatağının doğal halinde

kullanılabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Şekil 2.14.'de kanal tipi santrallerin çalışma prensibinin şeması verilmiştir [17].



Şekil 2.14. Kanal tipi HES uygulaması [23]

2.3.5.2. Depolanan santraller

Suyun biriktirilerek depolandığı santral yapılarıdır. Dere yatağındaki su rejiminin dengesiz olması durumlarında enerjiyi istenilen zamanlarda üretebilmek için kurulan santrallerdir. Barajlı ve pompaj depolamalı hidroelektrik santraller olarak iki çeşide ayrılmaktadırlar [21].

2.3.5.2.1. Barajlı santraller

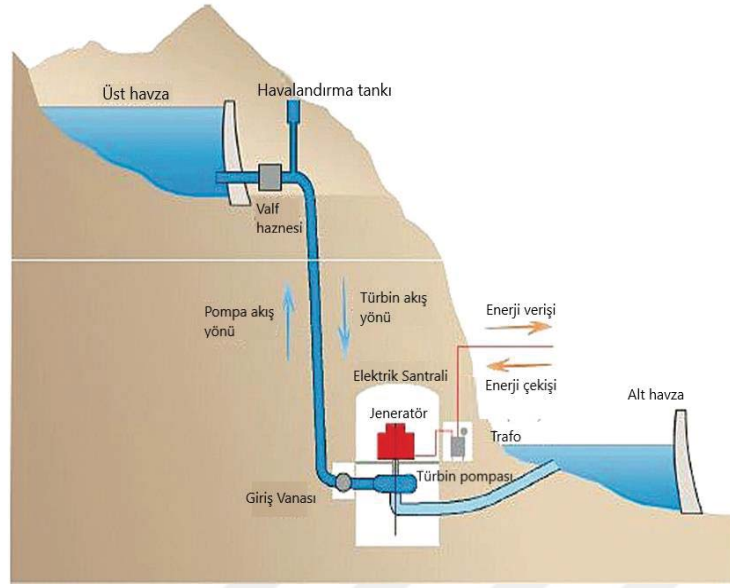
Rezervuarlı santrallerdir ve akışın düşük olduğu zamanlarda barajın arkasındaki suyu depolarlar. Bu nedenle elektrik üretimi deposuz santrallere göre daha kararlı ve daha az değişkenlidir. Jeneratör, baraj ucunda veya aşağı akış yönünde yer almakta olup, tünel veya boru hatları vasıtasıyla rezervuara bağlanmaktadır [21, 24]. Şekil 2.15.'de Diyarbakır'da kurulu olan 1800 MW kurulu güce sahip Karakaya HES'i göstermektedir [25].



Şekil 2.15. Barajlı hidroelektrik santral (Karakaya HES) [25]

2.3.5.2.2. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller

Bu tip santrallerdeki su, genellikle yoğun olmayan saatlerde, düşük bir rezervuardan bir üst rezervuara pompalanırken günlük pik saatlerinde veya ihtiyaç duyulan zamanlarda elektrik üretmek için akışın tersine çevrilir. Her ne kadar pompalama işlemindeki kayıplar böyle bir tesisi net enerji tüketicisi yapsa da, tesis büyük ölçekli enerji depolama sistemi sayesinde daha faydalıdır. Pompalı depolama sistemi şu anda dünya çapında kullanıma hazır olan en büyük şebeke enerji depolama şeklidir [26, 27]. Şekil 2.16. pompaj depolamalı HES'in şematik gösterimidir.



Şekil 2.16. Pompaj depolamalı hidroelektrik santral [28]

2.4. Su Türbinlerinin Sınıflandırılması

Suyun etki şekline göre etkili türbinler ve tepkili türbinler olarak 2 gruba ayrılırlar [13, 29, 30].

2.4.1. Etkili türbinler (aksiyon türbinleri)

Su debiyi ayarlayan bir iğneden geçerek hızlandırılır ve türbin çarkına yerleştirilmiş olan kepçelere püskürtülür. Belirli hıza sahip suyun kinetik enerjisi kepçelere çarparak mekanik enerjiye dönüşmüş olur. Çarka gelen suyun giriş ve çıkış basıncı eşittir ve değişmez. Bu özelliğe göre çalışan türbin çeşitleri pelton, turgo ve banki türbinleridir. Düşük debi ve yüksek düşüye sahip santrallerde tercih edilirler [13, 29].

2.4.2. Tepkili türbinler (reaksiyon türbinleri)

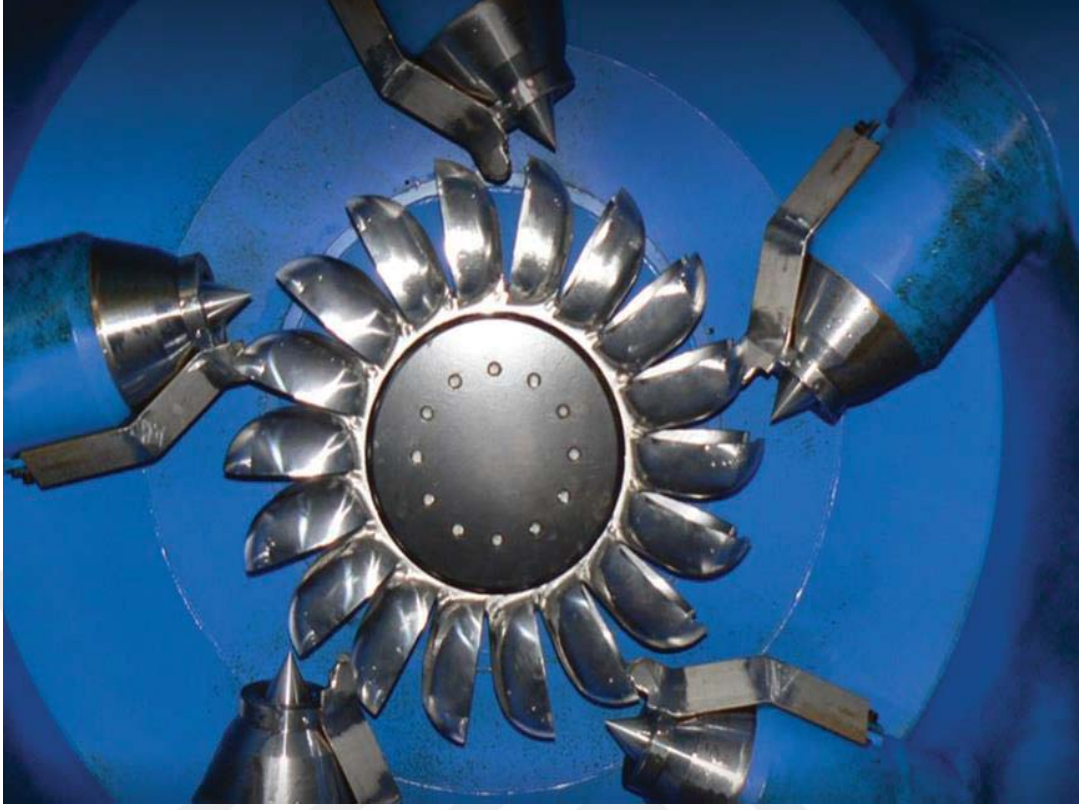
Reaksiyon türbinleri düşüsü az, debisi yüksek olan yerlerde tercih edilmektedir. Az düşüye sahip olan su, basınçlı boruyla türbinde bulunan kanatçıklara girerek suyun basıncını düşürmekte ve basıncın düşmesiyle su ivme kazanarak hızla çarkın kanatlarına çarparak sahip olduğu kinetik enerjiyi çarkın dönmesiyle mekanik enerjiye çevirmektedir. Bu tip türbinlerin imalatı zor ve maliyetlidir. Reaksiyon türbinlerinde

kavitasyon oluşması durumunda türbinlerde verim düşümü gözlenmekte ve zamanla kavitasyondan kaynaklı malzeme yüzeylerinde oyuklar ile tahribata yol açmaktadır. Suyun basınç enerjisinden yararlanılarak enerji üreten türbin çeşitleri Francis ve kaplan türbinlerdir [31].

2.5. Türbin Çeşitleri

2.5.1. Pelton türbinler

Günümüzde en çok tercih edilen etkili türbin grubunda yer alan pelton türbinlerdir. Lester pelton tarafından 1880 yılında tasarlanmıştır. Pelton türbinler düşük özgül hıza sahip olduklarından tepkili türbinlere oranla düşüşü yüksek yerlerde kullanılırlar. Genellikle 150 m ve üzerinde düşüşü olan yerler için uygundur. Pelton türbinlerinin debisi düşük, düşüşü ise yüksektir. Çalışma prensibi olarak su öncelikle pelton için tasarlanmış olan borudan geçerek, çıkış tarafında su jeti haline getirilerek kinetik enerjiye çevrilir [32]. Su jetinden geçen su çanak şekline benzeyen kaplara yani peltonun kanatlarına püskürtülür. Çanak şeklinde olan kapların orta kısmında bulunan bölme 2 tarafa da eşit miktarda su geçişini sağlamaktadır. Kaplan ve Francis türbinlerde olduğu gibi pelton türbinlerde de yağ basıncıyla hareketi sağlayan servomotorlar otomatik olarak mızrağı yöneterek ağız çıkışını tamamen veya kısmen kapatmaktadır [33]. Şekil 2.17.'de 5 adet su jetine sahip pelton türbini göstermektedir.



Şekil 2.17. 5 adet su jetine sahip pelton türbin [34]

Su cebri borudan basınçlı gelerek su jetinin ucunda bulunan iğneler yardımıyla kepçelere çarparak çarkı döndürmektedir. Su jetinin ucunda bulunan iğneler ileri-geri oynaması sayesinde püskürtülen su miktarını ayarlamaktadır. Su jetine gelen suyu yük talebine bağlı olarak azaltmak cebri boruda basınç yükselmesine sebep olacağından su jeti aynı suyu püskürtmeye devam ederek jetin ön kısmına deflektör yani saptırıcı girer. Deflektör debiyi azaltana kadar jetin kinetik enerjisini az da olsa dağıtmaktadır.

Pelton türbinler yatay eksenli veya dikey eksenli olarak konumlandırılabilirler. Su jetlerinin sayısı arttıkça türbinini gücü de artmaktadır. Dikey eksenli olan türbinlerde su jeti sayısı genellikle 4 adet veya daha fazla olarak tasarlanmaktadır. Yatay eksenli türbinlerde ise 2 adet su jeti bulunmaktadır [35]. Pelton türbinlerde en yüksek verim rotor kepçelerinin hızının, su jetinin hızının yarısı kadar olduğunda elde edilmektedir.

2.5.2. Turgo türbinler

Turgo türbinler düşük güce sahip hidroelektrik santralleri için uygun olup çalışma ilkesi bakımından pelton türbinlere benzemektedir. Turgo türbinler ile pelton türbinler arasındaki en önemli fark çanak şeklinde bulunan kepçelerinin şekilleri ve su jetinin yönüdür. Pelton türbinlerde bulunan kepçeler 2 kavisli yapıdan oluşmakta olup turgo türbinler ise pelton türbin kepçelerinin yarısı kadar yani tek kavisli yapıdan oluşmaktadır. Tek kavisli yapıda olan kepçeler pelton türbinlerde bulunan kepçelere oranla daha büyük yapıda ve su tutma kapasitesi bakımından pelton türbinlere göre daha fazla su tutmaktadır [36]. Ayrıca turgo türbinlerde bulunan su jeti genel olarak 20° 'lik açı ile, pelton türbinler ise 0° 'lik açı ile püskürtülmektedir [37]. Şekil 2.18.'de tek kavisli turgo türbini göstermektedir.



Şekil 2.18. Turgo türbin modeli [38]

2.5.3. Banki türbinler

Banki türbinler küçük kapasiteye sahip ve düşük güçteki hidroelektrik santraller için kullanılmaktadır. Basit yapılı olan bu türbinler montaj, bakım ve işletme maliyeti bakımından ucuzdur. Banki türbinleri diğer türbinlerden ayıran en önemli özelliği emme borusunun bulunmamasıdır. Bu sebeple banki türbinleri çalışma sahası olarak etkili (aksiyon) türbinleri sınıfında yer almaktadır. Banki türbinine giren su çarkın kanatlarından geçerek çarkta bulunan boşluğa inmekte ve buradan tekrar kanatlardan geçerek çarktan dışarı çıkmaktadır [39]. Yani su çarka iki defa uğramaktadır [40]. Şekil 2.19.'da banki türbin örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Banki (Crossflow) türbin modeli [41]

2.5.4. Kaplan türbinleri

Tepkili türbinler olarak da bilinen kaplan türbinler aksel akış ile suyun çarkı döndürmesi ilkesiyle çalışırlar [42]. Sabit kanatlara sahip olduğu için Uskur türbinleri de denilmektedir. Çark kanatlarının ayarlanabilir olarak tasarlanma sebepleri yüksek özgül hızlarda verimi arttırmak, türbini belirli güçlerde ve düşümler de çalıştırmaktır. Kaplan türbinler düşük düşü yüksekliğine sahip ve yüksek debisi olan durumlarda tercih edilmektedir. En verimli düşü yüksekliği 2 ila 80 m aralığındadır. Çarkta yer alan kanatların sayısı 3 ile 8 arasında değişiklik göstermektedir. Kaplan türbinlerde çarkın kanatları eğimli olduğundan suyun girişi radyal şekilde çıkışı ise aksel olarak gerçekleştirilmektedir [17]. Şekil 2.20.'de üç kanatlı kaplan türbini gösterilmiştir



Şekil 2.20. 3 adet kanata sahip kaplan türbin [43]

Kaplan türbinler pelton türbinlerdeki gibi itme kuvvetiyle değil, suyun tepki kuvvetiyle çalışırlar. Yük talebi ve düşü yüksekliğinin yani su miktarının azaldığı durumlarda türbin verimi de %75'in altına inmektedir. Mevsimsel olarak debisinin düşmesine istinaden düşü yüksekliğindeki ve yük talebindeki değişimin verimliliğe etkisini azaltmak için kaplan türbinlerde rotor kısmındaki kanatların açıları ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Kanat açıları yağ basıncıyla çalışan pilot servomotor vasıtasıyla ayarlanmaktadır [13].

2.5.5. Francis türbinler

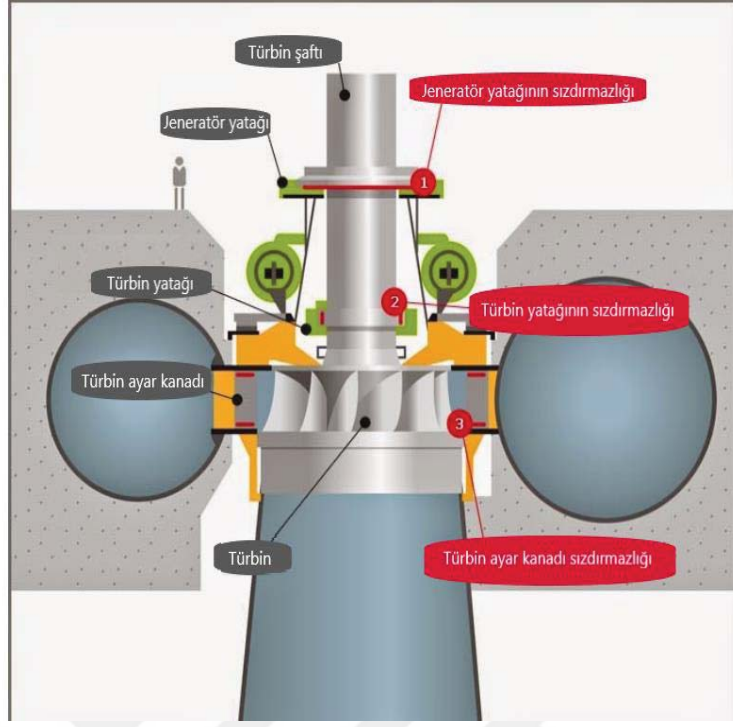
Francis türbinler 20 ila 200 m düşüye sahip santrallerde kullanılmakta olup günümüzde nadiren de olsa da 600 m düşüye kadar sahip santraller içinde tasarlanmakta ve kullanılmaktadır. Uygun düşü ve su debisinin olması durumunda 450.000 Hp'den daha fazla güçte Francis türbinler imal edilmektedir.

Francis türbinlerde su cebri borudan türbine iletilmesinde giriş vanası kullanılmaktadır. Basıncın yüksek olmasından dolayı giriş vanasından önce by pass sistemi bulunmaktadır. Barajlı santraller içerisinde Gökçekaya, Atatürk, Hirfanlı gibi HES'lerde Francis türbin kullanılmaktadır.

Francis türbinler milin konumuna göre 2'ye ayrılmaktadır.

- Yatay eksenli Francis türbinler
- Düşey eksenli Francis türbinler

Yatay eksenli Francis türbinler genellikle orta ve küçük güçteki santrallerde, düşey eksenli Francis türbinler ise büyük güce sahip santrallerde kullanılması için tasarlanmaktadır. Güç, emme yüksekliği, özgül hız ve düşünün eşit olması durumunda dikey eksenli Francis türbinler, yatay eksenli Francis türbinlere oranla daha verimli çalışırlar. Yatay eksenli Francis türbinler düşey eksenliye göre daha fazla yer kaplamaktadır. Yatay eksenli türbinler bakım montaj ve onarım işlemleri daha kolaydır. Alternatör bakımından ise düşey eksenli türbinlerin alternatörü yatay eksenli türbinlerinkine kıyasla pahalıdır [13].



Şekil 2.21. Düşey eksenli francis türbin [44]

Şekil 2.21.'de düşey eksenli francis türbin gösterilmektedir. Francis türbinlerde su öncelikle cebri borudan salyangoz kısmına geçmektedir. Salyangozun cebri boru ile birleştiği yerden başlayarak gitgide daralan kesiti, su akışına yön veren sabit ayar kanatları ve ayar kanatları ile beraber su 90°'lik açıyla eşit basınç ve debide su türbin çarkına girmektedir. Su 90° yönünü değiştirir ve emme borusunu (elbow) geçerek akarsu yatağına akmaktadır [45]. Şekil 2.22.'de ise yatay eksenli salyangoz şeklinde francis türbine örnek olarak Yumrutepe hidroelektrik santrali gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Yatay eksenli salyangoz şeklinde francis türbin [46]

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, üzerinde çalışma yapılan Giresun ili Yumrutepe Hidroelektrik Santralinin sahip olduğu yatay eksenli Francis türbinlere ait detaylı veriler verilmiştir. Buna ilaveten fizibilite raporuna ve 2018 yılına ait gerçekleşen üretim ile ilgili veriler kullanılarak, araştırma bulguları bölümünde bulunan grafikler için gerekli olan ve Yumrutepe HES fizibilite raporunda yer alan aylık üretim değerleri, 2018-2019 yılları arasında aylık olarak üretilen enerji ve debi miktarları, üretim verimliliği ve kapasite faktörü gibi hesaplamalar yapılmış ve aylık ortalama aktüel basınç, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem, aylık ortalama yağış miktarı gibi parametrelerin etkilerine bakılmıştır.

3.1. Yumrutepe Hidroelektrik Santraline Ait Bilgiler ve Çalışma Şekli

Yumrutepe Hidroelektrik Santrali Doğu Karadeniz bölgesinde Giresun il sınırları içerisinde Aksu deresi üzerine kurulmuş olup enterkonnekte sistem ile ürettiği enerjiyi tüm Türkiye'ye dağıtmaktadır. Yumrutepe Hidroelektrik Santrali enerji üretimi için suyun ilk geldiği ve biriktirmeye başlandığı alan regülatör alanıdır. Regülatör alanında belirli kot değerlerinde biriken suyu ızgaralardan geçerek iletim tüneline geçer. Söz konusu HES regülatör alanı Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Yumrutepe HES regülatör alanı

Regülatör ızgarasının en üst kot değeri 98,00 m iken en alt kot değeri ise 92,70 m'dir. 93,28 m kot seviyesinde ızgaradan su tünele girmektedir. Regülatör su seviyesi belirli kot değerinde tutulmaktadır. Regülatör su seviyesi çalışma aralığı maksimum 97,80 m kot değerinde tutulmakta minimum 94,00 m kot değerine kadar düşürülmektedir. 97,80 m kot değerinin aşılması için 4 adet radyal kapak ve çakıl geçidi kapağı kullanılmaktadır. Regülatör alanının sol sahilinde bulunan çakıl geçidi memba alanında biriken sedimentin mansaba bırakılmasını sağlamakta ayrıca balık geçidinin yetersiz olması durumunda bırakılması gereken can suyu miktarının verilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda acil su tahliye edilmesi durumunda da kullanılmaktadır.

Suyun artış hızına göre radyal kapaklar belirli oranlarda açılmakta su seviyesinin 97,80 m'den üst kot seviyesinin üstüne çıkmaması sağlanmaktadır. Ancak su seviyesinin hızla arttığı ve SCADA (Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) sisteminden kapaklara müdahale edilmediği durumlarda 97,90 m kot değerine ulaştığında santral içerisinde ve regülatör alanında siren sistemi devreye girmekte ve radyal kapakların açılarak suyun tahliye edilmesi yönünde erken uyarı sistemi bulunmaktadır. Herhangi bir müdahalede bulunulmadığı durumlarda ise sistem otomatik olarak radyal kapakları devreye almaktadır. Radyal kapakların otomatik açılma aralığı aşağıdaki Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Radyal kapakların otomatik açılma aralığı

Kot Değerleri (m)	Radyal Kapak 1	Radyal Kapak 2	Radyal Kapak 3	Radyal Kapak 4
98,00	10%	10%	10%	10%
98,10	20%	20%	20%	20%
98,20	30%	30%	30%	30%
98,30	40%	40%	40%	40%
98,40	50%	50%	50%	50%
98,50	100%	100%	100%	100%

Radyal kapakların regülatör kot değerine göre %100 açıldığı durumlarda attığı su miktarı ve tek radyal kapağın %100 açık olduğu durumda atılan debi aşağıda Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Radyal kapakların tahliye durumunda attıkları su debisi

YUMRUTEPE REGULATOR ISLETME DURUMU			
4 RADYAL KAPAK AYNI ANDA AÇILIRKEN		TEK RADYAL KAPAK AÇILIRKEN	
REZERVUAR SU SEVİYESİ(m)	ATILAN DEBİ (m ³ /sn)	REZERVUAR SU SEVİYESİ (m)	ATILAN DEBİ (m ³ /sn)
92,6	3,211884	92,6	0,8030148
92,8	9,211977	92,8	2,3032454
93	17,14988	93	4,2881729
93,2	26,74108	93,2	6,6867282
93,4	37,82729	93,4	9,4594028
93,6	50,30405	93,6	12,58013
93,8	64,0952	93,8	16,029922
94	79,14139	94	19,793984
94,2	95,39401	94,2	23,860215
94,4	112,8118	94,4	28,218341
94,6	131,3587	94,6	32,859385
94,8	151,0024	94,8	37,775333
95	171,7138	95	42,958902

Tablo 3.2. (Devamı)

95,2	193,4657	95,2	48,40339
95,4	216,2332	95,4	54,10257
95,6	239,9928	95,6	60,05061
95,8	264,7224	95,8	66,24203
96	290,4012	96	72,67164
96,2	317,0093	96,2	79,33456
96,4	344,5283	96,4	86,22614
96,6	366,7797	96,6	91,80008
96,8	380,9726	96,8	95,35757
97	403,2272	97	100,9334
97,2	424,0092	97,2	106,1413
97,4	443,6994	97,4	111,0763
97,5	453,2039	97,5	113,4588
97,6	462,5072	97,6	115,791
97,7	471,6249	97,7	118,0769
97,8	480,5699	97,8	120,3197
97,9	489,3536	97,9	122,5222
98	497,9858	98	124,6869
98,15	510,6689	98,15	127,8677
98,2	514,8296	98,2	128,9113
98,3	523,056	98,3	130,9747
98,4	531,1605	98,4	133,0078
98,5	539,1584	98,5	135,0142
98,6	547,1198	98,6	137,0116
98,7	554,8829	98,7	138,9595
98,8	562,5227	98,8	140,8766
98,9	570,1185	98,9	142,7827
99	577,7147	99	144,6891
99,1	585,1628	99,1	146,5585
99,2	592,4608	99,2	148,3904
99,3	599,6391	99,3	150,1924
99,4	606,8095	99,4	151,9925
99,5	613,9099	99,5	153,7752
99,6	620,9134	99,6	155,5338
99,7	627,7943	99,7	157,2617
99,8	634,6715	99,8	158,9887
99,9	641,5014	99,9	160,7041
100	648,2044	100	162,3877
100,1	654,8562	100,1	164,0586
100,2	661,4841	100,2	165,7236

Tablo 3.2. (Devamı)

100,3	668,0345	100,3	167,3692
100,4	674,4808	100,4	168,9889
100,5	680,8994	100,5	170,6017
100,6	687,2901	100,6	172,2076
100,7	693,6201	100,7	173,7984
100,8	699,8899	100,8	175,3743
100,9	706,1264	100,9	176,9418
101	712,3253	101	178,5
101,1	718,4074	101,1	180,029
101,2	724,4244	101,2	181,5418
101,3	730,417	101,3	183,0486
101,4	736,4167	101,4	184,5572
101,5	742,3704	101,5	186,0544
101,6	748,2609	101,6	187,5358
101,7	754,0803	101,7	188,9994
101,8	759,8569	101,8	190,4525
101,9	765,6275	101,9	191,9041

97,80 m kot değerinde remote (uzaktan) scada sisteminden ilk müdahale durumu çakıl geçidi kapağının %20, %30, %40 oranlarında basamak basamak açılarak dengeleme sağlanmaya çalışılmaktadır.

Ardından su seviyesini düşmemesi durumunda radyal kapak 1, radyal kapak 2, radyal kapak 3, radyal kapak 4 sırasıyla belirli oranında açılarak 97,80 m seviyesinin üstüne çıkmaması sağlanmaktadır. Scada sisteminden kot değeri takip edilerek suyun düşüş ve artış oranlarına göre kapaklar açılmakta ve kapatılmaktadır.

Su kullanım anlaşması gereği balık geçidinden bırakılması gereken su miktarı 10 yıllık debi ölçümlerini baz alınarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından hazırlanmakta ve aylık olarak değerler belirlenmektedir. Can suyu takibi kurulan Akım gözlem istasyonu (AGİ) ile teyit edilerek Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğü tarafından periyodik olarak denetlenmektedir. Su kullanım anlaşmasına uyulmaması durumunda cezai işlem uygulanmaktadır. Can suyunun dere yatağındaki canlıların hayatlarını sürdürebilmesi için belirli bir miktarı balık geçidinden geçmesi gerekmektedir. Balık geçidinin yetmediği durumlarda eksik olan miktar Çakıl geçidi kapağından tamamlanmaktadır.

Yumrutepe HES için verilen aylık can suyu miktarları Fizibilite raporuna göre Tablo 3.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Yumrutepe HES aylık can suyu miktarı

Ay	Aylık Cansuyu Miktarı (m ³ /sn)
Ocak	1,714 (49 cm)
Şubat	1,714 (49 cm)
Mart	2,412 (57 cm)
Nisan	3,870 (77 cm)
Mayıs	3,870 (77 cm)
Haziran	2,412 (57 cm)
Temmuz	1,714 (49 cm)
Ağustos	1,714 (49 cm)
Eylül	1,714 (49 cm)
Ekim	1,714 (49 cm)
Kasım	1,714 (49 cm)
Aralık	1,714 (49 cm)

Regülatör alanında biriken su 436,59 m³'lik iletim tüneline geçerek ortalama olarak çökeltim havuzuna iletilmektedir. Çökeltim havuzu üç bölme şeklinde, gelen suyu dinlendirmek ve milleri çöktürmek amacıyla tesis edilmiştir. Çökeltim havuzunun boşaltımı her bölmenin dibinde bulunan silt kapaklarıyla yapılmaktadır.

Çökeltim havuzu en alt kotu 94,04 m, en üst kot değeri ise 97,20 m'dir. Çökeltim çıkış kapaklarının açılması ünite seçimine göre belirlenmekte ve kapaklar % oranlarında açılarak 3064,81 m³'lik iletim tüneliyle ortalama 10 dakika içerisinde yükleme havuzuna geçmektedir. Suyun geliş zaman dilimi regülatör kot seviyesine göre değişiklik göstermektedir.

Şekil 3.2'de Yumrutepe HES çökeltim havuzu görülmektedir. Yükleme havuzunun en alt kodu 83,15 m, en üst kot değeri ise 94,60 m'dir. Yükleme havuzunu boşaltmak için bir adet silt kapağı kullanılmaktadır. İletim tünellerine zarar vermeden su belirli miktarlarda alınarak doldurma işlemi ortalama 2 saat süre zarfında yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Yumrutepe HES çökeltim havuzu

Şekil 3.3.'de gösterilen yükleme havuzunda bulunan su 3,80 m çapında 129,79 m uzunluğundaki cebri boru vasıtasıyla 48 m düşüden yararlanarak 45,80 m kuyruk suyu kotunda yer alan santral binasındaki üç adet Francis türbinlerine gelmektedir. Kuyruk suyu en alt kotu 34,88 m, en üst kot değeri ise 95,80 m'dir. Santral içinde bırakılan su drenaj edilerek drenaj kuyusuna aktarılır. Drenaj kuyusunda seviyeyi göstermek için 5 adet şamandıra kullanılmıştır. Drenajda düşük seviyelerde tek pompa seviye yükseldiğinde ise çift pompa devreye girerek su boşaltılmaktadır.



Şekil 3.3. Yumrutepe HES yükleme havuzu

Havuzların maksimum ve minimum çalışma kot seviye bilgileri Tablo 3.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Yumrutepe HES havuz kot seviyeleri

	Regülatör	Çökeltim havuzu	Yükleme havuzu	Kuyruk suyu
Maximum Seviye (m)	98,0	97,20	94,60	45,80
Minimum Seviye (m)	92,70	94,04	83,15	34,88

Yumrutepe HES'de ticari olarak türbin üretimi yapan Andritz Hydro firmasına ait üç adet türbin bulunmaktadır. Bunlar; Ünite 1, Ünite 2 ve Ünite 3 olarak adlandırılmıştır. Yumrutepe HES çalışan bu ünitelerine ait türbin gücü, hızı, saniyede attığı su miktarı ve jeneratörün gerilimi, güç faktörleri, çalışma frekansı ve akımı gibi değerler Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Yumrutepe HES türbin ve senkron jeneratör bilgileri

Generatör	Ünite 1	Ünite 2	Ünite 3
Gücü (kW)	9958 kW	3333 kW	1722 kW
Hızı (rpm)	428,6 rpm	600 rpm	1000 rpm
Gerilim (kV)	6,3 kV	6,3 kV	6,3 kV
Atılan su(m ³ /s)	23,25 m ³ /s	7,75 m ³ /s	4 m ³ /s
Güç faktörü(endüktif)	0,85	0,85	0,85
Frekans	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Akım (A)	1074 A	359,3 A	185,7 A

3.2. Yumrutepe HES Enerjinin Üretim ve Dağıtımı

Senkron jeneratör rotoruna ikaz sisteminden Doğru Akım (DC) ikaz verilmektedir. Yumrutepe HES ikaz sistemi kendinden ikazlı fırçasızdır. Rotor dönerek rotor kutuplarında manyetik alan oluşmakta ve oluşan manyetik alan statordaki üç fazlı sargı düzlemlerinden farklı açılarda geçmekte ve stator sargılarda gerilim indüklemektedir. Bu indüklenen gerilim zamana bağlı değişkendir ve Alternatif Akım (AC) üretmektedir.

Şekil 3.4.'de görülen jeneratörler senkron tiptedirler. Jeneratörden çıkan 6300 V jeneratör çıkış hücrelerine geçmektedir. Ardından ünite güç trafosuna geçerek güç trafosunun primerinden 6300 V girmekte indüktif sargılarla yükseltilecek güç trafosunun sekonderinden 31500 V çıkış alınmaktadır. Güç trafosundan çıkan 31500 V ünite giriş fiderine geçmektedir. Metal glad hücrelerinde bulunan bara sistemiyle iç ihtiyaç fiderine girmekte ve iç ihtiyaç için gerekli enerji kullanılmaktadır. Ardından TEDAŞ ölçü fiderine gönderilir.



Şekil 3.4. Yumrutepe HES 3 adet senkron jeneratör

TEDAŞ ölçü hücresinden 31500 V çıkarak hat çıkış fiderine giderek oradan Yumrutepe Dağıtım Merkezinde bulunan otoprodüktör fiderine girmektedir. Otoprodüktör fiderinden hat çıkışına geçerek tek devre olarak Bulancak Dağıtım Merkezine geçmektedir. Bulancak Dağıtım Merkezinden Aksu trafo merkezine iletmektedir. Aksu trafo merkezine 31500 V girerek trafo merkezinde 154000 V'a yükseltilmektedir. Buradan da Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) trafo merkezine gönderilerek dağıtımı gerçekleştirilmektedir.

Tablo 3.6. Aylık fizibilite üretim değerleri

Ay	Fizibiliteye Göre Üretim (MWh)
Ocak	2400
Şubat	2100
Mart	4700
Nisan	7700
Mayıs	7600
Haziran	5700
Temmuz	1600
Ağustos	800
Eylül	700
Ekim	2200
Kasım	2600
Aralık	3200

Tablo 3.7. Yumrutepe HES'in fizibilite raporuna göre yapılan üretim hesaplaması değerlerini göstermektedir.

3.3. Giresun Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri

Araştırma bulguları bölümünde yer alan 2018-2019 yılları arasında atmosferdeki aylık olarak ortalama aktüel basınç (hPa), ortalama sıcaklık (°C), ortalama nispi nem (%) ve ortalama yağış miktarına (kg/m²) grafiklerine ait veriler ise Giresun Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Kümbet yaylasında bulunan otomatik meteoroloji gözlem istasyonunun (OMGİ) aylık olarak hazırlamış olduğu verilerden alınmıştır.

2018 yılı atmosferdeki aylık ortalama aktüel basınç değerleri Tablo 3.7.'de gösterilmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değişimi Tablo 3.8.'da verilmiş olup atmosferdeki aylık nispi nem değerleri Tablo 3.9.'da gösterilmiştir. Enerji üretim miktarını etkileyen en önemli faktör olan aylık ortalama yağış miktarı ise Tablo 3.10.'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 3.7. Aylık ortalama aktüel basınç (hPa)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	823,8	823,5	821,9	826,9	825,8	825,4	825,3	827,2	829,4	830,5	828,8	824,6

Tablo 3.8. Aylık ortalama sıcaklık (°C)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	-0,1	2,6	5,2	8,1	11,3	13,7	15,0	14,6	12,4	10,4	3,7	0,1

Tablo 3.9. Aylık ortalama nispi nem (%)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	75,3	68,8	69,1	58,6	77,7	85,1	91,3	88,7	84,5	75,1	82,4	82,8

Tablo 3.10. Aylık ortalama yağış miktarı (kg/m²)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	118,5	14,2	86,1	36,7	160,5	74,0	63,5	24,8	59,1	143,8	28,3	73,1

3.4. HES Üretim Verimliliği

HES’lerde suyun sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile hidrolik enerji elde edilir. Bu hidrolik enerji türbinlerde önce mekanik enerjiye sonra ise jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Santrallerde elde edilecek güce etki eden düşü ve debi santrallerin verimliliğini hesaplamadaki en önemli parametrelerdendir. Verimlilik hesabı yapılırken önce hidrolik güç hesaplanmalıdır. Denklem (3.1) hidrolik gücü göstermektedir.

$$P_a = \mu \rho Q g h \quad (3.1)$$

P_a = Gerçekleşen Üretim Miktarı (W), μ =verimlilik, ρ =Suyun yoğunluğu (kg/m³)

Q =Türbine gelen suyun debisi (m³/sn), g =Yerçekimi ivmesi(m/s²), h =net düşü (m)

Tablo 3.11. değişken parametre olan debinin aylara göre ortalama değerlerini göstermektedir. Bu değerler Yumrutepe santralinden SCADA ile elde edilmiştir. Burada aylara göre verimlilik hesabı yapılırken Tablo 3.13. kullanılmıştır. Ayrıca, teorik hesaplamada ρ , g ve h değerleri sabit olarak alınmıştır.

Tablo 3.11. Ortalama debinin aylık değişimi

$\rho = 1 \text{ kg/m}^3, g = 9,81 \text{ m/s}^2, h=48 \text{ m}$	
Ay	Debi (m^3/sn)
Ocak	8,02
şubat	10,97
Mart	18,05
Nisan	12,55
Mayıs	15,93
Haziran	10,85
Temmuz	4,43
Ağustos	3,01
Eylül	2,63
Ekim	6,35
Kasım	7,48
Aralık	12,97

Tablo 3.12. Gerçekleşen üretime göre ortalama debi değerleri için denklem (3.1) kullanarak hesaplanan aylık verimlilik değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.12. Aylık verimlilik değeri

Ay	Gerçekleşen Üretim (MWh)	Verimlilik %
Ocak	2706	71,65
şubat	3199	61,92
Mart	5932	69,79
Nisan	3748	63,42
Mayıs	5385	71,79
Haziran	3487	68,25
Temmuz	1503	72,05
Ağustos	890	62,35
Eylül	782	63,15
Ekim	2139	71,54
Kasım	2464	69,96
Aralık	4394	71,95

3.5. Kapasite Faktörü

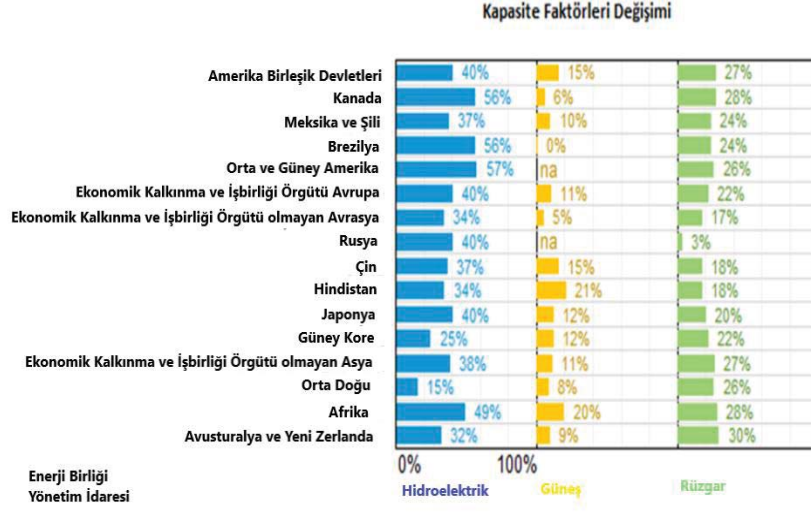
Kapasite faktörü (K_F) enerji santrallerinin verimliliğindeki en önemli parametrelerinden biridir. Bir santralin net kapasite faktörü (K_F), belli bir süre zarfında fiili üretiminin, tam kapasitede üretimine oranıdır. Ayrıca Kapasite faktörleri, kullanılan yakıtın türüne ve elektrik santralının tasarımına bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir. Kapasite faktörünün önemi Ulusal Enerji Ajansı (IEA) tarafından onaylanmış olup kapasite faktörünün artırılmasının kWh başına enerji maliyetini düşürdüğünü yayınlamıştır [47].

Elektrik Santral tiplerine göre ortalama kapasite faktörleri değişimi Tablo 3.13.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Ortalama kapasite faktörü

Elektrik Santral Tipi	Kapasite Faktörü
Nükleer	%90 ve üzeri
Kömür, Gaz	%80-90
Jeotermal	%75-80
Biyokütle Çöp	%65-70
Hidroelektrik	%40-50
Rüzgar	%20-30
Güneş	%20-25

Her ne kadar dünya ortalamaları %40-50 arası olsa da kapasite faktörü etki faktörlerine göre %0-100 arası değerler de alabilmektedir. Şekil 3.5.'te Amerika Birleşik Devletler (ABD) Enerji Bilgi dairesi Başkanlığı (EIA) verilerine göre 2012-2018 yılları arası hidroelektrik, güneş ve rüzgar enerjilerinin kapasite faktörleri verilmiştir [48]. Görüldüğü üzere Türkiye'nin de yer aldığı Avrasya bölgesinde Hidroelektrik santrallerin ortalama kapasite faktörü %34'tür ve dünya ortalamasına yakın bir değerdedir.



Şekil 3.5. 2012-2018 yılları arasında farklı enerji üretim santrallerinin ülkeler bazında kapasite faktörleri [48]

Tablo 3.14.'de görüldüğü üzere EIA'nın son verilerine göre 2013-2018 yılları arası diğer santral tiplerinde fazla bir değişiklik olmazken Hidroelektrik santrallerin kapasite faktörü artış eğilimi göstermektedir [49].

Tablo 3.14. 2013-2018 yılları farklı tip elektrik santralleri kapasite faktörü [49]

YIL	Nükleer	Hidroelektrik	Fotovoltaik Güneş	Rüzgar	Biyokütle Çöp	Jeotermal
2013	89,9%	38,9%	Veri Yok	32,4%	68,9%	73,6%
2014	91,7%	37,3%	25,9%	34,0%	68,9%	74,0%
2015	92,3%	35,8%	25,8%	32,2%	68,7%	74,3%
2016	92,3%	38,2%	25,1%	34,5%	69,7%	73,9%
2017	92,2%	43,1%	25,7%	34,6%	68,0%	74,0%
2018	92,6%	42,8%	26,1%	37,4%	73,3%	77,3%

3.5.1. Kapasite faktörünün hesaplanması

HES kapasite faktörü, bir süre içerisinde HES'in ürettiği enerji miktarının, HES'in tam kapasitede ürettiği enerji miktarına bölümü ile bulunur.

$$\% K_F = \frac{MW \times \text{Saat}}{(\text{Gün}) \times \left(\frac{\text{Saat}}{\text{Gün}}\right) \times MW} \quad (3.1)$$

3.5.2. Hidroelektrik santralleri kapasite faktörlerini etkileyen nedenler

Kapasite faktörlerini etkileyen pek çok sebep bulunmaktadır. Bunların birincisi, ekipman arızası veya rutin bakım nedeniyle bir süre HES'in servis dışı kalması veya düşük kapasitede çalışmasıdır. Bu durum, elektrik santrallerinin kullanılmayan kapasitelerinin başlıca nedenidir. Bazı elektrik santralleri, birim elektrik başına en düşük maliyete sahiptir, çünkü maksimum verim için tasarlanmışlardır ve sürekli olarak yüksek verimle çalıştırılmaktadırlar.

Bir tesisin %100'den daha düşük bir kapasite faktörüne sahip olmasının ikinci nedeni, elektriğe ihtiyaç duyulmadığından veya elektriğin fiyatının gün içi piyasada düşük olması nedeniyle üretimi ekonomik hale getirmek için verimin kısıtlanmasıdır. Bu da Hidroelektrik santrallerin üretimini talebe göre kısır arttırabilen bir yapıya sahip olmalarının avantajıdır. Bu gibi durumlarda enerji santralini tam kapasite çalıştırmak ekonomik değildir ve enerji israfına sebep olmaktadır.

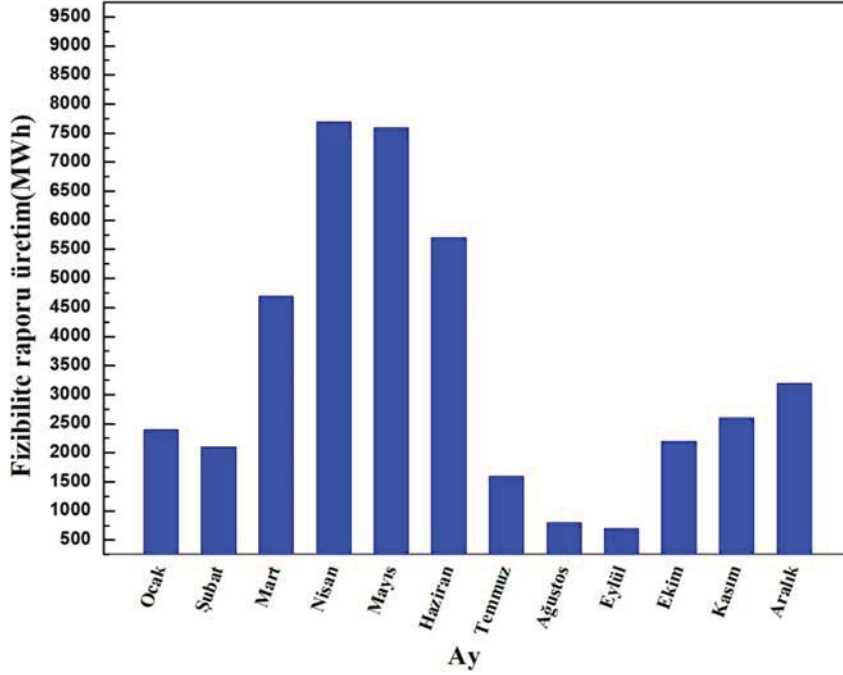
Üçüncü bir sebep, ikincisinin bir çeşididir: bir hidroelektrik santralin operatörleri, daha fazla jeneratör ünitesi ekleyerek, üretim kapasitesini yükseltebilirler. Böylece su değişmeden kaldığından, daha düşük kapasite faktörüne karşın daha yüksek bir üretim elde edilir. HES'lerde, elektrik talebinin en yüksek olduğu saatlerde ve dolayısıyla en yüksek spot fiyat daha fazla elektrik üreterek daha fazlasını satmaları sağlanabilir.

Kullanılmayan kapasitenin dördüncü bir nedeni de vardır. Normalde santral elektrik üretebilir, ancak yeterli su bulunmayabilir. Örneğin bir hidroelektrik santralının üretimi, su seviyesinin çok yüksek veya düşük olması ve su akışındaki balıklar için su sağlama gibi gereksinimlerden de etkilenebilir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Yumrutepe HES Fizibilite Raporuna Göre Üretim

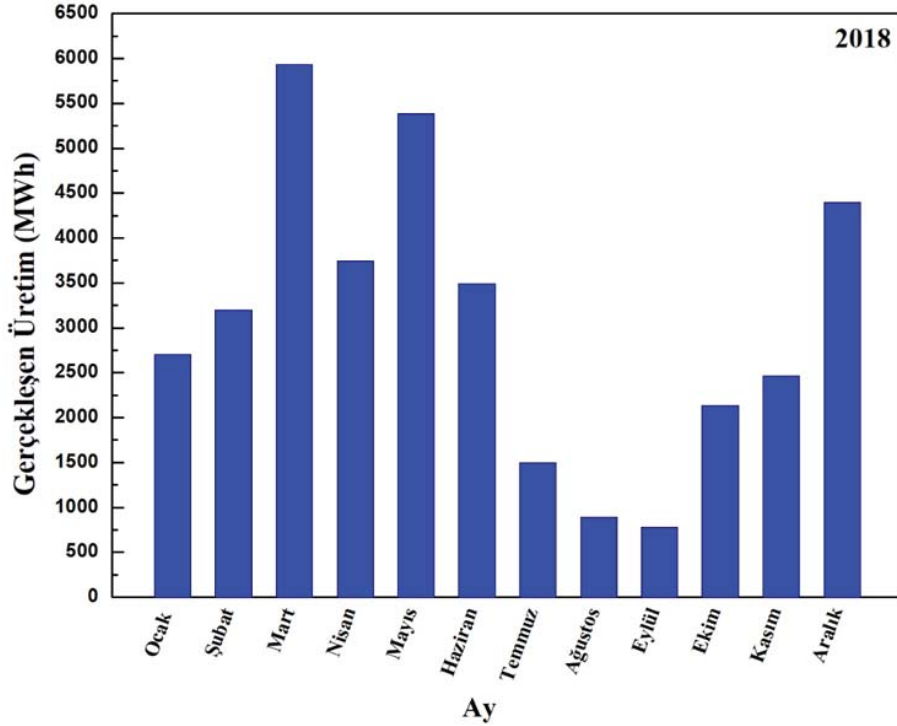
Şekil 4.1. Yumrutepe HES kurulurken yapılan fizibilite raporlarındaki verilere göre Tablo 3.6. kullanılarak hazırlanmış aylık fizibilite üretim miktarlarını göstermektedir. Üretim açısından feyezan dönemi olarak adlandırılan yüksek kesimlerde karların erimesi ve yağışın artmasından kaynaklı üretim miktarı en yüksek seviyelere ulaşacağı Nisan ve Mayıs ayları ve mevsimsel olarak az yağıştan dolayı üretimin en düşük seviyelerde olduğu Ağustos ve Eylül ayları Şekil 4.1.'de görülmektedir. Fizibilite raporuna göre üretim değerleri Nisan ayında maksimum değer olan 7700 MWh olmakta ve Eylül ayında ise minimum değer olan 700 MWh olarak görülmektedir.



Şekil 4.1. Yumrutepe HES fizibilite raporu aylık dağılım grafiği

4.2. Yumrutepe HES 2018 Gerçekleşen Üretimi

Tablo 3.12. kullanılarak üretilen Şekil 4.2.'ye bakıldığında her ne kadar Mayıs ayı fizibilite ile uyumlu olsa da 2018 yılında gerçekleşen üretimin Mart ayında 5932 MWh ile santralin en yüksek üretimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Yüksek kesimlere yağın kar yağışı ile birlikte karların erken erimesi sonucu üretimin Mart ayında fizibiliteye kıyasla daha fazla olmasını sağlamıştır. En düşük üretim ise fizibilite raporları ile uyumluluk göstererek raporda belirtildiği gibi Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir.

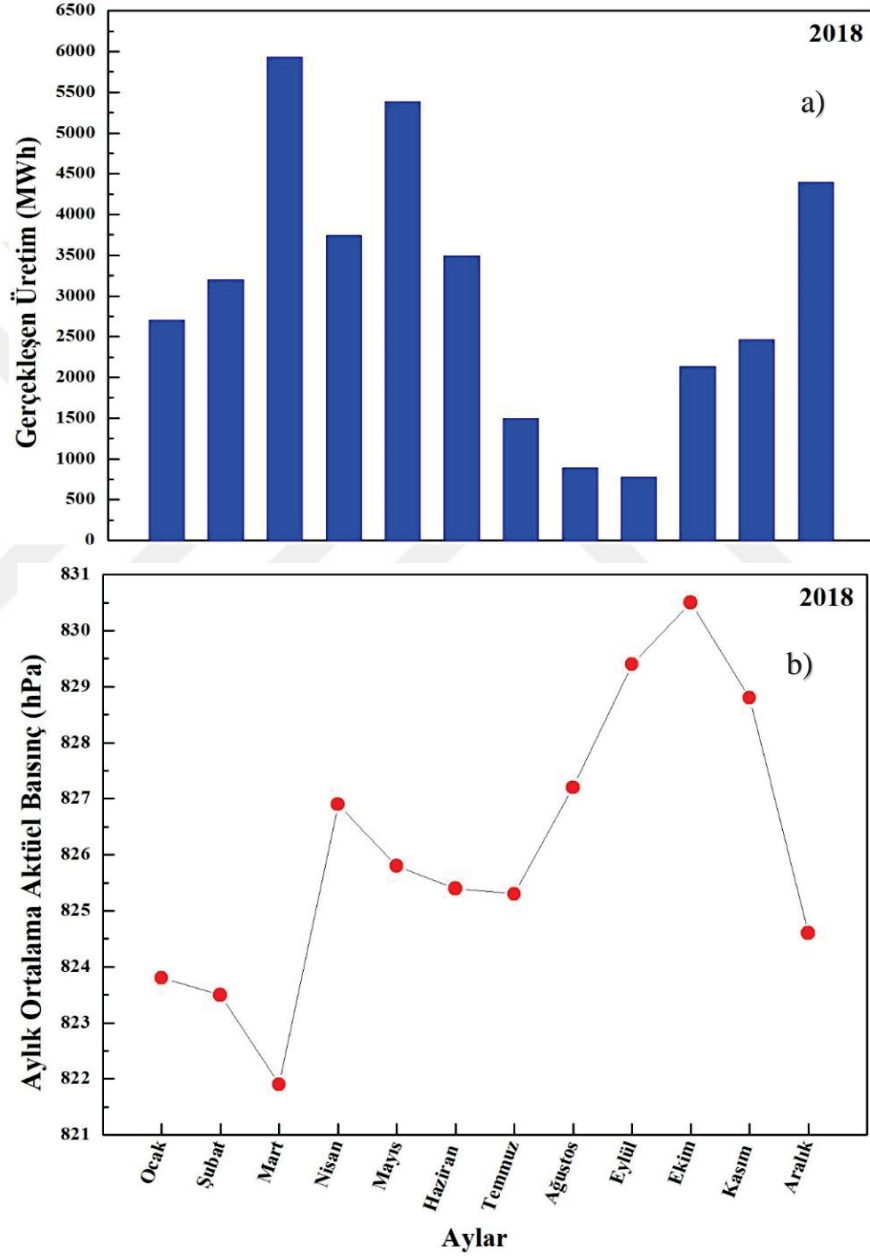


Şekil 4.2. Gerçekleşen üretimin aylara göre dağılım grafiği

4.3. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretimin Ortalama Aktüel Basınç ile İlişkisi

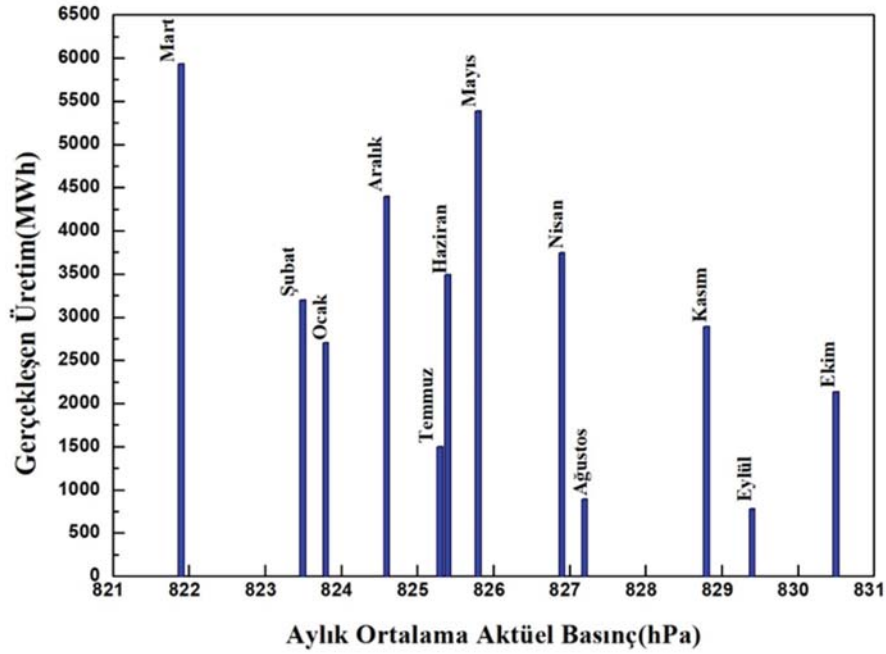
Şekil 4.3. a-b grafikleri sırasıyla aylık gerçekleşen enerji üretimini ve Giresun Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'nden alınan aylık ortalama aktüel basınç verilerini gösterilmektedir. Bu verilere göre Yumrutepe HES 2018 yılı gerçekleşen üretimi

kıyaslandığında Aktüel basıncın Mart ayında en düşük seviyelerde yani 821,9 hPa olduğu ve Mart ayında gerçekleşen üretimin maksimuma çıkarak 5932 MWh olduğu görülmektedir. Temmuz ayından itibaren ortalama aktüel basıncın artmasıyla birlikte üretim miktarında düşüş görülmekte olup en düşük üretimin Eylül ayında 782 MWh olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.3. a) 2018 yılı gerçekleşen enerji üretim grafiği b) 2018 yılı ortalama aktüel basınç grafiği

Şekil 4.4.'de ortalama aktüel basıncın 2018 yılı değerlerinin aylık değişiminin üretime etkisi gösterilmiştir. Bu etki incelendiğinde ortalama aktüel basıncın en düşük seyrettiği Mart ayında 821,9 hPa olup bu yılın en yüksek üretimi yapılmış, Nisan ayında ise ortalama aktüel basıncın ortalama 826,9 hPa yükselmesinin enerji üretimini etkileyerek azalttığı görülmektedir. Mayıs ayında ise ortalama aktüel basıncın düşüyle birlikte enerji üretiminde yeniden artış yaşanmıştır. Ekim ayından itibaren ortalama aktüel basınçta düşüş yaşanmakta olsa da ve diğer etki parametreleri (sıcaklık, yağış miktarı vb.) nedeni ile enerji üretimindeki artış, ortalama aktüel basıncın aylık gerçekleşen üretim grafiğinde ortaya çıkmaktadır.

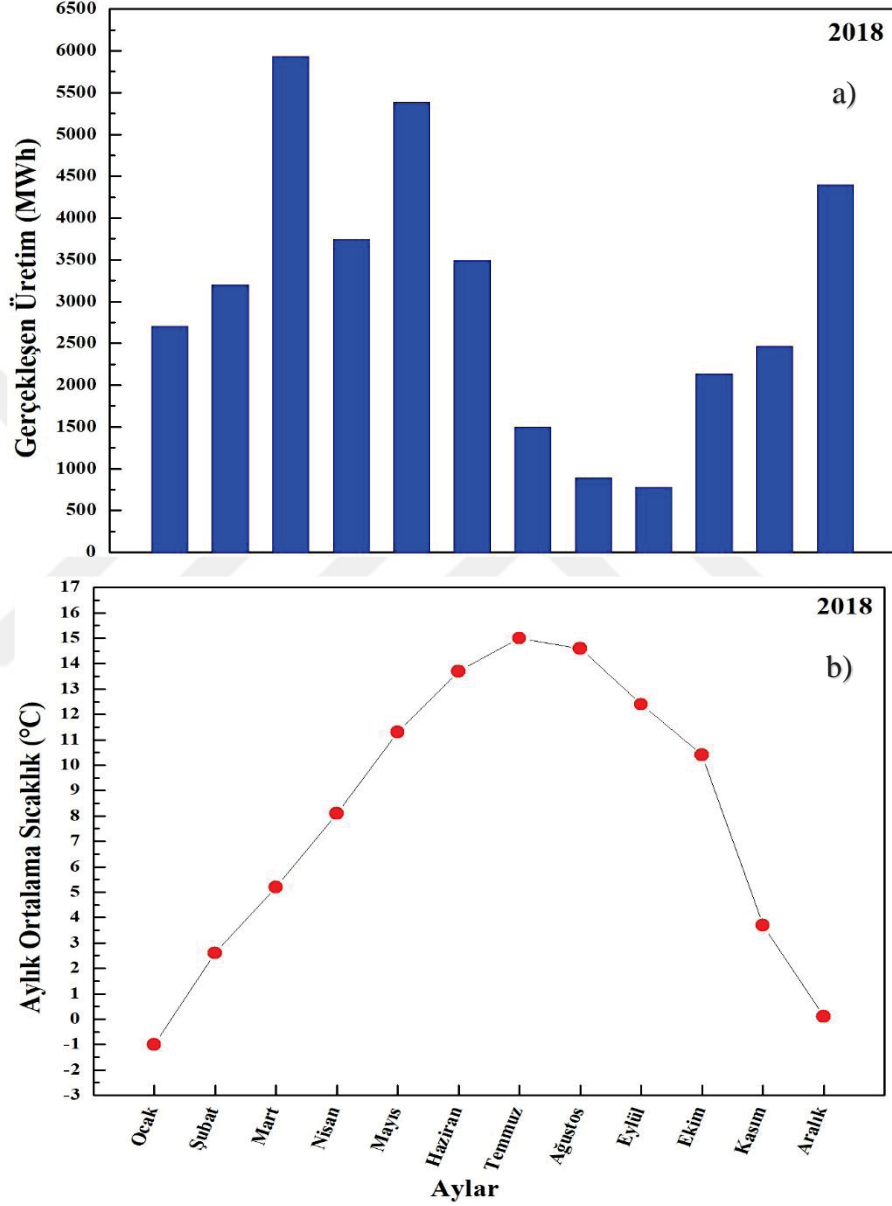


Şekil 4.4. Ortalama aktüel basıncın aylık gerçekleşen üretim grafiği

4.4. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim ve Ortalama Sıcaklık

2018 yılı üretilen elektriğin aylık değişimi ve aylık ortalama sıcaklık değişimini sırasıyla Şekil 4.5. a-b grafiklerinde gösterilmektedir. Aylık sıcaklık grafiği incelendiğinde Ocak, Şubat ve Aralık aylarında sıcaklığın düşük olması ve kar yağışından kaynaklı üretim 2700 MWh ve üstünde gerçekleşmiştir. Mart ayında yüksek kesimlerde sıcaklığın artışa geçmesi ile karları eritmeye başlamış ve enerji

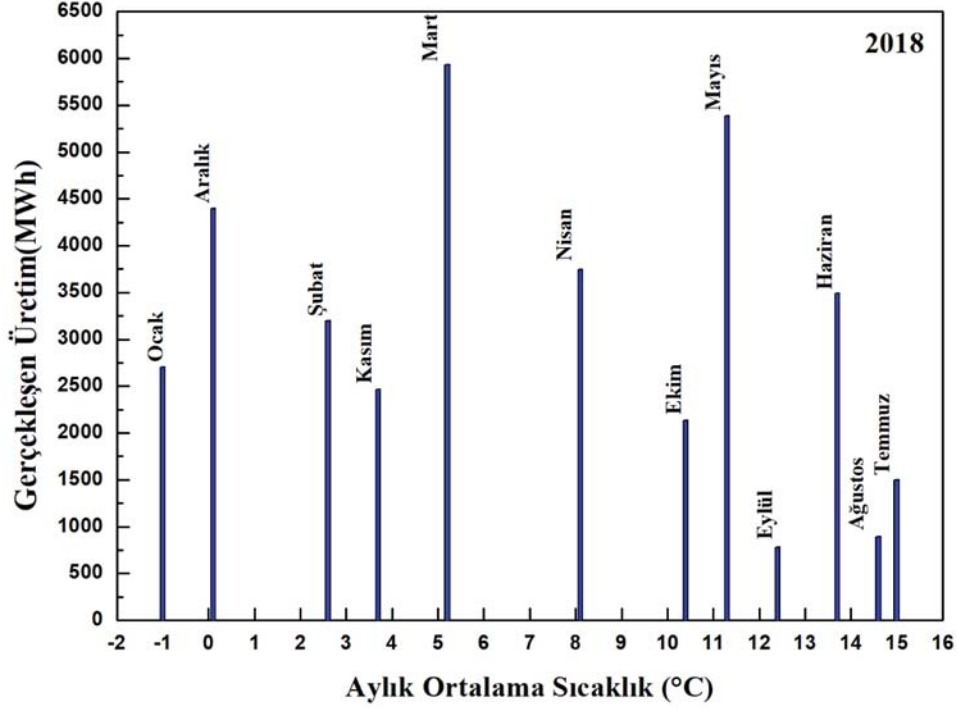
üretimi maksimuma çıkmıştır. Haziran ayından itibaren sıcaklık seviyelerindeki artış ile birlikte muhtemelen düşük yağış nedeniyle enerji üretiminde azalmalar görülmektedir. Ekim aylarında sıcaklıkların düşmesi ile birlikte enerji üretim miktarında tekrar artış başlamıştır.



Şekil 4.5. a) 2018 yılı gerçekleşen enerji üretim grafiği b) 2018 yılı ortalama sıcaklık grafiği

Şekil 4.6. aylık ortalama sıcaklık değerlerine karşılık gerçekleşen üretim miktarlarını göstermektedir. Burada en düşük sıcaklığın -1 °C ile ocak ayında yaşandığı ve ocak ayından itibaren sıcaklık artışıyla birlikte enerji üretiminde de artış olduğunu

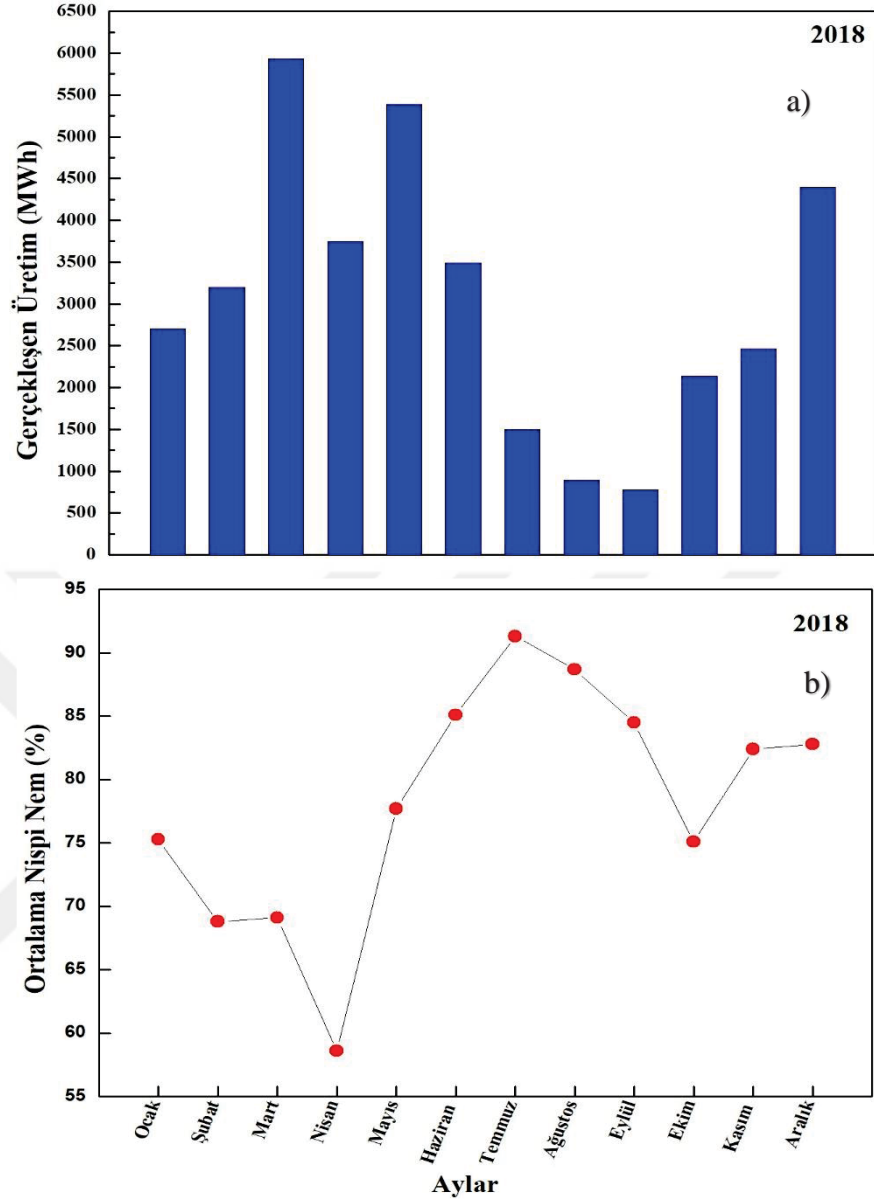
görülmektedir. Nisan ayında sıcaklık 8,1 °C olmasına karşın Mart ayına göre üretimin düştüğü gözlenmiştir. Muhtemelen yağışın az olması ve yüksek kesimlerde Mart ayı sonunda karların büyük çoğunluğunun erimiş olmasından dolayı Nisan'da 3748 MWh üretilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık 15 °C derece ile Temmuz ayı olup bu ay 1503 MWh üretim yapılmıştır.



Şekil 4.6. Yumrutepe HES aylık ortalama sıcaklık ve gerçekleşen üretim grafiği

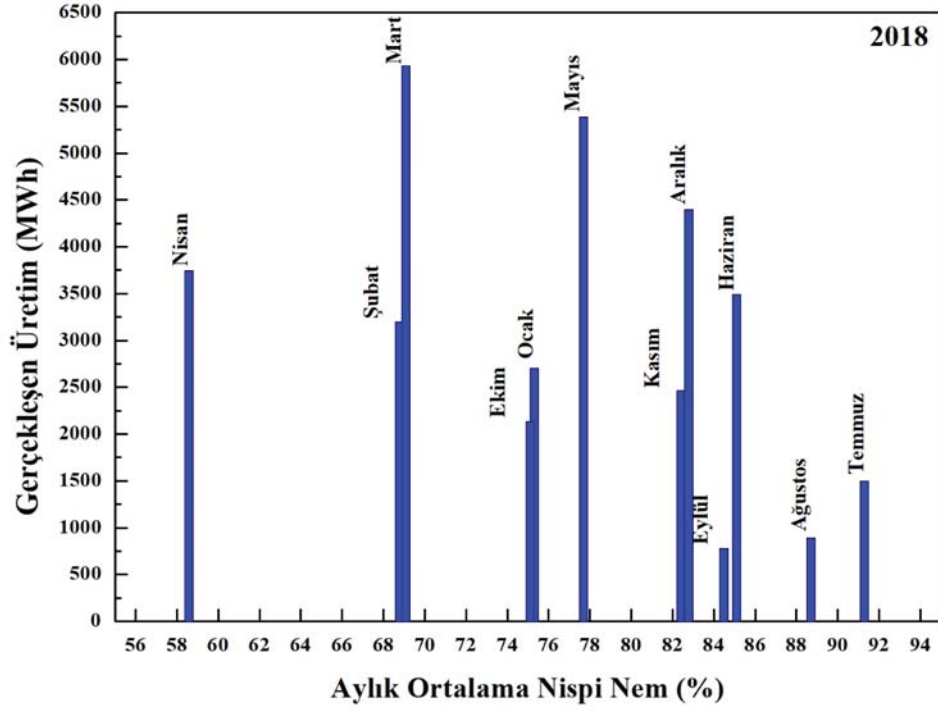
4.5. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim ve Ortalama Nispi Nem

Santrallerin elektrik üretimini etkileyen ve genellikle göz ardı edilen diğer bir faktör ortalama nispi nemdir. Tablo 3.9.'daki verilerle hazırlanan Şekil 4.7. a-b grafiklerinde aylık gerçekleşen üretim ile aylık ortalama nispi nemi göstermektedir. Yumrutepe HES'de 2018 yılında gerçekleşen üretimin ile aylık ortalama nispi nemdeki değişime bakıldığında en yüksek enerji üretiminin yapıldığı ay olan Mart döneminde ortalama nispi nemin %69,1 olduğu en düşük enerji üretimlerinin yapıldığı Ağustos ve Eylül aylarında ise ortalama nispi nemin sırasıyla %88,7 ve %84,5 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. a) 2018 yılı gerçekleşen enerji üretim grafiği b) 2018 yılı ortalama nispi nem grafiği

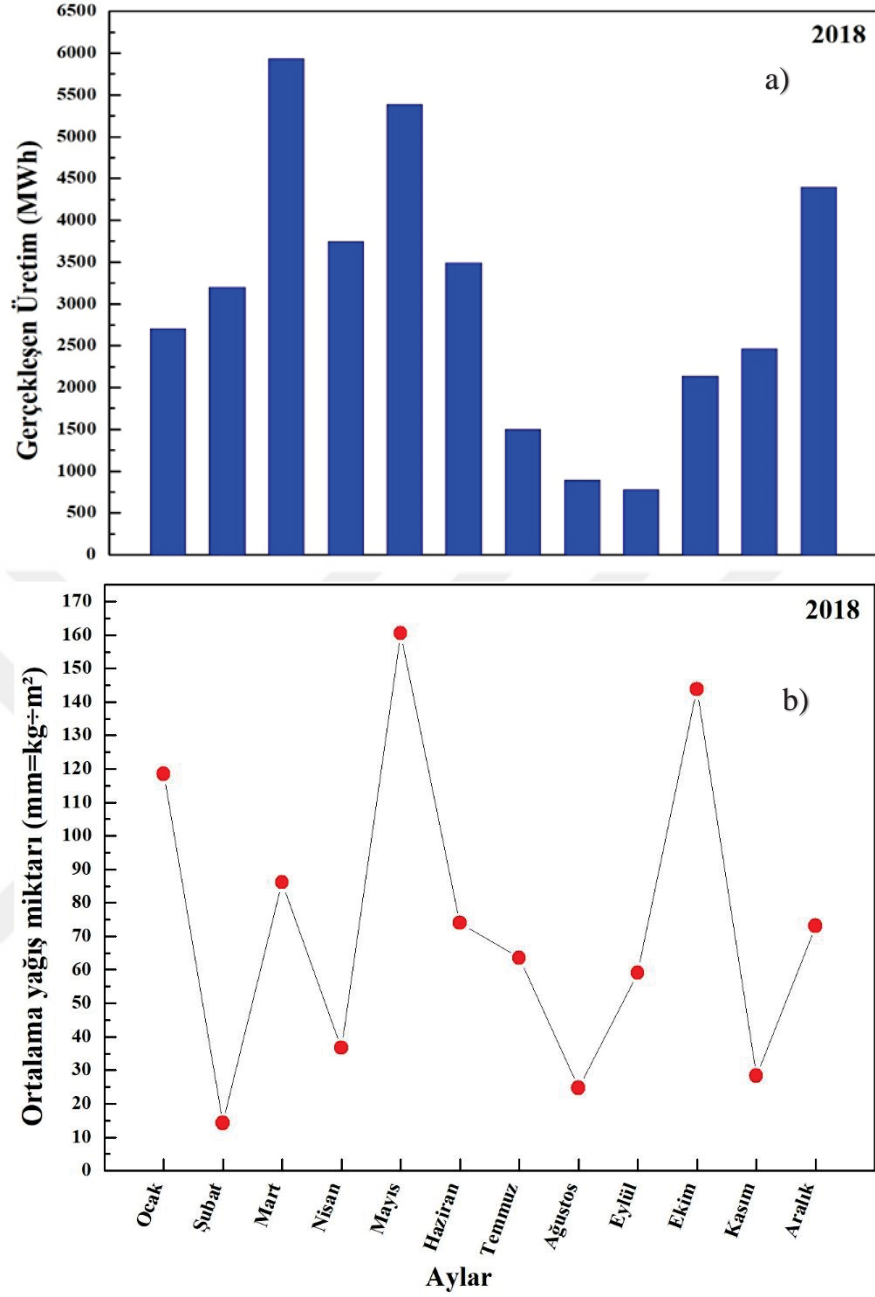
Şekil 4.8. aylık ortalama nispi neme karşılık gerçekleştirilen üretimi göstermektedir. Aylık ortalama nispi nem Nisan ayında %58,6 olup enerji üretimi ise o ayda 3748 MWh olarak gerçekleşmiştir. En yüksek ortalama nispi nem 2018 yılı için Temmuz ayı olarak %91,3 olduğu görülmekte ve bu ay 1503 MWh enerji üretimi yapılmıştır. 782 MWh enerji üretimi ile üretimin en az olduğu Eylül ayında ise nispi nem ortalaması %84,5 olarak kalmıştır.



Şekil 4.8. Aylık ortalama nispi nem ve gerçekleşen üretim grafiği

4.6. Yumrutepe HES Gerçekleşen Üretim ve Ortalama Yağış Miktarı

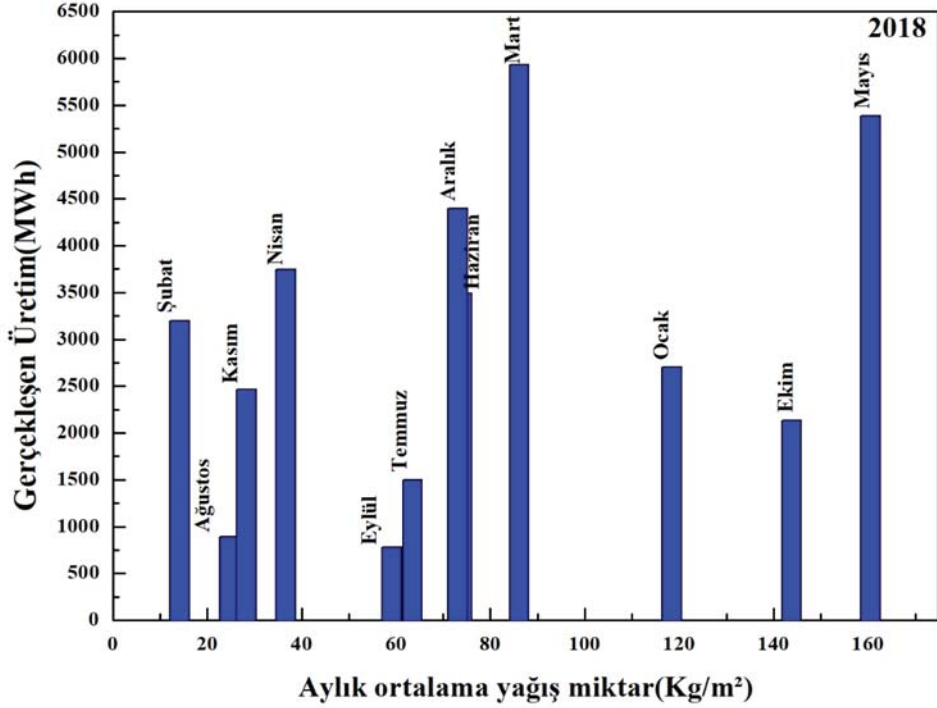
Tablo 3.10.'den alınan verilerle hazırlanan aylık ortalama yağış miktarının gerçekleşen üretime etkisi Şekil 4.9. a-b grafiklerinde görülmekte olup 2018 yılı maksimum enerji üretiminin yapıldığı sıcaklıkların artışı etkisiyle heyelan yaşanan Mart ayında ortalama yağış miktarı $86,1 \text{ kg/m}^2$ 'dir. 2018 yılı minimum üretim olan Eylül ayında ise ortalama yağış miktarı $59,1 \text{ kg/m}^2$ 'dir. İkinci en fazla üretimin olduğu Mayıs ayında ise fizibilite ile uyumlu olarak yağış miktarının fazlalığı görülmektedir.



Şekil 4.9. a) 2018 yılı gerçekleşen enerji üretim grafiği b) 2018 yılı ortalama yağış grafiği

Şekil 4.10.'da gerçekleşen üretimin aylık yağış miktarına göre değişimini göstermektedir. En fazla ortalama yağış miktarının Mayıs ayında 160,5 kg/m² olarak enerji üretimi ise 5385 MWh olarak gerçekleşmiştir. En düşük ortalama yağış miktarı Şubat ayında gerçekleşmiş olup 14,2 kg/m²'dir. Ağustos ve Eylül aylarında sırasıyla 24,8 kg/m² ve 59,1 kg/m² olarak gerçekleşen yağış miktarına paralel gerçekleşen üretim en düşük seviyeler olan Ağustos ve Eylül için 890 MWh ve 782 MWh olarak görülmüştür. Az yağışlı geçen yaz sezonu sonunda ekim ayında yağış miktarı ani

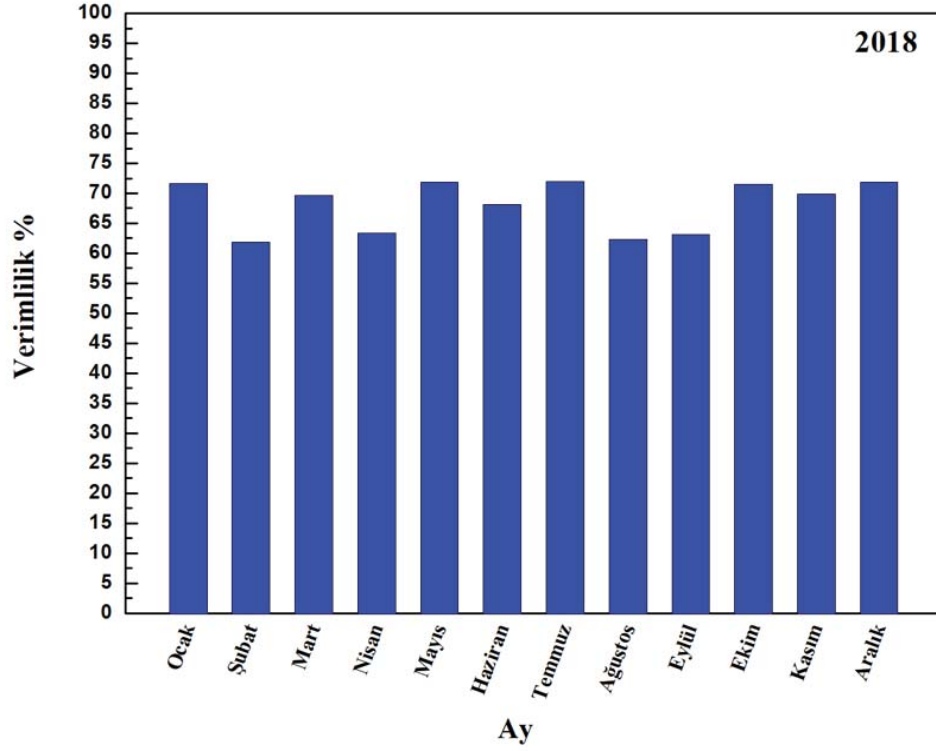
olarak artış göstermiş ve 2139 MWh değerine ulaşmıştır bu sonuç gerçekleşen üretimde de bir ani artışa neden olmuştur.



Şekil 4.10. Aylık ortalama yağış miktarı ve gerçekleşen üretim grafiği

4.7. Yumrutepe HES Üretim Verimliliği

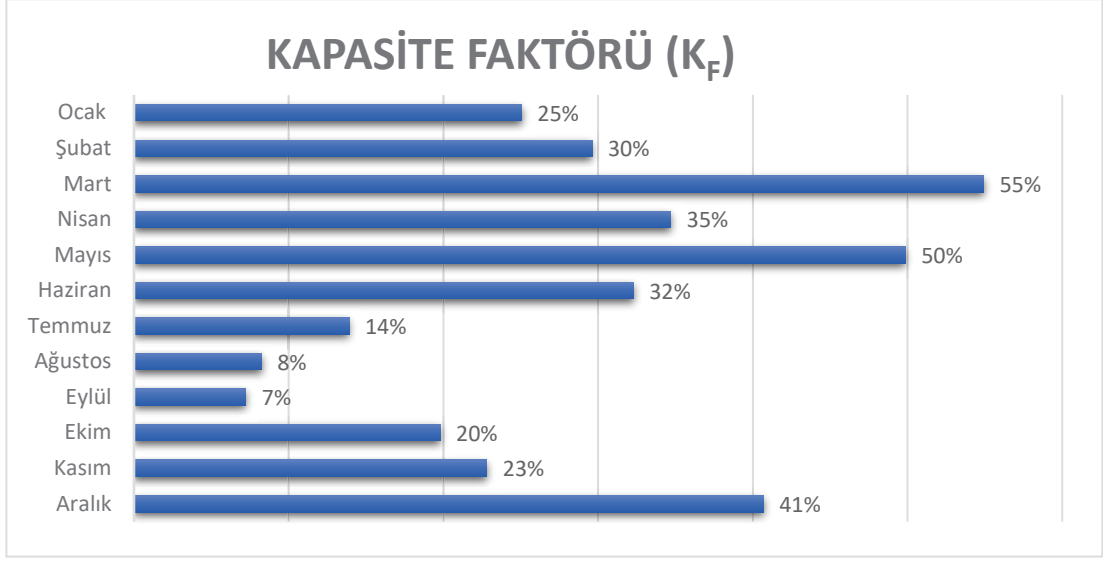
Tablo 3.11. ve Tablo 3.12.'deki verilere göre Yumrutepe HES 2018-2019 yılları arasında üretim verimliliği hesaplanmış olup Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Ocak ayında %71,65 değerinde olan verimlilik Şubat, Mart, Nisan aylarında sırasıyla %61,92, %69,79 ve %63,42 değerlerini alarak düşüş göstermiş ancak en çok ikinci sıradaki üretimin olduğu Mayıs ayında yine artış göstererek %71,78 seviyesine ulaşmıştır. Şekil 4.11.'e bakıldığı zaman 2018 yılı içerisindeki verimliliğin Temmuz ayında %72,05 seviyesinde olduğu görülmektedir. Temmuzdan sonraki yağış miktarındaki düşüş ile birlikte verimlilik düşmekte ve tekrar yağış miktarının artışa geçtiği Ekim ayı itibari ile yükselişe geçip %71,53 değerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.11. 2018 yılı Yumrutepe hidroelektrik santrali verimlilik grafiği

4.8. Yumrutepe HES Kapasite Faktörü

Şekil 4.12. Denklem 3.2.'ye göre hesaplanmış olan 2018-2019 yılları arası Yumrutepe HES'in kapasite faktörü değerlerini göstermektedir. Kapasite faktörü hesaplanırken teorik olarak Yumrutepe HES'nin 3 ünite ile 24 saat çalışması durumunda aylık üretebileceği maksimum enerji miktarı kullanılmıştır. Kurulu Gücü 15 MW olan Yumrutepe HES %55 kapasite ile Mart ayında maksimum üretim gerçekleşmiştir. En yüksek yağış miktarının olduğu Mayıs ayında ise %50 kapasite ile enerji üretilmiştir. En düşük kapasite ile çalışılan aylar ise %7 ve %8 ile Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.12. 2018 yılı Yumrutepe HES aylık kapasite faktörü değerleri

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekil 4.1. incelendiğinde fizibilite raporunda en ideal durum düşünüldüğü için enerji üretim miktarı yıl içerisinde en yüksek 7700 MWh ile Nisan ve en düşük 700 MWh ile Eylül ayı olarak gösterildi. Bu durum ise 2018 yılı içinde gerçekleşen üretimin gösterildiği Şekil 4.2.'de Mart ve Nisan ayları hariç diğer aylarda fizibilite raporuna uygun yaklaşık değerlerde oldu. Örneğin ideal durumda 7600 MWh hesaplanan Mayıs ayının gerçekleşen değeri ayda 5385 MWh değerindedir. Mart ayında ise maksimum üretim miktarına ulaşarak 5932 MWh olmuştur. Bu ayda 2018 yılı feyezan dönemi erken başlaması ve kar yağışının az olması gibi sebeplerle fizibiliteden çok farklı bir üretim değeri elde edildi.

Şekil 4.3. a-b grafiklerinde verilen havadaki aylık ortalama aktüel basıncın gerçekleşen üretim ile olan ilişkisi incelenmiştir. Şekil 4.3. a-b ve Şekil 4.4.'e birlikte bakıldığında genel bir davranış olarak kısmi basıncın düşmesi ile üretimde artış, basıncın artması ile üretimde azalma görülmektedir. Yani aktüel basınç ile HES'te üretilen enerji ters orantılıdır. Bu durum özellikle Temmuz'dan sonra aktüel basınç değerinin 825,3 hPa'dan yükselişe geçişiyle en son zirvesi olan 830,5 hPa değere ulaştığı Ekim ayları arasında gerçekleşen üretimde bariz bir düşüş vardır. Daha sonra yıl sonuna doğru basıncın azalmasıyla yeniden üretimde artış yaşandı.

Aylık ortalama sıcaklığın gerçekleşen üretime etkisinin gösterildiği Şekil 4.5. a-b grafiklerine ve Şekil 4.6.'ya bakıldığında iki dönem aralığı için inceleme yapıldı. Birinci dönem 2018 yılının ilk altı ayı olarak ve ikinci dönem 2018 yılının son altı ayı olarak ayrıldı. Burada Mart ayındaki ekstra feyezan durumundan kaynaklanan istisna birinci dönemde 2017 yılının kışından kalan karların erimesi nedeniyle üretimde ortalama sıcaklıkla doğru orantılı bir artış görülmektedir. Temmuz ayından sonraki ikinci dönemde ise ortalama sıcaklık düşüşe geçmiş yazın üretim sıcaklık etkileri ile

Ekim ayına kadar azalmış daha sonra havadaki aktüel basınç, nispi nem, yağış miktarı gibi etkiler ile tekrar artışa geçmiştir. Yıl içerisinde $-0,1$ °C ile ortalama sıcaklığın minimum olduğu ocak ayında üretim miktarı 2706 MWh olarak gerçekleşmiş olup maksimum 15 °C ortalama sıcaklık değerine ulaştığı Temmuz ayında ise üretimin 1503 MWh olduğu görüldü.

Şekil 4.7. a-b grafiklerinde görülen aylık ortalama nispi nemin enerji üretimine etkisi incelendiğinde nispi nemin diğer parametrelere kıyasla üretim üzerinde daha az etkili olduğu görülmüştür. Genele bakıldığında zaman nispi nemin, aktüel basınca benzer bir etki gösterdiği saptanmıştır. Yani nispi nemin düşüşü ile üretim artışı, yükselmesi ile ise üretimde azalma tespit edilmiştir. Sanılanın aksine atmosferde fazla nispi nem olması daha fazla enerji üretimi sağlamamaktadır. Şekil 4.8.'de görüldüğü üzere Nispi nemin maksimum değeri Temmuz ayında olup, ki bu yıl içerisinde aylık ortalama sıcaklığın en fazla olduğu aydır, %91,3'lük bir değer almıştır. Buna ilaveten, maksimum üretimiyle göze çarpan mart ayında doğal olarak nispi nem düşük değerde kalmış ve fizibilite raporuna göre maksimum üretimin olması gereken Nisan ayında minimum olan %58,6 değerini almıştır. Bu da aylık ortalama nispi nem ile gerçekleşen üretimin ters orantılı olduğunun net bir kanıtıdır.

Üretimin etkilendiği parametrelerden biri olan ortalama yağış miktarı Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Burada, Yağışların en çok yaşandığı Mayıs ve Ekim aylarında yağış miktarları sırasıyla $160,5$ m³/s ve $143,8$ m³/sn ile en yüksek değerlerini almıştır. Yıl içerisinde yağış miktarlarında dalgalanmalar olmasına rağmen diğer parametrelerin baskın olması ile dönemsel üretimdeki düzenli artış ve azalışlar devam ederken yağış miktarının özellikle üretimdeki verimlilikte çok etkili olmadığı gözlemlendi.

Şekil 4.11.'de verilen aylık Yumrutepe HES'inin enerji üretim verimliliği gösterildi. Verimlilik en düşük %61,9 ile Şubat ayında elde edilmiş olup en yüksek %72,05 oranıyla Temmuz ayında gerçekleşti. Verimlilik hesabına bakılınca en çok üretimin yapıldığı ay olan Mart ayında en yüksek verimlilik elde edilmemiştir ya da üretimin en az olduğu Eylül ayı verimlilik açısından en kötü ay olmamıştır. Şubat ayında verimliliğin en düşük olması sebeplerine bakıldığında öncelikle aylık yağış miktarının

Ocak ayındaki değerinin Şubat ayında ani bir şekilde 8,34 kat azaldığı görüldü. Temmuz ayında ise bir önceki aya göre 2,58 kat artması sonucu verimlilik en yüksek değerini aldı. Verimliliği etkileyen diğer bir faktör olarak verimliliğin hesabında kullanılan ve ana değişkenlerden birisi de debi miktarıdır. Ekim ayından itibaren yağışlarla su debisinin artması ve buna istinaden enerji üretimindeki artış ile verimlilik açısından da artış gözlemlendi. Temmuz ayındaki maksimum verimliliğin nedeni türbinlere gelen suyun debi miktarının diğer aylara kıyasla daha stabil olması şeklinde yorumlandı. Çünkü Temmuz ayı içerisindeki debi dalgalanması çok düşük gerçekleşti. Şubat ayında ise çok fazla dalgalanma olduğu için en düşük verimlilik bu ay elde edildi. Buradan anlaşılacağı üzere bir HES'te o ay gerçekleşen üretim miktarının fazla olması HES'in o ay için daha verimli olduğu anlamına gelmemektedir. Bu tez de incelenen diğer parametrelerin de hesaba katılması gerektiği anlaşıldı.

Şekil 4.12. Yumrutepe HES kapasite faktörünü göstermektedir. Yumrutepe hidroelektrik santralının 2018-2019 yılları arasında aylık kapasite faktörü değişimlerine bakıldığında en yüksek üretimin gerçekleştiği aylar olan Mart ile Mayıs aylarının kapasite bakımından en iyi olduğu görüldü. Şekil 4.1.'de fizibilite raporlarına bakıldığında, en yüksek üretimin ve en fazla kapasite faktörünün Nisan ayında olması beklenirken atmosferik ve diğer etkenler neticesinde Nisan ayında 3748 MWh gerçekleşen üretimin %35 kapasiteyle yapıldığı hesaplandı.

Şekil 4.10.'a göre en az yağışın yaşandığı Şubat ayında kapasitenin %30 olduğu tespit edildi. Ancak, Ağustos ve Eylül aylarında Şubat'tan daha fazla yağış ortalaması olmasına rağmen kapasite faktörleri sırasıyla %8 ve %7'lik değerler Şubat ayının çok gerisinde kalmışlardır. Hidroelektrik santrallerinde üretim kapasitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların arasında özellikle öne çıkan etkenler olarak elektriksel ve mekaniksel arızalar, yıllık olarak yapılan bakımlarda oluşan üretim kayıpları, iletim hatlarında meydana gelen kayıplar, çevresel atık ve sudaki tortu veya çökeltilerin üretim için alınan suyun geçtiği ızgaralarda birikerek ızgaraları tıkaması ve türbine alınan debi miktarındaki azalma gibi sebepler enerji üretimini yani kapasite faktörünü olumsuz yönde etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sims, G. P., Hydroelectric Energy, Energy Policy, 19.8, 776-786, 1991.
- [2] Shortridge, R. W., Some Early History of Hydroelectric Power, Hydro Review, June, 30-40, 1988.
- [3] The Bureau of Reclamation. Hydropower Program
<https://www.usbr.gov/power/edu/history.html> [Erişim Tarihi: 14.06.2019].
- [4] Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy. History of Hydropower.
<https://www.energy.gov/eere/water/history-hydropower>
[Erişim tarihi:09.06.2019].
- [5] Lenzen, M., Current state of development of electricity-generating technologies: A literature review. Energies, 3, 3, 462-591, 2010.
- [6] <https://www.reuters.com/article/us-france-energy/france-to-double-renewables-capacity-under-10-year-energy-plan-idUSKCN1PJ1T0>
[Erişim Tarihi: 20.07.2019].
- [7] <http://www.eniscuola.net/en/2019/04/02/italys-status-renewable-sources-2/>
[Erişim Tarihi: 24.07.2019].
- [8] https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renewable-2017.pdf [Erişim Tarihi: 15.07.2019].
- [9] https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6_dunyadaveturkiyede.pdf [Erişim Tarihi: 18.07.2019].
- [10] International Hydropower Association, hydropower status report,
https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications/docs/iha_2018_hydropower_status_report_4.pdf. [Erişim Tarihi: 15.06.2019].
- [11] Singh, V. K., & Singal, S. K., Operation of hydro power plants-a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 610-619, 2017.
- [12] Kishor, N., Saini, R. P., & Singh, S. P., A review on hydropower plant models and control. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 5, 776-796, 2007.

- [13] Öztürk, H. Yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanımı. Teknik Yayınevi, 111-153, 2008.
- [14] Gulliver, J. S., & Roger EA Arndt. Hydropower Engineering Handbook. McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [15] Tkáč, Š., Hydro power plants, an overview of the current types and technology. Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering, 13, 1, 115-126, 2018.
- [16] Akköy Enerji A.Ş., www.akkoy.com/s-5-yasmakli.html. [Erişim Tarihi: 13.06.2019].
- [17] Bulut, M., Hidroelektrik Enerji ve Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tipi Seçiminin Verime Etkisinin İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [18] Melikom Elektrik Üretim, <https://www.enerjiatlası.com/sehir/rize/> [Erişim Tarihi: 13.06.2019].
- [19] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, www.dsi.gov.tr/projeler/ataturk-baraji, [Erişim tarihi:10.06.2019].
- [20] Yavuzdemir, M., Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması ve Hidrolik Türbin Çeşitleri., Bülteni Enerji Piyasası: 59., 2012.
- [21] Mercan, B., Orta Ölçekli Hidroelektrik Enerji Tesislerinin İncelenmesi İçin Örnek Bir Çalışma-Bağışlı Regülatörü ve Hes. Diss. Enerji Enstitüsü, 2014.
- [22] Lamas Hidroelektrik Santrali, www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/lamas-3-4-hes.html, [Erişim tarihi 09.06.2019].
- [23] Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z., & Nielsen, T. K., Hydropower in the context of sustainable energy supply: a review of technologies and challenges. ISRN Renewable Energy, 2012.
- [24] Hydro Power Basics, https://energypedia.info/wiki/Hydro_Power_Basics, [Erişim tarihi: 15.05.2019].
- [25] Karakaya hidroelektrik santrali, http://www.imo.org.tr/50_yilda_50_eser/34.php, [Erişim Tarihi: 12.06.2019].
- [26] Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Alam, M. M., Pumped hydro energy storage system: A technological review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 586-598, 2015.
- [27] Saraç, M., Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller, 2009.

- [28] Prasad, A. D., Jain, K., & Gairola, A., Pumped storage hydropower plants environmental impacts using geomatics techniques: an overview. *International Journal of Computer Applications*, 81.14, 2013.
- [29] Okot, D. K., Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520, 2013.
- [30] Sangal, S., Garg, A., & Kumar, D., Review of optimal selection of turbines for hydroelectric projects. *International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering*, 3.3, 424-430, 2013.
- [31] Viollet, P. L., From the water wheel to turbines and hydroelectricity. Technological evolution and revolutions. *Comptes Rendus Mecanique*, 345.8, 570-580, 2017.
- [32] Koçak, M. E., Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidroelektrik Santraller ve Sırakonaklar Hes Projesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 2011.
- [33] Staubli, T., Abgottsporn, A., Weibel, P., Bissel, C., Parkinson, E., Leduc, J., & Leboeuf, F., Jet quality and Pelton efficiency. *Hydro*, Lyon, France, Oct, 26-28, 2009.
- [34] Pelton Türbin, mechanical-engg.com/gallery/image/1213-pelton-turbine/ 8.05.2019.
- [35] Jošt, D., Mežnar, P., & Lipej, A., Numerical prediction of Pelton turbine efficiency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 12, No. 1, p. 012080). IOP Publishing, 2010.
- [36] Lubis, M. N., & Adanta, D., Performance of a Low Cost Spoon-Based Turgo Turbine for Pico Hydro Installation. *Energy Procedia*, 156, 447-451, 2019.
- [37] Sangal, S., Garg, A., & Kumar, D., Review of optimal selection of turbines for hydroelectric projects. *International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering*, 3.3, 424-430, 2013.
- [38] Turgo türbin, <http://turkish.hydrotu.com/sale-1800302-impulse-turbine-turgo-hydro-turbine-100-kw-1000kw-with-stainless-steel-runner.html> [Erişim Tarihi: 10.05.2019].
- [39] Pérez, E. P., Carrocci, L. R., & Magalhães Filho, P. Instalação de um tubo de sucção numa turbina Michell-Banki para o aproveitamento de pequenas quedas de água, 2006.
- [40] Elbatrana, A. H., Abdel-Hameda, M. W., Yaakobb, O. B., Ahmedb, Y. M., & Ismailb, M. A., Hydro power and turbine systems reviews. *Jurnal Teknologi*, 74.5, 2015.

- [41] Banki türbin,
www.google.com/search?q=banki+t%C3%BCrbin&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiyp7OBwdriAhWGK1AKHbdzCAsQsAR6BAgAEAE&biw=1280&bih=610#imgrc=7Y8FVRAspQtc_M;
[Erişim Tarihi: 1.04.2019].
- [42] Liu, X., Luo, Y., Karney, B. W., & Wang, W., A selected literature review of efficiency improvements in hydraulic turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 18-28, 2015.
- [43] Kaplan Türbin, <http://www.koessler.com/tr/kaplan-t%C3%BCrbinleri>, Erişim Tarihi: 25.05.2019.
- [44] Dikey Francis Türbin, <http://www.satuenergi.com/2015/03/prinsip-kerja-turbin-francis.html> [Erişim Tarihi: 1.06.2019].
- [45] Saçma, S., Eskikale, T., & Orhon, B. E., Francis Türbinlerinde Döner Girdap Halatının Titreşim Ölçümleriyle Belirlenmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 59.691, 2018.
- [46] Yatay Eksenli Francis Türbin, <http://www.kalyoncuenerji.com/referanslarimiz> [Erişim Tarihi: 29.03.2019].
- [47] Hydropower and the Environment: Effectiveness of Mitigation Measures. IEA Hydropower Agreement, Annex II-Subtask 6. International Energy Agency, Paris, France, 2000.
- [48] Kapasite Faktörü, www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=22832, [Erişim Tarihi: 25.05.2019].
- [49] Farklı hidroelektrik Santrallerin Kapasite Faktörü,
www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_07_b,
[Erişim tarihi:28.05.2019].

ÖZGEÇMİŞ

Betül DEMİR 1994 yılında Giresun doğdu. İlk ve orta öğrenimini Cumhuriyet ilköğretim okulunda, lise eğitimini Giresun Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında tamamladı. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen AGB Enerji Yatırımları İnşaat ve Tic. A.Ş bağlı Yumrutepe Hidroelektrik santralinde İşletme ve Kontrol Mühendisliği görevine devam etmektedir.