



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**DOĞALGAZ İLE ELEKTRİK
ENERJİSİ ÜRETİMİ
VE EKONOMİK ANALİZ**

Kübra Gül DURMAZ

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MART 2022



DOĞALGAZ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

VE

EKONOMİK ANALİZ

Kübra Gül DURMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MART 2022

Kübra Gül DURMAZ tarafından hazırlanan “DOĞALGAZ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ VE EKONOMİK ANALİZ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol Ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Meryem YEŞİLOT KAPLAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Zeki AYDIN

Kimya Anabilim Dalı, Mustafa Kemal üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi : 08.02.2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Kübra Gül DURMAZ

24/01/2022

DOĞALGAZ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ
VE
EKONOMİK ANALİZ
(Yüksek Lisans Tezi)

Kübra Gül DURMAZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MART 2022

ÖZET

Günümüzde dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla enerji tüketimi artmaktadır. Dünya üzerinde bulunan doğal enerji kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle günümüzde olmasa bile gelecekte büyük bir soruna yol açması öngörülmektedir. Bu nedenle enerji ihtiyacının kontrolsüz bir şekilde kullanılmasından ziyade verimli, çevresel etkileri az ve maliyeti ülke ekonomisini etkilemeyecek şekilde olan enerji kaynaklarının kullanılması önem kazanmaktadır. Kombine çevrim santralleri de bu santrallerden biridir. Diğer santrallere göre çevreye daha az oranda CO salınımı yapmaktadır. Elde edilen yüksek verim ve maliyet açısından ilk sıralarda tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut bir kombine çevrim santralinde doğalgazdan elektrik üretim aşamaları, santral elemanları incelenmiştir. Ayrıca santralin kurulum maliyeti, yakıt tüketimi, elektrik üretim maliyeti gibi ekonomik analizler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler : Kombine çevrim, doğalgaz, elektrik, enerji
Sayfa Adedi : 59
Danışman : Prof. Dr. Ergül YAŞAR

ELECTRICITY PRODUCTION FROM NATURAL GAS AND ECONOMIC ANALYSIS
(M. Sc. Thesis)

Kübra Gül DURMAZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

MARCH 2022

ABSTRACT

Today, with the rapid increase in the world population, energy consumption is increasing. Due to the limited natural energy resources in the world, it is predicted that it will cause a big problem in the future, if not today. For this reason, it is important to use energy resources that are efficient, have low environmental impacts and cost in a way that does not affect the country's economy, rather than the uncontrolled use of energy needs. Combined cycle power plants are one of these power plants. It emits less CO to the environment compared to other power plants. It is preferred in the first place in terms of high efficiency and cost.

In this study, the stages of electricity generation from natural gas in an existing combined cycle power plant, the power plant elements were investigated. In addition, economic analyzes such as the installation cost of the power plant, fuel consumption, electricity generation cost were made.

Key Words : Combined cycle, natural gas, electricity, energy
Page Number : 59
Supervisor : Prof. Dr. Ergül Yaşar

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen, tez konumun belirlenmesi ve yazım aşamasında engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ergöl YAŞAR'a, tezimi hazırlarken gerekli verilere ulaşmamı sağlayan Erdal BALOĐLU ve Kırıkkale Hacılar Belediye Başkanı Mehmet KOYUNCU'ya, Kırıkkale Termik Santrali tesis müdürü Tanju ORAL ve sorumlu mühendis Murat LAÇİN'e, üniversite öğrenimim boyunca birlikte yıllar geçirdiğim meslektaşım Keziban BİÇİM'e son olarak da eğitim öğretim hayatım boyunca çalışmalarımnda desteklerini eksik etmeyen, maddi manevi yanımda olan kardeşim Tuğçe Pınar DURMAZ, annem Hatice DURMAZ ve babam Emin DURMAZ'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ	3
3. ELEKTRİK ENERJİSİ	6
3.1. Türkiye’de Elektrik Enerjisi.....	6
3.2. Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynak ve Santraller	10
3.2.1. Termik santraller	11
3.2.2. Jeotermal santraller(JES)	16
3.2.3. Güneş enerjisi santralleri(GES).....	18
3.2.4. Hidroelektrik santraller (HES).....	19
3.2.5. Rüzgâr santralleri (RES)	21
3.3. Doğalgazın Elektrik Üretimindeki Rolü	22
3.4. Doğalgaz ile Çalışan Başlıca Santraller	24
4.MATERYAL ve METOT	26
4.1. Kombine Çevrim.....	26
4.2. Kırıkkale Kombine Çevrim Santralinin Tanıtımı.....	26
4.3. Santralde Kullanılan Yakıt	27
4.4. Tesis Elektrik Üretimi	28
4.5. Tesis Akış Şeması	28

4.6. Santral Elemanları	29
4.6.1. Gaz türbini.....	30
4.6.2. Atık ısı kazanı (HRSG).....	32
4.6.3. Buhar türbini	33
4.6.4. Hava soğutmalı yoğuşturucu ünitesi (ACC)	34
4.6.5. Jeneratör	34
4.6.6. Diğer ekipmanlar.....	35
4.7. Tesisten Kaynaklanan Emisyon Miktarları	35
4.7.1. Gaz türbini emisyonları.....	36
4.7.2. Azot oksitler (NO _x)	37
4.7.3. Kükürt dioksit (SO ₂)	38
4.7.4. Partikül madde (PM)	38
4.8. İşletme Faaliyete Kapandıktan Sonra Olabilecek Etkiler Ve Bu Etkilere Karşı Alınacak Önlemler	39
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR.....	56

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sürdürülebilirlik (tükenebilirlik) durumuna göre enerji kaynakları	3
Çizelge 2.2. Dönüştürülebilirliklerine göre (doğrudan-dolaylı) enerji kaynakları	3
Çizelge 2.3. Yeraltı-Yerüstü kaynaklı oluşuna göre enerji kaynakları	4
Çizelge 2.4. Kökenine göre enerji kaynakları.....	4
Çizelge 2.5. Fiziksel hallerine göre enerji kaynakları.....	4
Çizelge 3.1. Birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç(Aralık-2020).....	8
Çizelge 3.2. Türkiye’de bulunan önemli termik santraller	13
Çizelge 3.3. Türkiye’de bulunan nükleer santral kurulu gücü(Yapım aşaması).....	15
Çizelge 3.4. Türkiye’de bulunan en büyük hidroelektrik santraller	20
Çizelge 3.5. Yıllara göre doğalgazdan elektrik üretimi	23
Çizelge 3.6. Doğalgaz santralleri	24
Çizelge 4.1. Yıllara göre santralden üretilen elektrik	28
Çizelge 4.2. Gaz türbini saha şartları performans özellikleri.....	31
Çizelge 4.3. Gaz türbini özellikleri (İso şartlarında).....	31
Çizelge 4.4. Atık ısı kazanı (HRSG) özellikleri (Saha şartlarında)	32
Çizelge 4.5. Buhar türbini özellikleri (Saha şartlarında)	33
Çizelge 4.6. ACC ünitesi özellikler	34
Çizelge 4.7. Kirletici emisyon kriterleri	34
Çizelge 5.1. İnşa aşamasında kullanılan makine-ekipman	41
Çizelge 5.2. Ana-Yardımcı donanım ve üniteler	42
Çizelge 5.3. İşletim sarf malzemeleri(2021 yılı güncel fiyat)	45
Çizelge 5.4. İşletim sarf malzemeleri maliyet hesabı (2021).....	47
Çizelge 5.5. Satın alınan gaz miktarı(sm3).....	47
Çizelge 5.6. Elektrik üreticileri için doğalgaz tarifeleri (BOTAŞ).....	48
Çizelge 5.7. Toplam satın alınan gaz bedeli	50

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.8. Santral elektrik üretim ve ptf değerleri.....	48
Çizelge 5.9. Aylık elektrik gelirinin hesaplanması.....	50
Çizelge 5.10. Fiyat güncellemeleri	50
Çizelge 5.11. Ortalama döviz kuru	50



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi	7
Şekil 3.2. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2010-2020).....	7
Şekil 3.3. 1970-2020 yılları arası elektrik üretimi	9
Şekil 3.4. 1973-2020 yılları arası elektrik tüketimi	9
Şekil 3.5. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre değişimi (2008-2020).....	10
Şekil 3.6. Elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2020)	10
Şekil 3.7. Enerji santralleri.....	11
Şekil 3.8. Termik santrallerin akış şeması	12
Şekil 3.9. Nükleer enerji akış şeması	14
Şekil 3.10. Türkiye’de bulunan nükleer enerji santralleri.....	15
Şekil 3.11. Jeotermal santrallerin yıllar itibariyle kurulu gücü.....	16
Şekil 3.12. Jeotermal santrallerin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı	17
Şekil 3.13. Türkiye jeotermal potansiyeli haritası	17
Şekil 3.14. Jeotermal santral akış şeması.....	18
Şekil 3.15. Güneş enerjisi santrali.....	18
Şekil 3.16. Hidroelektrik santral akış şeması.....	19
Şekil 3.17. Hidroelektrik santrallerin türkiye elektrik enerjisi üretimine katkısı	20
Şekil 3.18. Yıllara göre rüzgar santrali kurulu güç değişimi	21
Şekil 3.19. Rüzgar santrallerinin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı	22
Şekil 4.1. İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali lokasyonu	27
Şekil 4.2. Santral akış şeması.....	29
Şekil 4.3. Gaz türbini	30

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
sm³	Standard cubic foot
mwh	Megawatt-saat
kwh	Kilowatt-saat
twh	Terawatt-saat
₺	Türk Lirası
\$	Dolar
%	Yüzde
h	Saat(hour)
ton	1.000 kilograma eşit kütle birimi
m	Metre
mm	Milimetre
°C	Celsius/ Santigrat derece –sıcaklık ölçme birimi
rpm	Dakikadaki devir sayısı
bar	Basınç birimidir.
mbar	Milibar(basınç birimi)
Kısaltmalar	Açıklamalar
ACC	Hava Soğutmalı Yoğuşturucu

Kısaltmalar**Açıklamalar****BOTAŞ**

Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi

BYTY

Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği

CON

Kondenser

CT

Soğutma Kulesi

DGKÇS

Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali

EİGM

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

EPIAŞ

Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.

EÜAŞ

Elektrik Üretim Anonim Şirketi

GES

Güneş Enerji Santrali

GÖP

Gün Öncesi Piyasası

GT

Gaz Türbini

HRSĞ

Isı Geri Kazanımlı Buhar Jeneratörü

ISO

Uluslararası Standartlar Organizasyonu

JES

Jeotermal Enerji Santrali

PTF

Piyasa Takas Fiyatı

RES

Rüzgâr Enerji Santrali

ST

Buhar Türbini

TEDAŞ

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

TEİAŞ

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TÜPRAŞ

Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi

Kısaltmalar

Açıklamalar

YEK

Yenilenebilir Enerji Kaynağı

WTP

Su Arıtma Tesisi



1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varoluşundan bu yana temel ihtiyaçlarını karşılayabilmesi ve süregelen hayatına konforlu bir şekilde devam edebilmesi için enerji önemli bir olgudur. Zaman içerisinde enerji kavramı farklı şekillerde kullanılmıştır. 18. ve 19. yüzyıldan itibaren endüstri devrimi ile yeni icatların üretime etkisi, makineleşme sonucu enerji kavramı yeni bir boyut kazanmış olup üretim ve insanların günlük yaşantısında köklü değişimlere neden olmuştur. Sanayileşmenin gerçekleştiği bölgeler hızlı bir şekilde göç almaya başlamış ve bu durum o bölgelerde şehirleşmelere yol açmıştır. Şehirleşme ve artan nüfus beraberinde enerjiye olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur.

Ülkemiz son yıllarda artan enerji tüketimine rağmen halen dünya ortalamasının çok gerisinde kalmaktadır. Ticari enerji tüketimi ve nüfusun sürekli artış göstermesinin bir sonucu olarak enerjinin ilerleyen yıllarda nasıl temin edileceği ülkemiz için en önemli sorunlardan birini teşkil etmektedir. Ülkemizin mevcut enerji kaynaklarının kalite, miktar ve teknolojik bakımdan yetersiz olması nedeniyle ilerleyen yıllarda yenilenebilir kaynaklara gereken önemin verilmemesi durumunda ithal kaynaklara dayalı üretim kaçınılmazdır. Bu nedenle toplum refahını sağlamak ve ülke ekonomisini olumlu etkileyebilmek için yapılacak yatırım ve üretim gibi ciddi kararlar alınmadan önce ekonomik analizlerin yapılması ülkemiz için faydalıdır.

Günümüzde enerji, dünyanın gereksinim duyduğu ve devletlerin ekonomik açıdan güç kazanabilmeleri için çözüme ulaşması gereken en önemli hususlardan biridir. Çevresel açıdan temiz bir yakıt olan doğalgaz kullanılarak doğalgaz kombine çevrim santralleri vasıtasıyla yüksek verimli enerji üretilerek Türkiye'nin elektrik üretimine katkı sağlanır. Diğer basit çevrim santrallerinde verim %38 civarında iken kombine çevrim santrallerinde gaz türbini ve buhar türbini birlikte kullanıldığı için gaz türbinin üst sıcaklığının yüksek, buhar türbinin alt sıcaklığının düşük olması gibi avantajları birleştirilerek bu verim %60'lara kadar çıkmaktadır. Çevresel açıdan incelediğinde kombine çevrim sistemleri mevcut sistemlere oranla daha az zararlı madde salınımı yapmaktadır. Hatta zararlı madde emisyon limitinin çok altında olduğunun saptanması nedeni ile 2000'li yılların başında fazla rağbet görmüştür.

Bu tez çalışmasında Türkiye de elektrik enerjisinin gelişimi ele alınarak birincil kaynaklardan elektrik üretimine yer verilmiştir. Doğalgazın temiz bir yakıt olması, doğalgaz kombine çevrim santrallerinden yüksek verim elde edilmesi ve bu santrallerin kurulum-işletme kolaylığı göz önünde bulundurularak mevcut bir doğalgaz kombine çevrim santrali incelenmiştir. Bölüm 3’de Türkiye’nin enerji potansiyeli, doğalgazın elektrik üretimindeki rolü ve Türkiye’de bulunan doğalgaz kombine çevrim santralleri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Bölüm 4’de Kırıkkale Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali’nin tanıtılması, santral elemanları ve tesis akış şeması incelenmiştir. Kırıkkale Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali yatırım ve işletme-bakım maliyetleri üzerinde ekonomik analizler yapılarak Bölüm 5’de araştırma bulgularına yer verilmiştir. Ulaşılan sonuçlar doğrultusunda Bölüm 6’da mevcut verimin artırılıp artırılamayacağı ve ülkemizde doğalgaz kombine çevrim santrallerinin günümüz şartları için artırılmasının gerekli olup olmadığı değerlendirilmiştir.

2. ENERJİ

Günümüzde enerji tecimsel ve sosyal yaşantımızın en önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Bir devletin ekonomik açıdan kalkınabilmesi için ilk faktör enerjiye sahip olmasıdır. Devletlerarasında belirli bir etken olmasından ötürü güç sembolü olarak görülmeye başlamıştır. Ülkeler yeterli enerji kaynağına sahip değilse dışa bağımlı hale gelmektedirler ve bu durum ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir. Artan enerji talebi ile birlikte yeterli enerji kaynağına sahip olmayan ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Enerji, çeşitli biçimlerde olabildiği için farklı gruplamalar yapmak mümkündür. Yaygın olarak enerji kaynakları Çizelge 2.1’de sürdürülebilirlik yani tükenebilirlik durumlarına göre (yenilenebilir-yenilenemez), Çizelge 2.2.’de dönüştürülebilirliklerine göre (doğrudan-dolaylı), Çizelge 2.3’de yer altı - yerüstü kaynaklı oluşuna göre, Çizelge 2.4’de kökenine göre ve son olarak da Çizelge 2.5’de fiziksel hallerine (katı-sıvı-gaz) göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar.

Çizelge 2.1. Sürdürülebilirlik (tükenebilirlik) durumuna göre enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları	Yenilenemez enerji kaynakları
<ul style="list-style-type: none"> • Güneş enerjisi • Rüzgâr enerjisi • Hidrolik enerji • Hidrojen enerjisi • Dalga, gelgit enerjisi • Jeotermal enerji • Biyokütle enerjisi 	<ul style="list-style-type: none"> • Fosil kaynaklı -kömür, petrol, doğalgaz • Nükleer -uranyum, toryum

Çizelge 2.1. Dönüştürülebilirliklerine göre (doğrudan-dolaylı) enerji kaynakları

Birincil enerji kaynakları	İkincil enerji kaynakları
<ul style="list-style-type: none"> • Fosil yakıtlar(kömür, petrol-doğalgaz) • Jeotermal enerji • Hidrolik enerji • Güneş enerjisi • Dalga, gelgit enerjisi • Rüzgar enerjisi • Biyokütle enerjisi • Nükleer enerji (plütonyum hariç) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrik • Mazot, benzin, motorin • İkincil kömür • Kok • LPG(sıvılaştırılmış petrol)

Çizelge 2.2. Yeraltı-Yerüstü kaynaklı oluşuna göre enerji kaynakları

Yeraltı kaynaklı	Yerüstü kaynaklı
<ul style="list-style-type: none"> • Petrol • Doğalgaz • Kömür • Jeotermal kaynaklar • Nükleer kaynaklar • Şistler 	<ul style="list-style-type: none"> • Güneş • Rüzgâr • Biyokütle

Çizelge 2.3. Kökenine göre enerji kaynakları

Organik kökenli	İnorganik kökenli
<ul style="list-style-type: none"> • Kömür • Organik tortul kayalar (fosilleşmiş) 	<ul style="list-style-type: none"> • Uranyum • Toryum

Çizelge 2.4. Fiziksel hallerine göre enerji kaynakları

Katı	Sıvı	Gaz
<ul style="list-style-type: none"> • Biyokütle atıkları (kömür, odun vb.) • Uranyum 	<ul style="list-style-type: none"> • Petrol • Mazot • LPG • Biyodizel 	<ul style="list-style-type: none"> • Doğalgaz • Biyogaz • Metan gazı

Literatürde doğalgaz kombine çevrim santralleri üzerine pek çok tez ve makale çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak doğalgaz kombine çevrim santrallerinde enerji ve ekserji konuları üzerinde durularak diğer çalışmalar için yol gösterici olması amaçlanmıştır. Ekonomik açıdan kapsamlı çalışmalar oldukça azdır. Bu tez çalışmasında faydalanılan bazı tez, makale, dergi vb. yayınlar incelenerek aşağıda verilmiştir.

Keskinel (2016) yılında yapmış olduğu "Türkiye'de Elektrik Üretimi ve Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri." adlı incelemesini İstanbul Bülten Dergisi'nde yazmıştır. Bu çalışmada Türkiye'de elektrik üretimi konusuna değinilmiş ve yıllara göre elektrik üretim gücü hakkında detaylı veriler verilmiştir. Ülkemizde bulunan bazı hidroelektrik, termik ve doğalgaz kombine çevrim santrallerini kurulu güç, proje bedeli ve yapım yıllarına göre değerlendirerek bu alandaki çalışmalara öncülük etmiştir[1].

Çiloğlu (2022) yılında yapmış olduğu "EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi." adlı yüksek lisans tezinde İstanbul Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim santrali incelemiştir. Çalışmada Cycle-Tempo 5,0 yazılım programı kullanarak termodinamik bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model sayesinde santralin enerji ve ekserji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Program aracılığı ile elde edilen değerler ile santralden ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu saptamıştır. Böylece tesiste yapılacak olan iyileştirmelerde bu program sayesinde ön bir enerji ekserji analizi yapılabilmesine olanak sağladığını ifade etmiştir[2].

Binay (2009) yılında yapmış olduğu "Mevcut Bir Termik Santralin Kombine Çevrim Santraline Dönüştürülmesi, Analizi." adlı yüksek lisans tezinde Fuel-Oil yakıtlı bir termik santralde Cycle-tempo yazılımı kullanarak güç, verim ve maliyet hesabını gerçekleştirmiştir. Analizler tamamlandıktan sonra mevcut olan bu termik santrale gaz türbini ekleyerek doğalgaz kombine çevrim santraline dönüştürmüştür. Güç, verim ve maliyet hesabı işlemleri tekrarlayarak elde edilen verilere göre mevcut termik santral gücü 149532,5 kw ve verim % 34,35 iken doğalgaz kombine çevrim santraline dönüştürüldükten sonra santral gücü 493565 kw ve verim % 52,78 olarak hesaplandığını ifade etmiştir[3].

Karakaş (2002) yılında yapmış olduğu "Doğalgaz İle Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Ekonomik Analizi." adlı yüksek lisans tezinde Hamitabat Termik Santrali ve Bursa Doğalgaz Kombine Çevrim Santrallerini incelenmiştir. Çalışmada Türkiye'nin enerji potansiyeli ve önemli santraller üzerinde durularak kombine çevrim santrallerinde ısı denge, gaz-buhar çevrim hesaplamalarını gerçekleştirmiş ve yapılan analizlerin ışığında optimum şartlarda bir Kombine Çevrim santrali tasarlamıştır[4].

Günaslan (2016) yılında yapmış olduğu "Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri Ve Türkiye Elektrik Üretimindeki Yeri." adlı yüksek lisans tezinde ülkemiz elektrik üretiminde birincil sırada yer alan doğalgaz kombine çevrim santrallerini incelemiştir. Bu santraller üzerinde teknik ve ekonomik değerlendirme yaparak ülkemiz elektrik üretimindeki yeri ve bunun sebepleri araştırılmıştır. Enerji kaynağında %99 dışa bağımlı bir ülke için doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin birincil sırada kullanılmasının yaratacağı riskler üzerinde durularak farklı enerji politikalarını değerlendirmiştir[5].

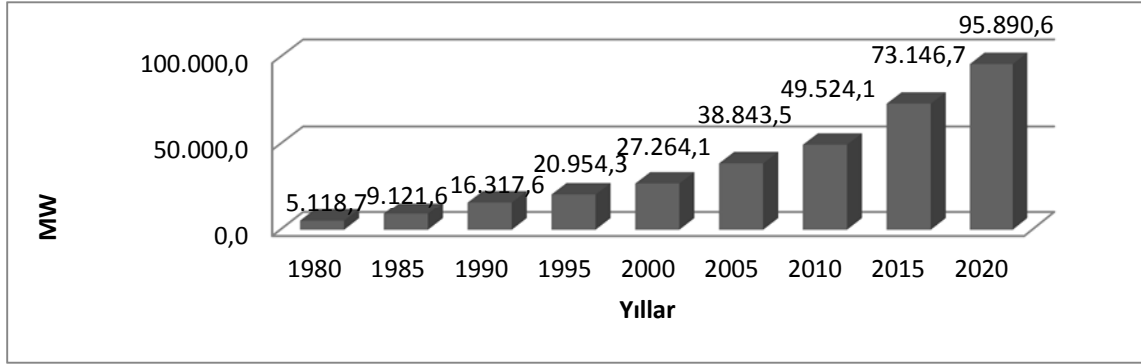
3. ELEKTRİK ENERJİSİ

Dünya nüfusunun artması ve sanayileşmenin beraberinde getirdiği enerji sorunu günden güne artmaktadır. Günümüzde ülkelerin kalkınması, yaşam standartlarının yüksek olması için olmazsa olmaz unsurların başında enerji gelmektedir. Elektrik enerjisi, enerji çeşitleri içerisinde vazgeçilemeyecek bir tür haline gelmiştir. Ev, iş, sağlık, ulaşım, sanayi gibi çeşitli alanlarda ihtiyacımız olan elektrik, günlük yaşantımızın bir parçası haline geldiği için elektrik çağını yaşadığımız söylenilebilir bir durum haline gelmiştir. Tarihte yaşanan su savaşları gibi enerjiye ulaşma çabası da savaş nedeni olabilecek faktörlerden olduğu için ülkelerin çözüme kavuşturması gereken problemlerdendir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisi üretimi için çeşitli kaynaklardan yararlanılmaya başlanılmıştır. Enerji de dışa bağımlı ülke, bağımlı olduğu oran arttıkça tek başına hareket etme özgürlüğünü de kaybeder. Bu nedenle ülkeler elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek ve dışa bağımlılığı azaltabilmek için kısa ve uzun vadeli planlar yapmaktadır.

3.1. Türkiye’de Elektrik Enerjisi

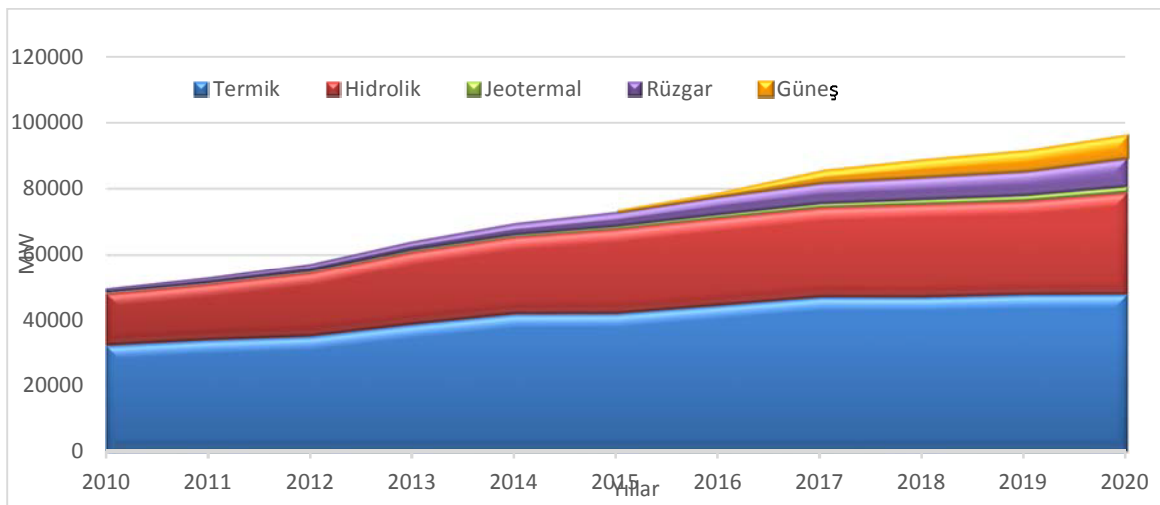
Tarihin ışık tuttuğu faktörler sayesinde günümüzden geçmişe bakıldığında insanın insanlarla, devletlerin devletlerle rekabet etme, üstünlük kurma emellerinin değişmediğini görmekteyiz. Enerji kavramı dünyadaki tüm milletler için olduğu gibi ülkemiz için de son derece önemli bir konudur. Dışa bağımlı bir ülke kendi politikasını oluştururken özgür bir şekilde davranış gösterememektedir. Dışa bağımlılık güçlü ülkelerin kendi çıkar ve menfaatleri doğrultusunda bağımlı ülkelerin hareket etmesine neden olan modern bir zorbalık yöntemi haline gelmiştir. Atatürk “Bir ulusun yaşayabilmesi için, özgürlük ve bağımsızlığına sahip olması gerekir.” demiştir. Bağımsızlık, ülkemiz için vazgeçilmez unsurlardan biri olmasına rağmen ne yazık ki dışa bağımlılık konusunda aynı özveriyi gösterememiştir. Artan nüfus ve sanayileşme sonucu üretimin temel kaynağı olan enerjiye ihtiyaç günden güne artmaktadır. Günümüzde Türkiye ihtiyacı olan enerjiyi kendi yerli kaynaklarından giderememektedir. Bu nedenle kullandığımız enerjinin büyük bir kısmını yurtdışından ithal olarak almak durumunda kalmaktayız. Bu zorunluluk enerji ithalatımızın yaklaşık dörtte birine tekabül etmekte olduğu için ekonomik anlamda ülkemizi yormaktadır.

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü Şekil 3.1.'e bakıldığında yıllar itibariyle artış gösterdiği görülmektedir. Kurulu gücümüz 1980 yılında 5118,7 MW iken 2020 gibi yakın zaman diliminde kaydedilen verilere göre 95890,6 MW olduğu tespit edilmiştir. Kurulu gücü maksimum kapasite olarak düşünecek olursak günden güne gelişim gösterdiğimiz ortaya konulmuştur.



Şekil 3.1. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi [1]

Türkiye kurulu gücünde birincil enerji kaynaklarının kullanımı zaman içerisinde değişiklik göstermiştir. Şekil 3.2'ye 2010-2020 aralığı gösterilmiş olup ilk zaman dilimlerinde termik kaynaklar daha çok kullanılırken günümüze yaklaştıkça yenilenebilir enerji kaynaklarına (hidrolik, jeotermal, rüzgar, güneş) yönelim olduğu görülmektedir. Şekil göz önünde bulundurulduğunda ilerleyen yıllar içerisinde yenilenebilir kaynaklara daha çok yer verileceği öngörülmektedir. Bu durum enerjide dışa bağımlı ülkemiz için oldukça olumlu bir enerji politikasıdır.



Şekil 3.2. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2010-2020) [6]

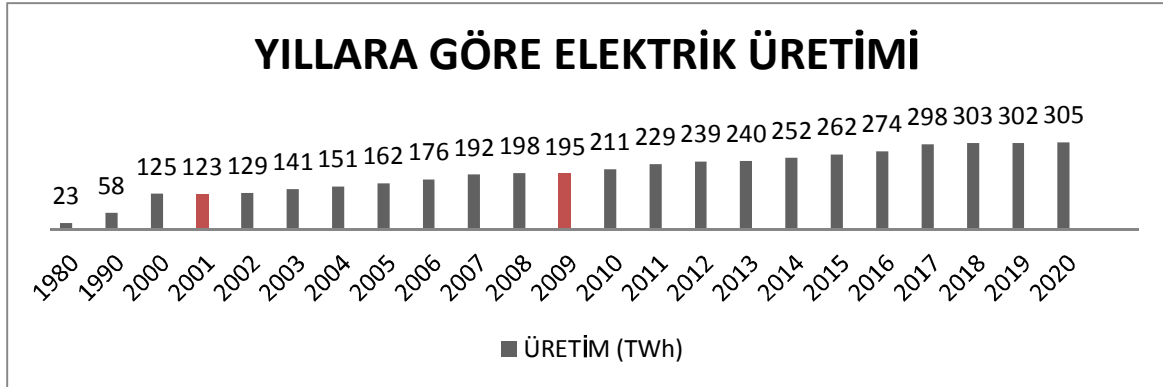
Aralık-2020 itibariyle Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nden (TEİAŞ) alınan kayıtlı veriler Çizelge 3.1.'de görülmektedir. Birincil kaynaklara göre 9402 adet santralimiz mevcuttur. Son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılakta olup 7518 adet ile ilk sırayı güneş santralleri, ikinci sırayı 577 adet ile akarsu santralleri, üçüncü sırayı ise 343 adet ile doğalgaz santralleri almaktadır. En az ise asfaltit, linyit, LNG, motorin, nafta santralleri yer almaktadır. Asfaltit, linyit, kömür, petrol, doğalgaz ülkemizde bulunan bazı fosil enerji kaynaklarındandır. Linyit dışındaki enerji kaynakları gerek ülke konumu gerekse enerji kaynaklarının çıkartılma zorluğu bakımından tercih edilememektedir. Linyit bakımından zengin bir ülke olmamıza karşılık bulunan linyit kaynaklarının genel olarak ısı değeri düşük olduğu için çoğunlukla termik santrallerde tercih edilmektedir.

Çizelge 3.1. Birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç(Aralık-2020) [6]

BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ		
BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)
AKARSU	577	8058,9
ASFALTİT KÖMÜR	1	405,0
ATIK ISI	83	369,1
BARAJLI	133	22925
BİYOKÜTLE	275	1115,6
DOĞALGAZ	343	25672,9
FUEL OİL	11	305,9
GÜNEŞ	7518	6667,4
İTHAL KÖMÜR	15	8986,9
JEOTERMAL	60	1613,2
LİNYİT	47	10119,9
LNG	1	2,0
MOTORİN	1	1,0
NAFTA	1	4,7
RÜZGÂR	322	8832,4
TAŞKÖMÜR	4	810,8
TOPLAM	9402	95890,6

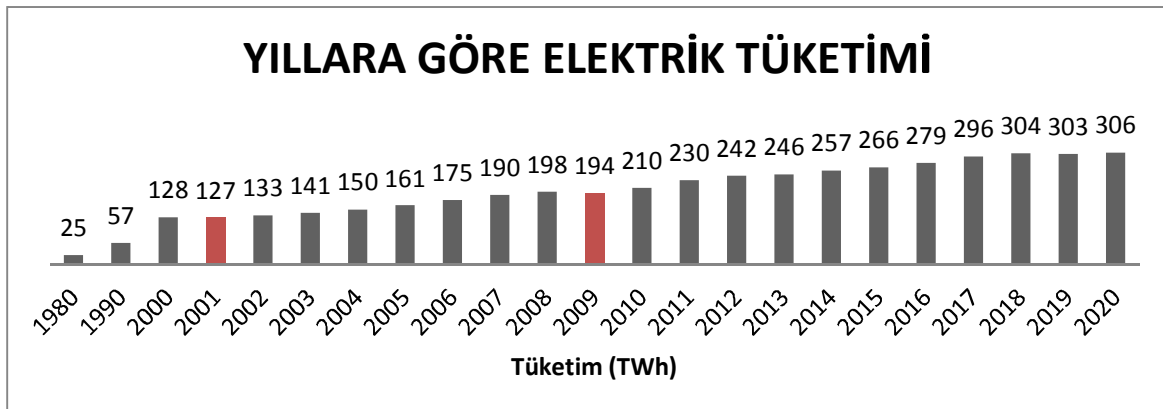
Birincil kaynaklar göz önüne alındığında lisanslı kurulu gücümüz 95.890 MW'tır. Çizelge 3.1'e bakıldığında ilk sırayı 25672 MW ile doğalgaz santralleri, ikinci sırayı 22925 ile barajlı santraller, üçüncü sırayı ise 10119 MW ile linyit santrallerinin aldığı görülmektedir.

Türkiye elektrik üretim verileri Şekil 3.3.'de gösterilmiş olup 1970 yılında 9 TWh iken 2019 yılında 304 TWh yükselmiştir. Elektrik üretimi her geçen yıl artmasına rağmen dönem dönem dalgalanmalar görülmektedir. 2001 ve 2009 yıllarında yaşanan ekonomik krize bağlı olarak ülkemiz maddi açıdan sıkıntılı dönemler yaşamıştır. Bunun sonucu olarak Şekil 3.3. incelendiğinde elektrik üretimi 2001 ve 2009 yıllarında azalış gösterdiği görülmektedir.



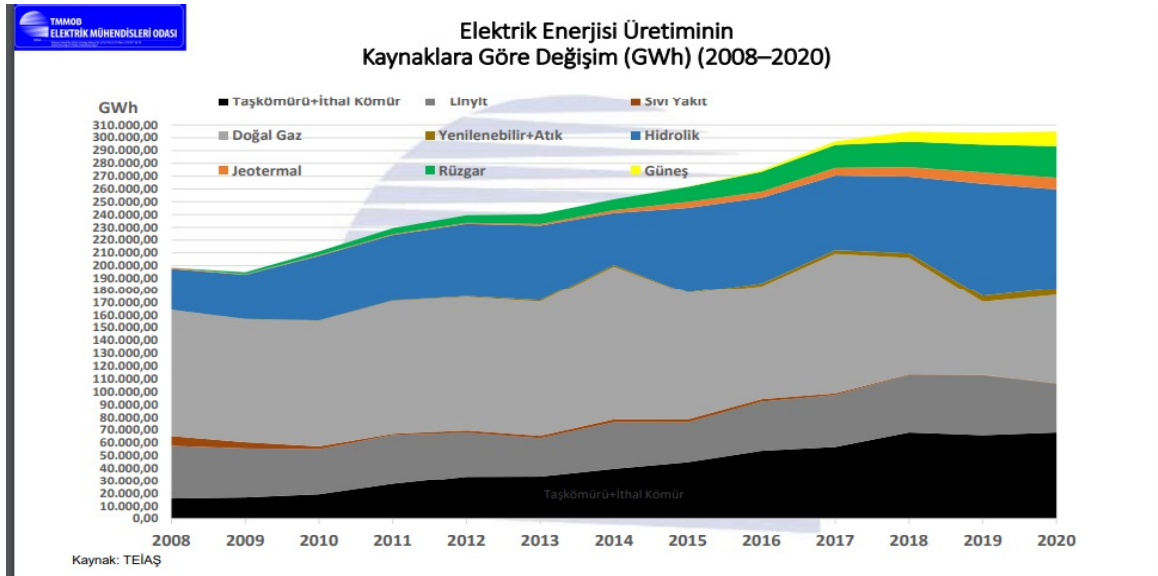
Şekil 3.3. 1970-2020 yılları arası elektrik üretimi [6]

Elektrik enerjisi kaynağına sahip olma ve elektrik tüketimi ülkeler arasında gelişmişlik göstergesi haline gelmiştir. 1980'den itibaren internetin yaygınlaşmasıyla teknoloji hayatımızın her alanına dahil olmaya başlamıştır ve bu durumun bir getirisi olarak teknoloji çağını yaşadığımızı söyleyebiliriz. Teknoloji hayatımızı kolaylaştırmanın yanında elektrik tüketiminde artışı da beraberinde getirmiştir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi ekonomik kriz etkisiyle azalmalar olması göz ardı edildiğinde artan nüfusun etkisiyle elektrik tüketiminin arttığı görülmektedir. Elektrik tüketimi 1973 yılında 12 TWh iken 2020 yılında bu değer 306 TWh olmuştur.



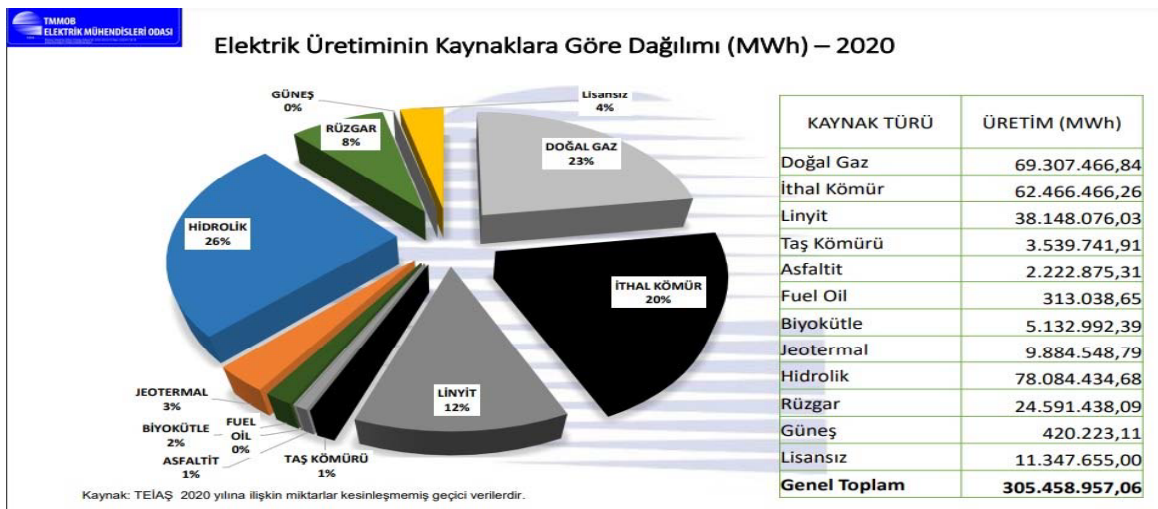
Şekil 3.4. 1973-2020 yılları arası elektrik tüketimi [6]

3.2. Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynak ve Santraller



Şekil 3.5. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre değişimi (2008-2020) [7]

Elektrik enerjisinin üretilebilmesi için bir kaynağa ihtiyaç vardır. Artan nüfus, teknoloji ve küresel ısınmanın etkisiyle zaman içinde farklı kaynaklar tercih edilmiştir. Şekil 3.5.'de 2008'den 2020 yılına kadar olan kaynak değişimleri görülmektedir. Günümüze yaklaştıkça hidrolik, güneş, rüzgâr gibi kendini yenileyebilen kaynaklara yönelim olduğu göz önündedir. TEİAŞ'ın yayınladığı resmi verilere göre 2020 yılında elektrik üretiminin %26'sı hidrolik %23'ü doğalgaz, %20'si ise ithal kömürdür. Üretim büyük bir kısmının doğalgazla gerçekleşmesine rağmen geçmiş yıllarda var olan doğalgazın egemenliği günden güne düşerek yerli, yenilenebilir kaynakların kullanım oranının artmakta olduğu Şekil 3..6'dan çıkarılmaktadır.



Şekil 3.6. Elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2020) [7]

Elektrik kullanımı artan nüfus ve gelişen teknolojinin etkisiyle dünya da olduğu gibi ülkemizde de artmaya devam etmekte ve bu nedenle vazgeçilmez bir enerji halini almaktadır. Enerjinin korunumu kanununa göre enerji, yoktan var edilemez; var olan enerji de yok edilemez sadece bir şekilden diğerine dönüşür. Enerjiyi üretebilmek için farklı enerji kaynakları kullanılır. Bu enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüştürülüp kullanılabilmesi için farklı mekanizma ve yöntemlerin kullanıldığı dönüştürme istasyonları diğer bir adıyla santraller mevcuttur. Bu santraller Şekil 3..'de gösterilmektedir. Elektrik üretiminde kullanılan santrallerin hepsinin temelinde bir enerji kaynağı kullanılarak mekanik enerji elde etmeye yönelik çalışma gerçekleştirilmektedir. Dönüştürülen mekanik enerji başka bir ifadeyle hareket enerjisi ile hareketi sağlanan bir pervane veya kanata bağlı jeneratör aracılığı ile alternatif elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktır.



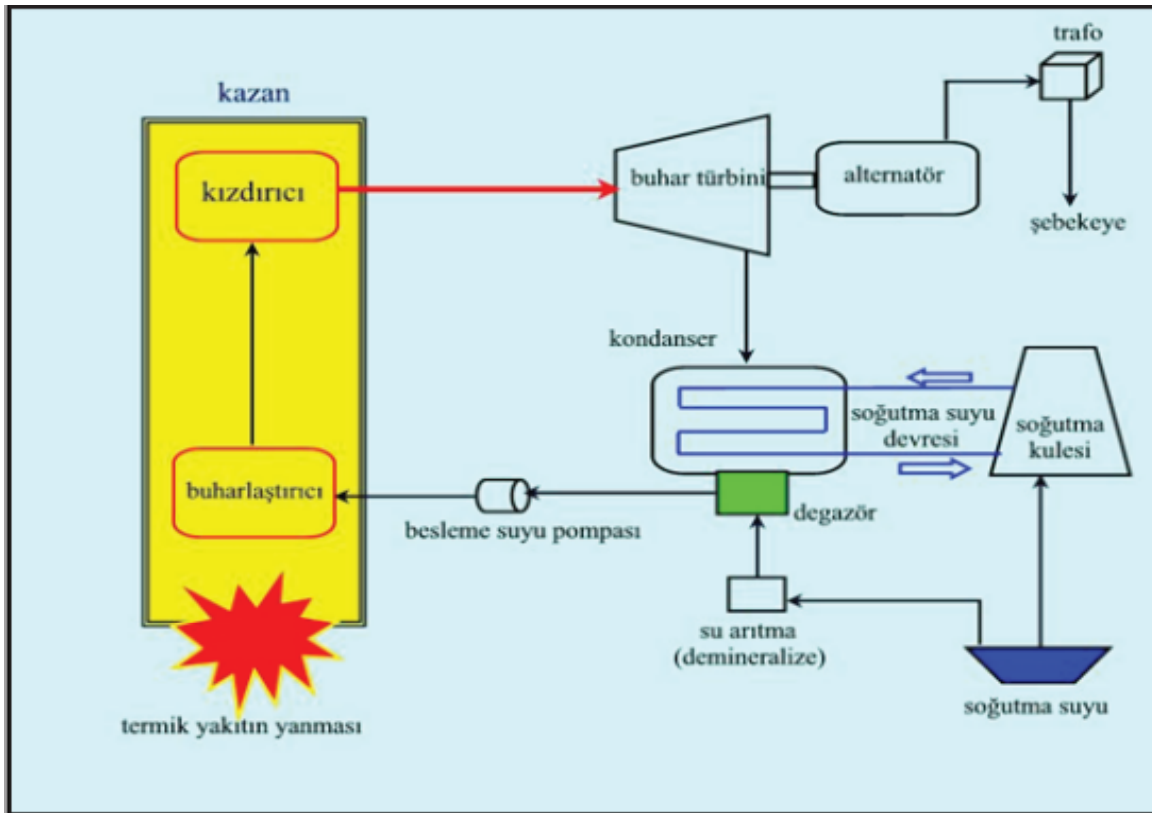
Şekil 3.7. Enerji santralleri[8]

3.2.1. Termik santraller

Termik santraller elektrik arzının karşılanması açısından büyük önem arz eder. Termik santraller arasındaki en temel fark kullanılan yakıt tipidir. Arazi, hammaddeye yakınlık, taşıma kolaylığı, suya yakınlık gibi etkenler göz önünde bulundurularak katı, sıvı, gaz formdaki yakıt tipleri seçilebilir. Linyit, taş kömürü, fuel-oil, motorin, doğalgaz, çöp vb. yakıtlar kullanılabilir. Yakıt tipi ne olursa olsun termik santrallerde genel işleyiş enerji kaynağı kullanılarak oluşturulan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülerek elektrik enerjisi elde edilmesi üzerinedir.

Termik santrallerde elektrik üretimi Şekil 3..'de görüldüğü gibi ilk adım termik yakıtın yakılabilecek forma getirilerek yakılmasıyla başlar. Yanma işlemi bir kazan içerisinde

gerçekleştirilerek suyun buhar haline getirilmesi sağlanır. Yüksek basınç ve sıcaklık altında kızdırılan buhar bir ucunda alternatörün bağlı olduğu türbine gönderilir. Buharın meydana getirdiği ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye dönüştürülür. Dönüştürülen mekanik enerji ise alternatör yardımı ile elektrik enerjisi üretilmesini sağlar. Kondanser de bulunan buhar soğutma suyu vasıtasıyla tekrar su haline gelerek kazana gönderilir. Su mekanizması kapalı devre tasarımında olduğu için aynı su tekrar kullanılabilir hale gelir.



Şekil 3.8. Termik santrallerin akış şeması [9]

Türbin ve yakıt cinslerine göre şu şekilde sınıflandırılır [10].

- Buhar Türbinli Linyit Santralleri: Linyit kömürünü genelde toz veya küçük parçalar haline getirilerek santralde yakılır. Buhar kazanından elde edilen kızgın buhar enerjisi ile türbin ve jeneratör çevrilir.
- Gaz Türbinli Santraller: Yüksek sıcaklık ve basınçtaki yanma gazlarının hareket sağladığı ve bu gazların yanmayı gerçekleştiren havayı sağlayan bir kompresörün de çalışmasına imkân verdiği türbin türüdür. Genelde doğalgaz ile çalışırlar.

- c) **Kombine (buhar ve gaz türbinli) Santraller:** Bir gaz türbini jeneratör ile bu türbinin egzoz gazlarıyla çalışan (ek brülörü olan veya olmayan) bir kazanla, bunun sağladığı buharla çalışarak ek elektrik enerjisi üreten bir buhar türbini jeneratörden oluşan santral türü.
- d) **Dizel veya Fuel-Oil Santralleri:** Elektrik üretme ve getirme imkanı bulunmayan yerlerde veya ana sistemin pik yüklerinde yardımcı olmak üzere kurulan santrallerdir. Mobil veya sabit olabilirler.
- e) **Nükleer (enerji) Santraller:** Nükleer yakıtlardan serbest kalan enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü santraldir.

Çizelge 3.2. Türkiye’de bulunan önemli termik santraller [11]

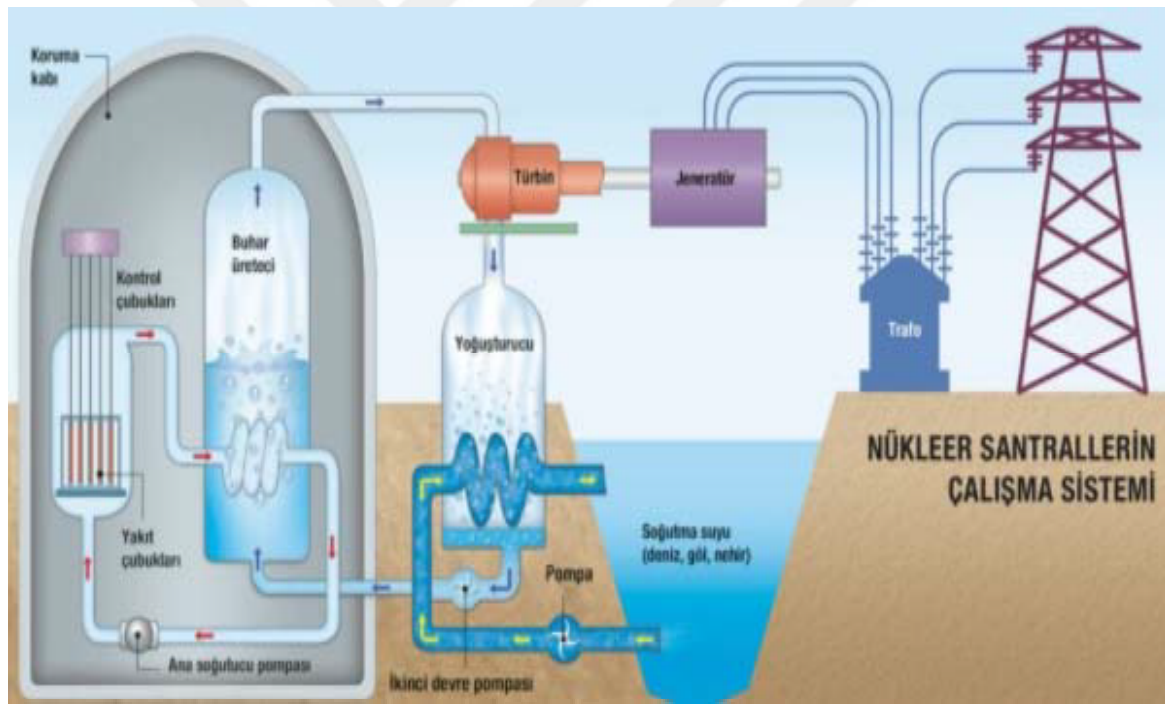
Adı	İL	Güç	Yakıt
Afşin Elbistan B Termik Santrali	Maraş	1440 MW	Linyit
Bursa DGKÇS	Bursa	1432 MW	Doğalgaz
Afşin Elbistan A Termik Santrali	Maraş	1355 MW	Linyit
Ambarlı DGKÇS	İstanbul	1350,9 MW	Doğalgaz
Yumurtalık Sugözü Termik Santrali	Adana	1210 MW	İthal Kömür
Hamitabat DGKÇS	Kırklareli	1120 MW	Doğalgaz
Soma B Termik Santrali	Manisa	1034 MW	Linyit

Termik santraller yenilenebilir enerji santralleri kadar olmasa da genel anlamda kurulum maliyeti uygun, üretim kapasitesi yüksek ve kısa vadede kar oranı fazladır. Ancak üretim esnasında yakıt gerekli olduğu için güneş, rüzgâr, su gibi kaynaklara göre temiz bir enerji olduğu söylenemez. Yakıtın yakılması ve atılması esnasında karbon, sülfür, kül gibi zehirli gazlar açığa çıkar. Bu sebeple termik santraller çevreciler tarafından eleştirilmektedir.

Nükleer santral (NGS) : Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkeler enerji arzını sağlayabilmek ve ekonomik açıdan ülkesini kalkındırabilmek için alternatif enerji kaynağı arayışına girmişlerdir. 1970’lerden itibaren dünya çapında yaygınlaşan nükleer santraller ucuz, oldukça küçük alan kaplaması, meteorolojik koşullardan etkilenmemesi, sera gazı salınımı yapmaması gibi nedenlerden dolayı tercih sebebi olmaya başlanılmıştır. Ancak oluşan radyoaktif atıklar ve sızıntılar hem insanoğlu için hem de doğa için büyük sıkıntılara neden olabilmektedir. Örnek verecek olursak 1986 yılında Ukrayna da bulunan Çernobil nükleer tesisinde yaşanan patlama ve sızıntı sonucu radyoaktif madde atmosfere yayılmıştır. Milyonlarca insanda

farklı hastalıklara ve doğanın tahrip edilmesine sebebiyet verdi. Etkilerinin nesiller boyunca süreceği düşünülmektedir. Bu hadisenin yaşanması ile ülkeler nükleer santral kurulumuna önyargı ile yaklaşmaya başlamıştır.

Nükleer santrallerden elektrik üretilirken reaktörde bulunan Uranyum-235 çekirdeğine serbest nötronların çarpması sonucu Uranyum-235 nötronlardan birini yutarak uranyum-236'ya dönüşür. Uranyum-236 çok kararsız bir yapıda olduğu için kolayca bölünmesi sonucu yeni nötronların ve enerjinin açığa çıkmasına sebebiyet verir. Yeni oluşan nötronlar uranyum-235 çekirdeklerine çarpıp aynı işlemi tekrarlaması ile zincirleme tepkimeler ile enerjinin açığa çıkmasını sağlar. Bu şekilde nükleer enerji elde edilir. Bu tepkimelerin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gereken özveri sağlanmadığı takdirde büyük patlamalara sebebiyet verebilir [12].



Şekil 3.9. Nükleer enerji akış şeması [13]

Uranyum atomunun zincirleme tepkimesi sonucu uranyum parçalanarak ısı verir. Bu ısı yakıt çubukları aracılığı ile bulunduğu haznedeki suyu ısıtarak yüksek basınç ve yüksek ısı da buharın üretilmesini sağlar. Oluşan kızgın buhar, türbine giderek pervaneyi döndürür. Pervanenin dönmesi sonucu açığa çıkan enerji Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi türbine bağlı olan jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimini gerçekleştirir



Şekil 3.10. Türkiye’de bulunan nükleer enerji santralleri [14]

Ülkemizde geçmiş yıllarda nükleer santraller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. 1976 yılında önemli adımlar atılmış, fizibilite çalışmaları yapılarak denize yakın deprem riski en az olan Akkuyu mevkiisi santral için en uygun yer olarak görülmüştür. Nükleer santraller elektrik üretimi konusunda oldukça yüksek bir oranda katkı sağlamasına karşın geçmişte meydana gelen milyonlarca insanın ölümüne ve kalıtsal hastalıklara neden olan Çernobil faciasından ötürü siyasilere ve çevrecilerin baskılarıyla proje ertelenmiştir. 2000’li yıllarda artan nüfus ile birlikte elektrik tüketimindeki artış nükleer santral konusunu tekrar gündeme getirmiş ve 2010 yılında Türkiye-Rusya işbirliğiyle Akkuyu Termik santrali lisansı alınmıştır. Proje Sinop ve İğneada nükleer santrallerine de öncülük etmiştir. Şekil 3.. ve Çizelge 3.3.’de yapım aşamasında/yapımı planlanan nükleer termik santrallerin konum ve kurulu güçleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye’de bulunan nükleer santral kurulu gücü(yapım aşaması) [15]

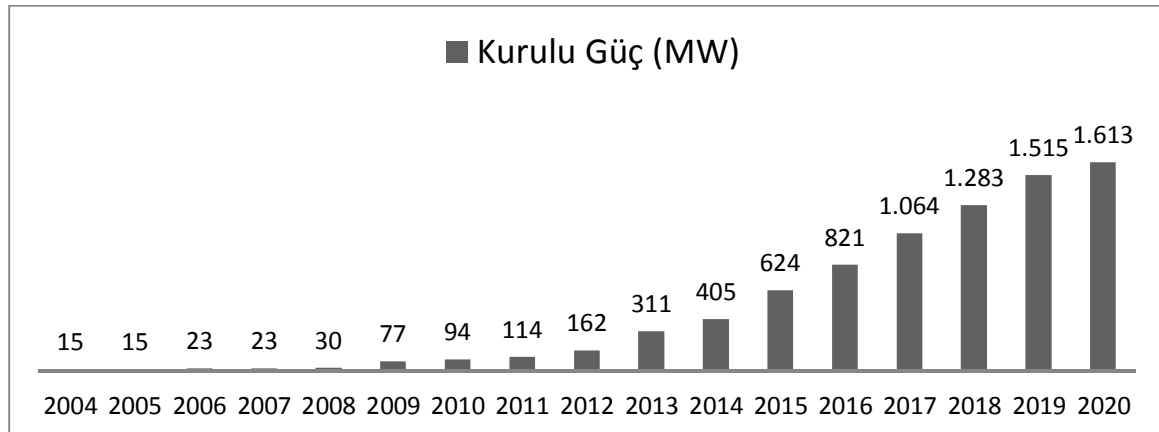
Santral Adı	İl	Firma	Kurulu güç
Akkuyu nükleer santrali	Mersin	Akkuyu NGS Elektik Üretim (Türkiye-Rusya)	4800 MW
Sinop nükleer santrali	Sinop	Türkiye-Japonya Ortaklığı	4480 MW
İğneada nükleer santrali	Kırklareli	Türkiye-Çin ortaklığı	4400 MW

Türkiye de bir ilk olan nükleer termik santraline Mersin iline bağlı olan Akkuyu mevkiisi ev sahipliği yapmaktadır. Proje Türkiye-Rusya ortaklığında gerçekleştirilecek olup çok fazla sayıda insana iş imkânı sunmaktadır. Projeye göre her biri 1200 MW güçte olan 4 adet reaktörden oluşacak olup ilk reaktör Cumhuriyetimizin 100. yılı olan 2023 yılında

devreye girmesi planlanmaktadır. Diğer reaktörlerin ise birer yıl aralıklarla 2026 yılına kadar tamamlanması beklenmektedir. Proje maliyeti toplam 20 milyar ABD dolarıdır. Santral ömrü 60 yıl olarak belirlenmiştir ancak bakımlar doğrultusunda 20 yıl kadar uzatılabileceği öngörülmektedir. Reaktörlerin toplam gücü 4800 MW olup proje tamamlanıp işletmeye alındıktan sonra yıllık ortalama 35 milyar kWh elektrik üretilecektir [16]. Toplam elektrik üretimimiz göz önüne alındığında Akkuyu nükleer santralının yıllık elektrik ihtiyacımızın yaklaşık %10'unu karşılayacağı öngörülebilmektedir. İstanbul gibi yaklaşık 15 milyon insanın yaşadığı metropol şehrin elektrik ihtiyacının neredeyse tamamını karşılayacağı düşünülebilir.

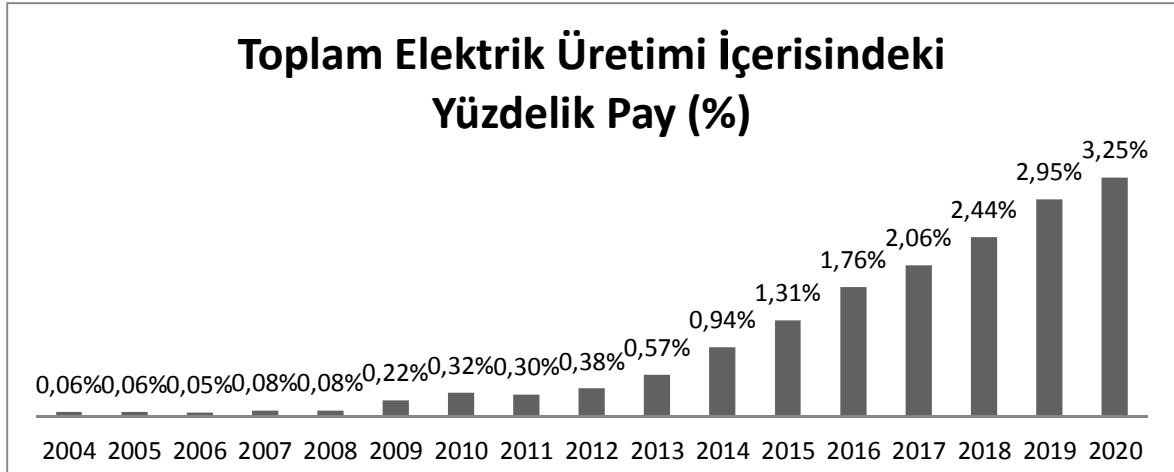
3.2.2. Jeotermal santraller(JES)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal santraller, kaynağını doğadan aldıkları için ucuz ve çevre dostu bir kaynaktır. Elektrik üretimi için ek bir yakıt masrafı gerektirmediğinden elektrik üretiminde 2005'den bu yana devlet desteği verilmektedir. Ülkemiz aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için birçok ülkeye kıyasla jeotermal potansiyeli son derece yüksek konumdadır. Bu nedenle son yıllarda arama çalışmalarına hız verilerek sondajlı jeotermal enerji aramaları 2000 m seviyelerinden 28000 m seviyelerine çıkarılmıştır [17].



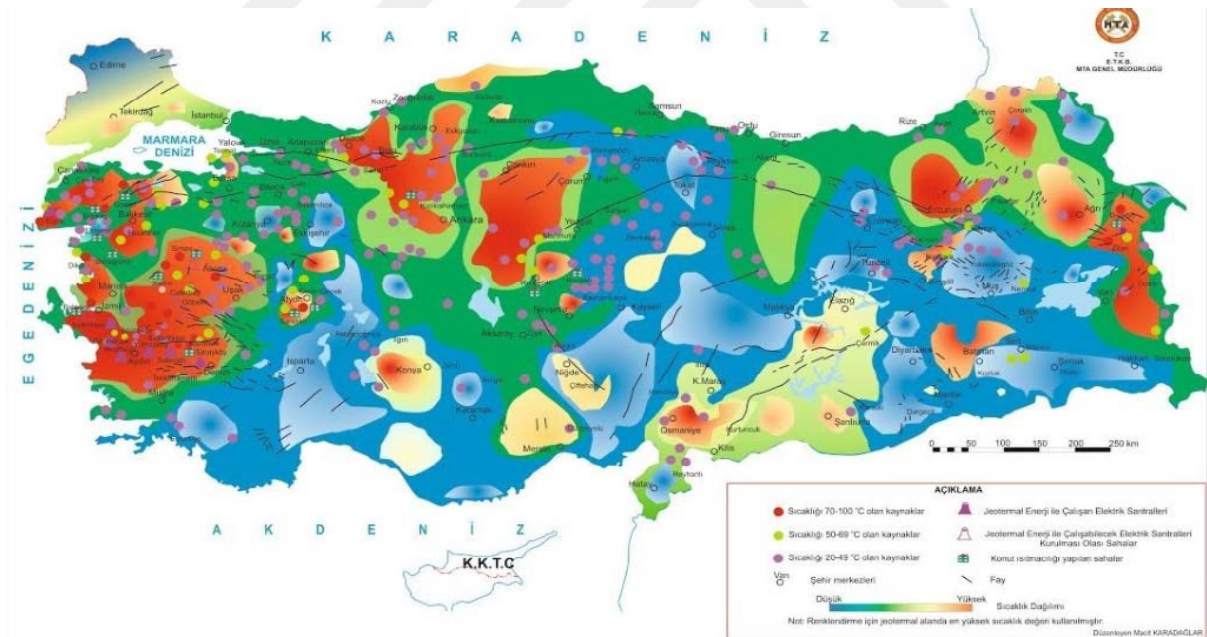
Şekil 3.11. Jeotermal santrallerin yıllar itibariyle kurulu gücü (MW) [17]

Yenilenebilir enerji kanununun 2005 yılında yürürlüğe girmesi ile verilen teşvik ve desteklerin sonucunda Şekil 3.. ve Şekil 3.1.' de görüldüğü gibi Aralık 2020 itibarı ile kurulu gücümüz 1613 MW olmakla birlikte toplam elektrik üretiminin 3,25'i jeotermal santrallerle karşılanmıştır.



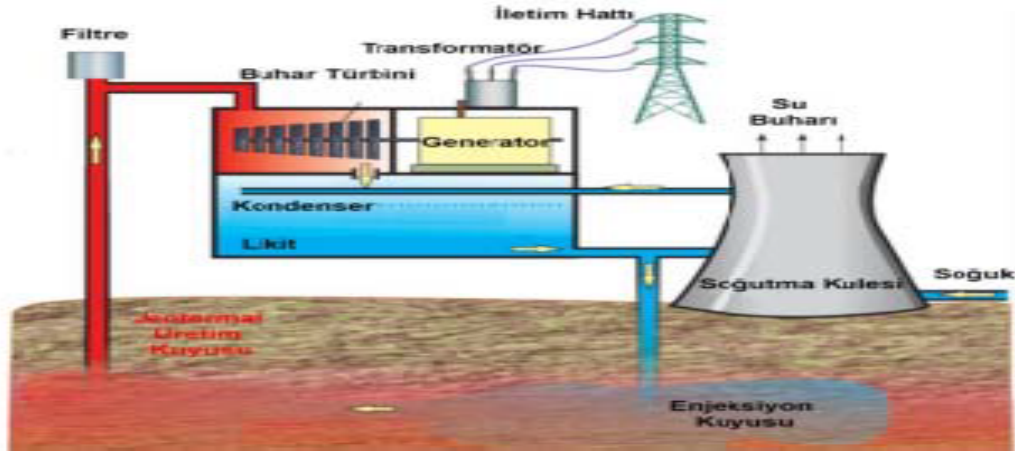
Şekil 3.12. Jeotermal santrallerin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı (%) [17]

Türkiye Alp Himalaya dağ kuşağında yer aldığı için oldukça dinamik bir yapıdadır ve yoğun fay kuşaklarına sahiptir bu nedenle jeotermal potansiyeli yüksektir. Ülke sınırları içerisinde Şekil 3.'de görüldüğü gibi Batı Anadolu Bölgesi jeotermal açıdan en yüksek potansiyele sahiptir.



Şekil 3.13. Türkiye jeotermal potansiyeli haritası [18]

Jeotermal akışkan kendiliğinden yeryüzüne ulaşabilir. Bazen de jeotermal akışkan yeryüzüne çıkamaz ve sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkartılır. Bu gibi durumlarda Şekil 3.'de görüldüğü gibi yeraltından akışkan çıkartılarak ayrıştırılma işlemi yapıp direkt olarak türbine gönderilir. Türbindeki pervaneler dönmeye başlar ve jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretilir.



Şekil 3.14. Jeotermal santral akış şeması [19]

Yüze çıkan ya da çıkartılan jeotermal kaynaklarımızın geneli düşük ve orta sıcaklıkta, çok az bir kısmı ise yüksek sıcaklıktadır. Sıcaklık seviyesine göre kullanım alanları değişmektedir. Yüksek sıcaklıklar elektrik enerjisi üretimi için kullanılırken, düşük ve orta sıcaklıklar termal tedavi alanlarında meyve, sebze kurutma gibi endüstriyel uygulamalar için kullanılır.

3.2.3. Güneş enerjisi santralleri (GES)

Yenilenebilir enerji kaynakları 2005 yılında yürürlüğe giren yek kanunu ile birlikte önemi günden güne artmaktadır. Güneş enerjisi de bu kaynaklardan biridir. Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle güneş enerji potansiyeli yüksek ülkelerdendir. Güneş enerjisinden ısı üretme konusunda yararlanılmasının yanı sıra Şekil 3..'de görüldüğü üzere gelişen teknoloji ile elektrik üretimi de yapılmıştır. Çevreye zararı olmayan sınırsız bir yakıt olması gibi avantajlarına ek olarak elektrik üretiminde yatırım-bakım maliyeti hariç ek bir masraf çıkarmaz.

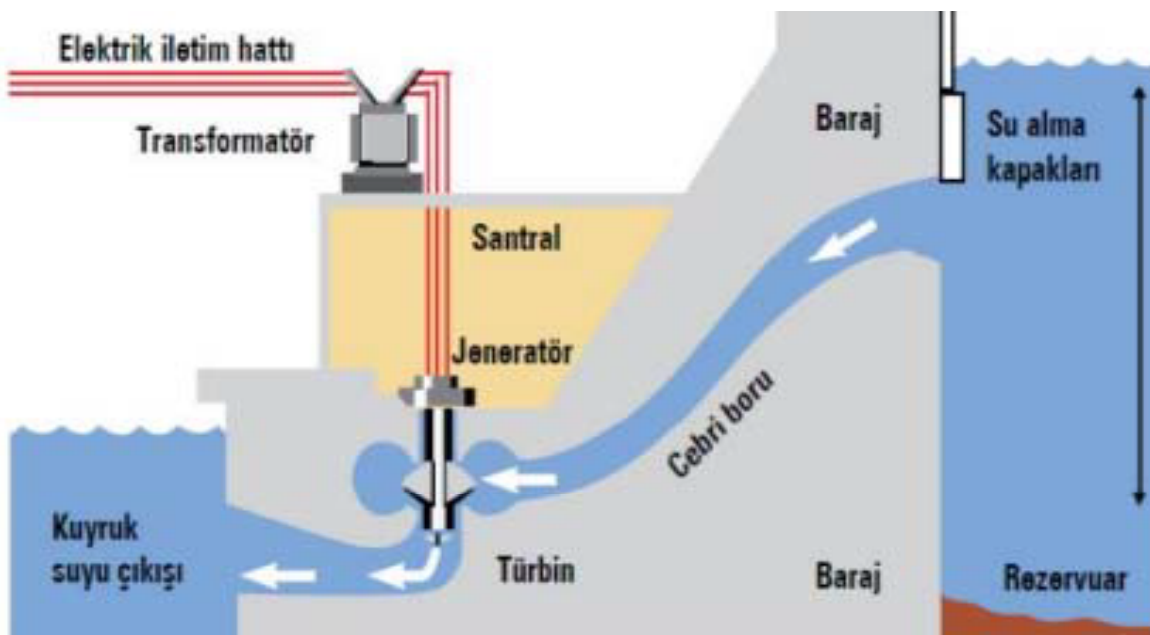


Şekil 3.15. Güneş enerjisi santrali [20]

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretebilmek için fotovoltaik ve termal olmak üzere iki sistem kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde güneş ışığı direkt olarak yarı iletken maddelerden oluşan paneller kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Panellere çarpan güneş ışığı panel tarafından emilir ve panel içindeki elektronlar dönerek hareket enerjisi meydana getirir. Elektronların bu hareketi dönüştürücüler vasıtasıyla elektrik üretimini sağlamaktadır. Termal sistemlerde ise güneş ısı kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Yoğunlaştırıcı, alıcı ve motor olmak üzere aşamalardan geçer. İlk olarak yoğunlaştırıcı aynalar güneş ışınlarını tutarak alıcıya iletir. Alıcı kısmında bazı maddeler (erimiş tuz vb.) ısınarak türbinin dönmesini sağlar. Türbinin dönmesi sonucu motor hareket ederek elektrik enerjisi üretilir [21].

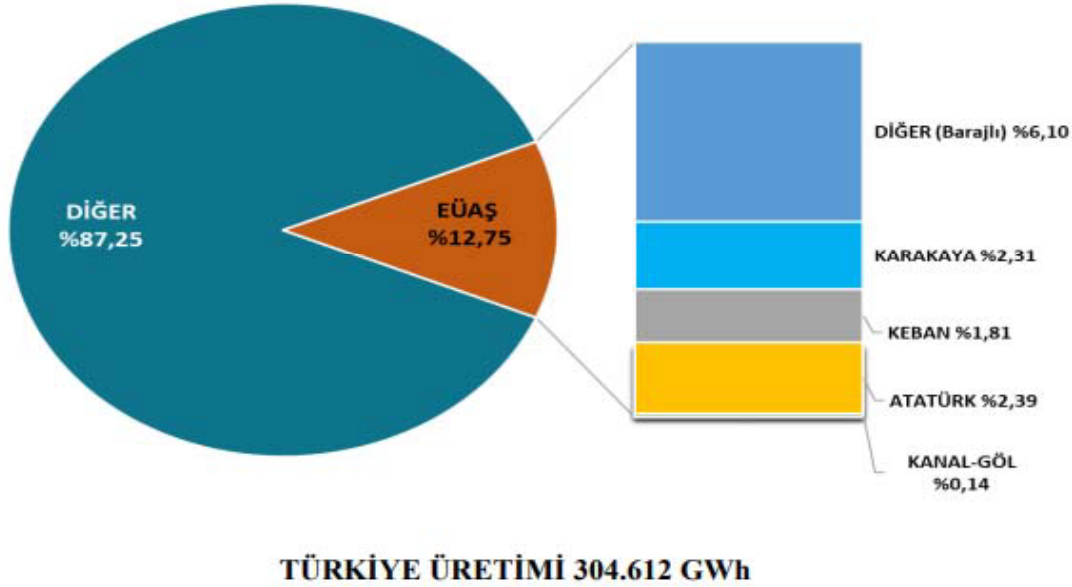
3.2.4. Hidroelektrik santraller (HES)

Hidroelektrik santraller (HES) su gücünü kullanarak elektrik üreten santrallerdir. Ülkemizde rezervuarlı, kanal ve göl tipinde santrallerimiz bulunmaktadır. Hidroelektrik santrallerde barajlarda biriken suyun yerçekimi potansiyel enerjisinden yararlanılarak kanal veya tüneller aracılığıyla su, yatağından alınarak türbine ulaşır. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi türbin çarkında jeneratör bulunur. Türbine ulaşan su burada bulunan pervaneleri döndürerek mekanik enerjiyi elektrik enerjisine döndürür. Üretilen elektrik santraller vasıtasıyla iletim hattına aktarılır.



Şekil 3.1. Hidroelektrik santral akış şeması [22]

Hidroelektrik santraller doğal kaynaklar kullanılarak elektrik üretildiği için ülkemizin dışa bağımlılığını bir nebze olsa azaltmaktadır. Ancak hidroelektrik santraller kurulurken oluşturulan barajların maliyeti oldukça yüksek olmasından dolayı işletme, kuruluş masraflarını karşılayabilecek güçte ise lisans verilmektedir. Şekil 3.2’ye bakıldığında 2020 yılında Türkiye elektrik enerjisi üretiminin %12,75’inin HES ile sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.2. Hidroelektrik santrallerin Türkiye elektrik enerjisi üretimine katkısı [11]

Ülkemiz su kaynağı bakımından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen yüksek debili akarsularımız çok azdır. Doğu Anadolu bölgesi engebeli bir yapıya sahip olmasından dolayı akış profili HES kurulumu için en uygun bölgemizdir. Çizelge 3.4.’e bakıldığında Türkiye’de bulunan en büyük 10 santralimiz görülmektedir.

Çizelge 3.4. Türkiye’de bulunan en büyük hidroelektrik santraller [15]

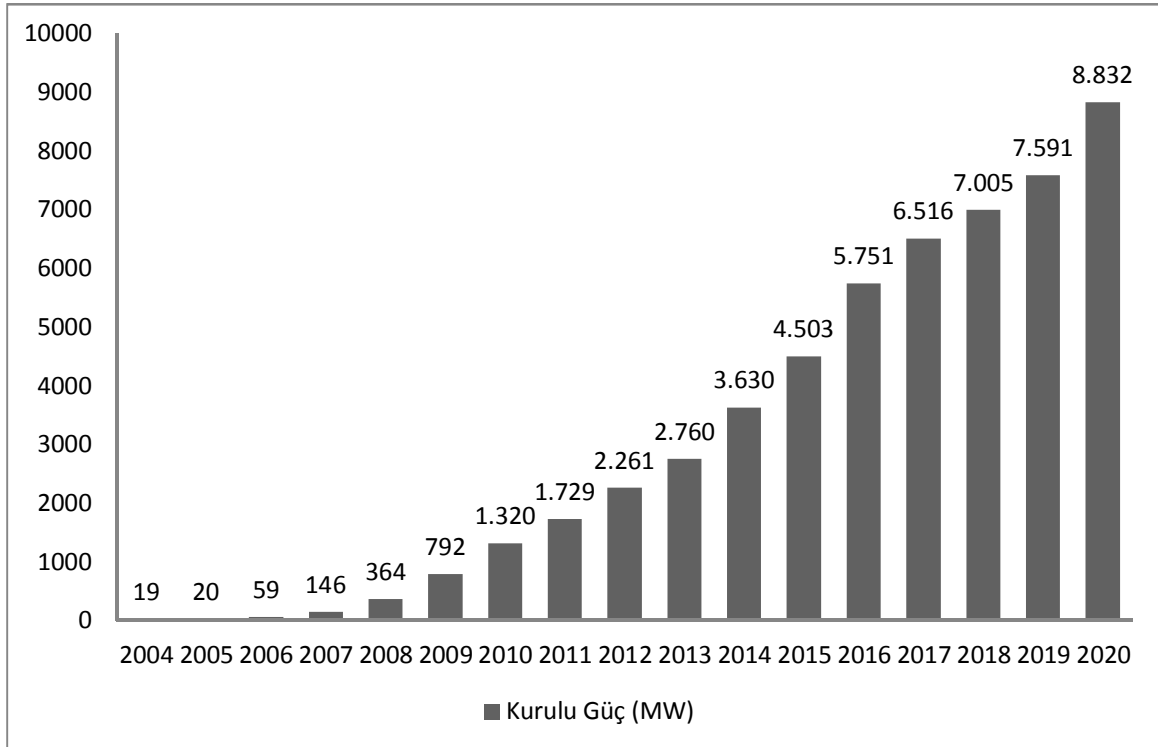
Santral Adı	İL	Kurulu Güç (MW)
Atatürk Barajı HES	Şanlıurfa	2405
Karakaya Barajı HES	Diyarbakır	1800
Keban Barajı HES	Elazığ	1330
Ilısu Barajı HES	Mardin	1209
Altınkaya Barajı HES	Samsun	703
Birecik Barajı HES	Şanlıurfa	672
Deriner Barajı HES	Artvin	670
Yukarı Kaleköy Barajı HES	Bingöl	627
Beyhan Barajı HES	Elazığ	582
Oymapınar Barajı HES	Antalya	540

3.2.5. Rüzgâr santralleri (RES)

Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi yenilenebilir enerji kanununun(YEK) 2005 yılında yürürlüğe girmesi ile yaygınlaşmaya başlamıştır. Rüzgâr santrallerinde rüzgâr, türbin kanatlarına çarparak kanatların dönmesini sağlar. Kanatlarda elektrik üreten alternatöre bağlı şaftı çevirerek elektrik üretimini gerçekleştirir. Rüzgâr türbinleri ana hatlarıyla kule, kanat, alternatörden oluşmaktadır. Arazi durumu ve rüzgârın geliş seviyesine göre kule 120 metre, kanat ise 80 metreye kadar ulaşmaktadır.

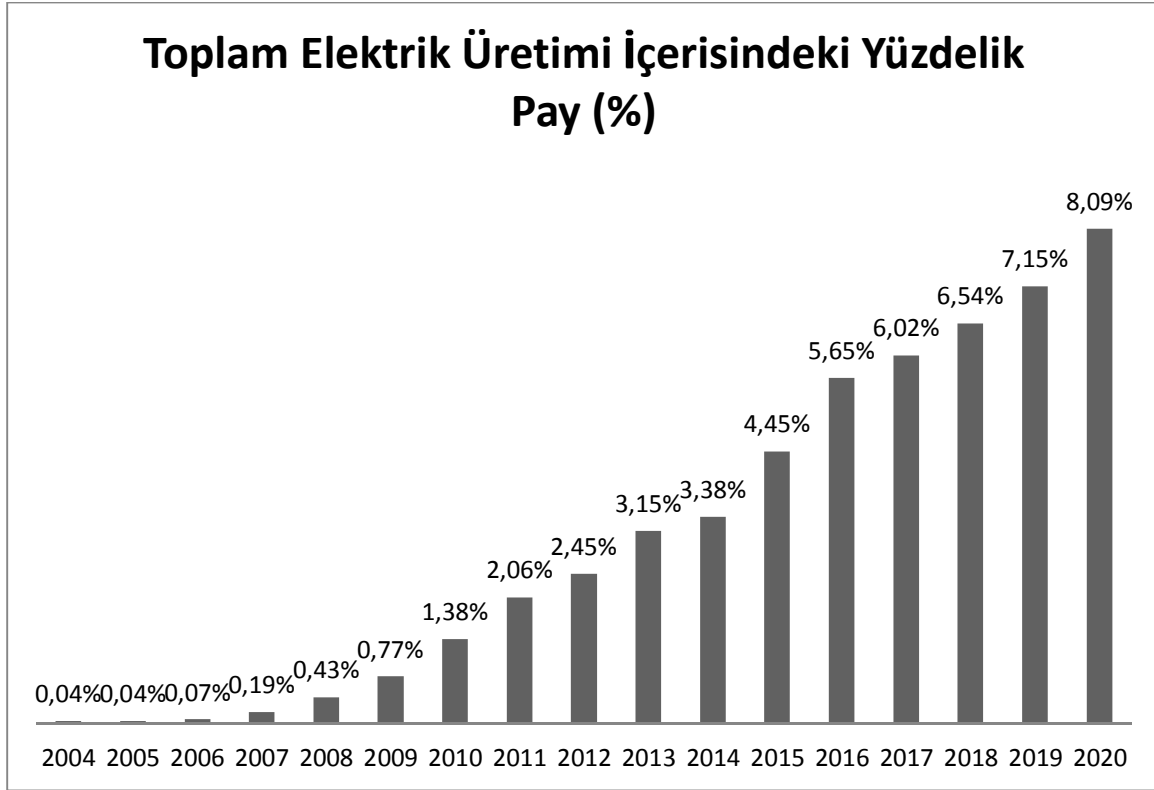
Türkiye’de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir [17].

Rüzgâr santrallerinde projenin gerçekleştirilip elektrik üretimine geçmesi 4-5 yılı bulmaktadır. İlk olarak en uygun saha seçilerek türbinin bulunacağı yerin rüzgâr güç potansiyeli 1-2 yıl ölçüldükten sonra türbinler kurulmaktadır. Rüzgâr santrallerinde asıl maliyet oluşturan türbinlerdir ancak yakıt masrafı ve hammadde gereksinimi duymadan yenilenebilir bir kaynak sayesinde elektrik üretildiği için işletme masrafı son derece azdır.



Şekil 3.3. Yıllara göre rüzgâr santrali kurulu güç değişimi (MW) [17]

Şekil 3.3.'de RES kurulu gücümüzde devamlı bir artış olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kanununun yürürlüğe girmesi ile verilen destek sonucu 2005 yılından itibaren santral sayısında artış yaşanmaya başlamıştır. Yenilenebilir kaynaklara yönelim ile birlikte elektrik üretiminde dışa bağımlılığımız günden güne azalmaya başlamış ve Şekil 3.4.'a bakıldığında 2021 yılının sonunda toplam elektrik üretimimizin %10'unun rüzgâr santralleri tarafından üretileceği öngörülmektedir.



Şekil 3.4. Rüzgâr Santrallerinin Toplam Elektrik Üretimi İçerisindeki Payı (%) [17]

3.3. Doğalgazın Elektrik Üretimindeki Rolü

İktisadi kalkınma ile tüm dünya da olduğu gibi Türkiye’de de mal ve hizmet tüketimi günden güne artmaya başlamıştır. Bu ihtiyaçların başında da elektrik arzı gelmektedir. Bu arzı karşılayabilmek için çeşitli kaynaklardan yararlanılmaktadır. 2005 yılında yenilenebilir enerji kanununun yürürlüğe girmesiyle yerli ve yenilenebilir kaynaklara verilen önem her geçen yıl daha da artsa da genel olarak yenilenebilir kaynaklarla kesintisiz elektrik ihtiyacını karşılayamaz. Örneğin bir rüzgâr türbini günün her dakikasında çalışmadığı için üretimde dalgalanmalar mevcuttur. Ancak kömür, doğalgaz ve nükleer santrallerde üretim sürekli devam etmektedir. Bu yüzden elektrik talebindeki

ani değişiklikleri sorunsuz bir şekilde karşılayabilirler. Kesintisiz üretim arzını karşılayan santraller de ise maliyet açısından en uygun santral tercih edilir. Doğalgaz santralleri çabuk kurulan ve maliyeti diğer santrallere göre düşük olduğu için doğalgazın elektrik üretimde katkısı daha çöktür. Çizelge 3.5'e bakıldığında doğalgazdan elektrik üretimi yenilenebilir kaynaklara yönelim nedeniyle azalmış olsa da doğalgaz santralleri kesintisiz elektrik arzı sağladığı için vazgeçilemez bir kaynak durumundadır.

Çizelge 3.5. Yıllara göre doğalgazdan elektrik üretimi [11]

Yıllar	Doğalgazdan Elektrik üretimi (gwh)	Türkiye toplam elektrik üretimi	Doğalgazın toplam üretimdeki payı (%)
2020	70 931,3	306 703,1	%23.13
2019	57 288,2	303 897,6	%18.85
2018	92 482,8	304 801,9	%30.34
2017	110 490,0	297 277,5	%37.2
2016	89 227,1	274 407,7	%32.52

Türkiye doğalgaz bakımından zengin olmadığı için, enerji üretiminde dikkatini diğer enerji kaynaklarına yöneltmesi doğal gaz üretiminde dalgalanmalar yaratmaktadır. Tüketim ve İthalatta enerji talebine bağlı olarak her yıl artış söz konusudur. Bu bağlamda Türkiye'nin 2014 yılında doğal gaz ithalatı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Türkiye Rusya'dan %53, İran'dan %17, Azerbaycan'dan %14 ve %16 Cezayir, Nijerya ve Spot LNG piyasasından doğal gazı ithal etmektedir [11].

Bu durum Türkiye'nin doğalgaz ithalatında ilk sırada yer alan Rusya'ya ekonomik ve siyasi olarak bağımlı olma durumunu kuvvetlendirmektedir. Bu sebepten dolayı enerjide politika değişikliğine giderek doğal gaz ithalatını azaltıp kömür ithal etme yoluna gidilmiştir. Fakat ithal ettiğimiz kömürün bir kısmını yine Rusya'dan almaktayız. Aslında dolaylı olarak Rusya'ya olan bağımlılık hala devam etmektedir [23].

3.4. Doğalgaz ile Çalışan Başlıca Santraller

Çizelge 3.6. Doğalgaz santralleri [15]

Sayı	Santral	İL	Firma	Kurulu Güç
1	Enka Gebze Doğalgaz Santrali	Sakarya	Enka Elektrik	1540 MW
2	Enka İzmir Doğalgaz Santrali	İzmir	Enka Elektrik	1520 MW
3	Bursa Doğalgaz Santrali	Bursa	EÜAŞ	1432 MW
4	İstanbul Doğalgaz Santrali	İstanbul	EÜAŞ	1351 MW
5	Hamitabat Termik Santrali	Kırıkireli	Limak Enerji	1220 MW
6	Aksa Antalya Doğalgaz Santrali	Antalya	Aksa Enerji	1150MW (2050 MW)
7	Habaş Aliğa Doğalgaz Termik Santrali	İzmir	Habaş Enerji	1043MW
8	Bandırma Doğalgaz Santrali	Balıkesir	Enerjisa Elektrik	936 MW
9	Kırıkkale Doğalgaz Santrali	Kırıkkale	Acwa Power	927 MW
10	Erzin Doğalgaz Santrali	Hatay	Ak enerji	904 MW
11	Samsun Doğalgaz Santrali	Samsun	Bilgin Enerji	887MW
12	Yeni Elektrik Doğalgaz Çevrim Santrali	Kocaeli	Unit Elektrik	865MW
13	İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	Kırıkkale	Gama Enerji	853 MW
14	İstanbul Doğalgaz Santrali A	İstanbul	EÜAŞ	816 MW
15	RWE & Turcas Denizli Doğalgaz Santrali	Denizli	RWE Enerji	775MW
16	Baymina Ankara Doğalgaz Santrali	Ankara	Baymina Enerji	770MW
17	Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali	Sakarya	Enka Elektrik	770MW
18	Cengiz Enerji Samsun	Samsun	Cengiz Enerji	610MW
19	Bandırma 2 Doğalgaz Santrali	Balıkesir	Enerjisa Elektrik	607MW
20	Bursa Doğalgaz Termik Santrali	Bursa	Bis Enerji	486MW
21	Marmara Ereğlisi Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	Tekirdağ	EÜAŞ	478MW
22	Kazan Doğalgaz Kojenerasyon Santrali	Ankara	Ciner Enerji	379MW
23	Gebze Dilovası Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	Kocaeli	EÜAŞ	253 MW
25	Age Denizli Doğalgaz Santrali	Denizli	Age Enerji	206 MW
26	Tüpraş Kocaeli Santrali	Kocaeli	Tüpraş	205 MW
27	Erdemir Ereğli Demir Çelik Fabrikası Doğalgaz Santrali	Zonguldak	Oyak	191MW
28	Esenyurt Doğalgaz Termik Santrali	İstanbul	EÜAŞ	180 MW
29	Kırıkireli Termik Santrali	Kırıkireli	Alarko Enerji	164 MW

Çizelge 3.6. (Devam) Doğalgaz Santralleri [15]

Sayı	Santral	İL	Firma	Kurulu Güç
30	Şanlıurfa OSB Enerji Santrali	Şanlıurfa	Aksa Enerji	147 MW
31	Manisa OSB Kojenerasyon Santrali	Manisa	MOSB Enerji	140 MW
32	Odaş Doğalgaz Santrali	Şanlıurfa	Odaş Enerji	140 MW
33	Taha Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	Mardin	Bades Elektrik Üretim	136 MW
34	Kırklareli Lüleburgaz Doğalgaz Santrali	Kırklareli	Zorlu Enerji	133 MW
35	Çolakoğlu 1 Termik Santrali	Kocaeli	Çolakoğlu Metalurji	123 MW
36	Entek Köseköy Doğalgaz Santrali	Kocaeli	Koç Holding	112 MW
37	Tüpraş Aliağa Termik Santrali	İzmir	Tüpraş	92 MW
38	Tüpraş Kırıkkale Santrali	Kırıkkale	Tüpraş	68 MW (84,92)
39	Ales Termik Santrali	Aydın	Palmet Enerji	62 MW
40	Delta Termik Santrali	Kırklareli	Palmet Enerji	61 MW
41	Çorlu Doğalgaz Termik Santrali	Tekirdağ	Can Enerji	56 MW
42	Gören 2 Doğalgaz Santrali	Gaziantep	Gaziantep OSB Elektrik	49 MW
43	Gören 1 Doğalgaz Santrali	Gaziantep	Gaziantep OSB Elektrik	49 MW
44	Can Enerji Tekirdağ Enerji Üretim Santrali	Tekirdağ	Can Enerji	48 MW
45	Marmara Pamuklu Mensucat Termik Santrali	Tekirdağ	Marmara Pamuklu Mensucat	44 MW
46	Kipaş Mensucat Doğalgaz Santrali	Kahramanmaraş	Kipaş Holding Enerji Grubu	42 MW
47	Ostim Doğalgaz Çevrim Santrali	Ankara	Ayen Enerji	41 MW
48	Kentsa Doğalgaz Santrali	Kocaeli	Enerjisa Elektrik	40 MW
49	Gülsan Sentetik Dokuma Doğalgaz Santrali	Gaziantep	Gülsan Holding	37 MW
50	Meteksan Termik Santrali	Ankara	Bilkent Enerji	37 MW

(Parantez içindekiler kapasite artırımına gidildiğini ifade etmektedir)

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Kombine Çevrim

Kombine çevrim terimi, gaz türbini ve buhar türbininin birbirini tamamlayacak şekilde çalışması ile ısı-güç üretiminde yüksek verim yakalamayı sağlayan bir prosestir. Üst çevrim olarak çalışan gaz türbinin (Brayton çevrimi) yüksek giriş sıcaklığından yararlanılırken alt çevrim olarak da (Rankine çevrim) buhar türbininin düşük çıkış sıcaklığından faydalanılması üzerine kuruludur.

KÇ santrallerinde geri dönüşüm oldukça önemlidir. Gaz türbininden elektrik elde edildikten sonra oluşan atık ısı gazlarından yararlanılarak şebekeden gelen su kızgın buhar haline dönüştürülerek buhar türbinine gönderilir. Buradaki pervanelerin dönmesini sağlar. Pervanelerle aynı mil üzerine bağlı olan alternatör pervanelerin dönmesiyle oluşan mekanik enerjiyi alternatif elektrik enerjisine çevirir. Bu sayede hem gaz türbininden hem de buhar türbininden elektrik üretimi sağlanmış olur.

Bu santrallerde Fuel-oil, motorin, doğalgaz çeşitleri kullanılabilir. Genellikle doğalgaz yakıtı kullanılmakla birlikte istenildiğinde sıvı yakıtların tamamı ve hatta kömür parçalanıp gaz haline getirilerek kullanılabilir. Örneğin Ambarlı kombine çevrim santralinde yakıt olarak hem doğalgaz hem de fuel-oil kullanılmaktadır.

Yüksek verim ile elektrik üretiminin yanı sıra kombine çevrim santralleri birçok alanda hizmet verebilmektedir. Sistemden alınan ara buhar ile santral içi ısınma, bölgesel ısınma gibi ısı faaliyetlerinde kullanılarak ekonomik olarak maliyeti azaltabilmektedir.

4.2. Kırıkkale Kombine Çevrim Santralinin Tanıtımı

Çalışma dâhilinde ele alınan tesis için tercih edilen proje sahası Şekil 4.1.'de gösterildiği üzere KIRIKKALE ili, Hacılar ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Saha sahibi İç Anadolu Doğalgaz Elektrik Üretim ve Ticaret A.Ş olup bertilen alan Hacılar Belediyesi imar planında sanayi kuruluşu olarak gösterilmektedir. Tesisin toplam alanı 139000 m²'dir. Gama güç sistemleri ve Ge Enerji ortaklığı ile Kırıkkale'de 853 MW elektrik üretim

kapasitesine sahip tesis inşa edilmiştir. Tesisin yakıt ihtiyacı Samsun-Ankara Doğalgaz iletim hattından (Mavi Akım) karşılanmaktadır.



Şekil 4.1. İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali lokasyonu [24]

İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali 853 MW kurulu gücü ile enerji santralleri içerisinde 25. olurken doğalgaz santralleri arasında 13. büyük tesistir. Kırıkkale ilimizde İç Anadolu dgkçs ile birlikte 927 MW kurulu güce sahip Acwa Power Doğalgaz Santrali de bulunmaktadır.

Santralin yatırım süresi Gama enerji tarafından Aralık 2013'de başlatılarak 2016 yılının sonlarına doğru tam kapasite ile elektrik üretimine başlanmıştır. Santral ticari işletmeye 24 Aralık 2016'da 840 MW kurulu güç ile başlayıp 2017 senesinde kapasite artışı için başvuru yapmış ve teknik değerlendirmeler sonucunda 2 Kasım 2017'de 853 MW kurulu güç ile üretime geçmiştir. İç Anadolu Doğalgaz Kombine çevrim santrali ulusal şebekeye 380 kV'lık iki adet elektrik iletim hattı ile bağlı olmakta ve Ankara ilimizde tüketilen elektriğin yaklaşık %50'sini, Türkiye'de tüketilen elektriğin %2,5'ini karşılamaktadır [25].

4.3. Santralde Kullanılan Yakıt

İç Anadolu doğalgaz kombine çevrim santralinde yakıt olarak sadece doğalgaz kullanılacak olup herhangi bir yardımcı ek yakıt kullanılmamıştır. Santral alanının bulunduğu konum itibarıyla doğalgaz üretimi gerçekleştirilmediği için santral yakınlarında

bulunan Orta Anadolu Rafinerisi'ne doğalgaz temin eden Mavi akım hattı (Samsun-Ankara) düşünülmüştür. Ancak bu hattın kapasitesi doğalgaz ihtiyacını karşılayamayacağı sonucuna varılarak Orta Anadolu Rafinerisine gaz temin edilen Botaş'a ait hattın ana hatta bağlantısının yapıldığı yerden ek bir hat çekilerek yapılmıştır. Bu işlem için Kırgaz yetkilendirilmiştir [24].

4.4. Tesis Elektrik Üretimi

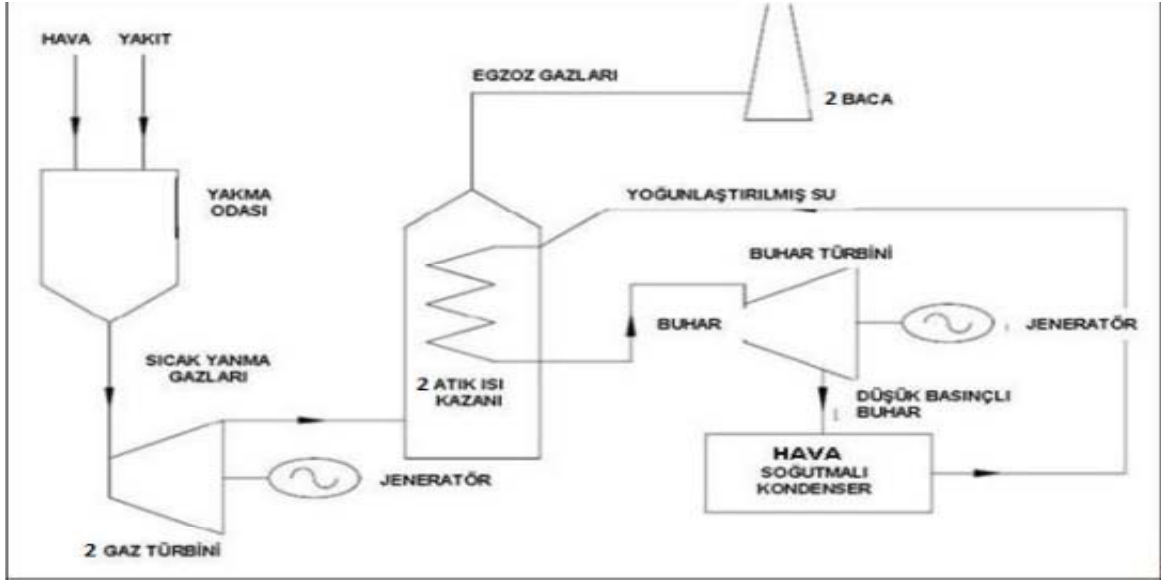
2021 yılında santralden üretilen elektrik 4 223 734 000 kWh, 2020 yılında 4 229 666 080 kWh, 2019 yılında ise 2 986 312 200 kWh'dir.

Çizelge 4.1. Yıllara göre santralden üretilen elektrik [26]

YIL	Üretim (kWh)
2021	4 223 734 000
2020	4 229 666 080
2019	2 986 312 200

4.5. Tesis Akış Şeması

Şekil 4.2.' de gösterildiği üzere gaz ve buhar olmak üzere iki farklı türbin bulunmaktadır. Normal şartlarda bulunan hava kompresör tarafında sisteme dâhil edilerek sıkıştırılır. Sıkışan havanın basıncı ve sıcaklığı artırılarak Samsun-Ankara doğalgaz boru hattı (Mavi Akım) vasıtasıyla gelen doğalgaz ile yanma odasına alınır. Yanma sonucunda yüksek sıcaklıktaki gaz, gaz türbininde genişler geçerek türbinde bulunan kanatların dönmesini sağlar. Kanatlarla aynı mile bağlı olan jeneratör kanatların dönmesi sonucu oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Gaz türbininden çıkan egzoz gazlarının ıslısından yararlanılarak tekrardan elektrik üretilebilmesi için egzoz gazları atık ısı kazanına (HRSG) yönlendirilir. Atık ısı kazanı içerisinde bulunan şebeke suyu egzoz gazları sayesinde kızgın buhar haline getirilerek buhar türbinine gönderilir. Gaz türbininde olduğu gibi burada da kızgın buhar, buhar türbininde geçerek kanatları döndürür. Jeneratör vasıtasıyla ek olarak elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur. İki ayrı türbin ile elektrik üretimi gerçekleştirildiği içinde bu sisteme kombine çevrim denilmektedir.



Şekil 4.2. Santral akış şeması [27]

Kombine çevrim santrallerinde geri dönüşüm önemlidir. Bu sayede maliyet azaltılarak daha çok verim elde edilmiş olur. Elektrik üretimi gaz ve buhar türbininde olmak üzere iki aşamada gerçekleştirildikten sonra buhar türbininden çıkan atık buhar, hava soğutmalı kondensere giderek soğutulur ve daha sonra yoğunlaştırılıp su haline getirilerek atık ısı kazanına gönderilir.

4.6. Santral Elemanları

İç Anadolu doğalgaz kombine çevrim santrali 2 gaz türbini + 1 buhar türbininden oluşan, doğalgaz yakıtı tercih edilen ve 855 MWe kurulu güce sahip elektrik üretim tesisidir.

Santral aşağıda verilen ana ve yardımcı üniteleri içerecektir [24];

- İki (2) adet kuru tip Düşük NO_x Brülörlü Gaz Türbini (GT),
- İki (2) adet yatay akis tipli üç basınç seviyeli Atık Isı Kazanı (HRSG),
- Bir (1) adet yoğuşmalı, üç basınç seviyeli Buhar Türbini (ST),
- Üç (3) adet hidrojen soğutmalı jeneratör ünitesi (gaz ve buhar türbinleri için),
- Bir (1) adet kuru tip hava soğutmalı yoğusturucu ünitesi (ACC),
- Evaporatif Soğutma,
- Gaz Tahliye Emniyeti, Yardımcı Trafo,
- 19/380 kV ana yükseltici trafo,
- İzole Faz Bağlayıcı,

- 380 kV Salt Sahası,
- Su Arıtma Tesisi,
- Atık Su Arıtma Tesisi,
- Kazan besleyici su pompaları,
- Elektrik sistemleri,
- Mekanik sistemler ve gaz temini ve ısıtma sistemi.

4.6.1. Gaz türbini

Gaz türbinleri tercih edilen yakıt ile yanma gerçekleştirilerek ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlayan ünitelerdir. Şekil 4.3.'de santralde kullanılan gaz türbini gösterilmektedir. Gaz türbini üniteleri sırasıyla kompresör, yanma odası, türbin ve jeneratörden oluşmaktadır. Kompresör; havayı sıkıştırarak basıncının artmasını sağlar. Yanma kazanı; kompresörde sıkıştırılan hava, yanma kazanına gelerek tercih edilen yakıt aracılığı ile yanmanın gerçekleştiği bölümdür. Türbin; yanma sonucunda gaz genişlerken türbinde bulunan kanatları döndürür ve gazın kinetik enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Jeneratör; türbin kanatları ile aynı mile bağlı olduğu için kanatlardan sağlanan mekanik enerjiyi alternatif elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 4.3. Gaz türbini [28]

İç Anadolu doğalgaz kombine çevrim santralinde 2 adet kuru tip Düşük Nox Brülörlü Gaz Türbini (GT) kullanılmaktadır. Gaz Türbini olarak 290 MW kapasiteye sahip GE Frame 9FB doğalgaz yakıtlı türbin tercih edilmiştir Bazı gazlar yapısında bulunan azot nedeniyle

yanma esnasında NO_x oluşumuna neden olur. Bu nedenle azot oksit oranının kontrol edildiği kuru, düşük NO_x üreten DLN-DRY LOW NO_x 2,6 brülör sistemi, yakma sistemi olarak seçilmiştir. Brülör yakıtın sıkıştırılan hava ile karıştırılarak daha verimli yanmasını sağlamaktadır. Santralde seçilen bu brülör de yaygın olarak tercih edilenlerin aksine 5 ateşleyiciye ek olarak tam ortada yakma sisteminin merkezinde bir brülör daha bulunmaktadır. Bu sayede yanma işlemine 6 farklı yerden müdahale edilerek daha az yakıt ile yüksek sıcaklıklara ulaşılır.

İç Anadolu doğalgaz kombine çevrim santralin kullanılan gaz türbininin saha şartlarında ki performans özellikleri ve uluslararası şartlarda olması gereken değerleri (Uluslararası Standartlar Organizasyonu-ISO) Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Gaz türbini saha şartları performans özellikleri [24]

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Şaft Çıkışı	267,300 kWe
Jeneratör Terminalindeki GT Brüt Isı Oranı	9,364 J/kWh
GT Ünitesi Şaft Hızı	3000 rpm
GT Kompresörü Filtre Girişindeki Açık Hava Basıncı	0,9231 bar
GT Ünitesi Çıkış Sıcaklığı	645 °C
Kompresör Girişindeki Hava Akımı	2,098 ton/h
Türbin Çıkışındaki Egzoz Gaz Akımı	2,173 ton/h
GT Girişi Hava Filtresi Kayıpları	93 mbar

Çizelge 4.3. Gaz türbini özellikleri (ISO şartlarında) [24]

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Türbin üreticisi	GE
Gaz Türbini Modeli	9371FB
Yakma Sistemi	Kuru Düşük NO _x
Jeneratör Terminallerindeki Brüt Çıktı	291,486 kW
Şaft Sayısı	1
GT Ünitesi Şaft Hızı	3000 rpm
GT Kompresörü Basın Oranı	18.2:1
GT Ünitesi Giriş Sıcaklığı	1426,7 °C
GT ünitesi Çıkış Sıcaklığı	636,7 °C
Kompresör Girişindeki Hava Akımı	2334,6 ton/h
Türbin Çıkışındaki Egzoz Gaz Akımı	2181,3 ton/h
Jeneratör Terminalindeki GT Brüt Isı Oranı	9,390 kJ/kWh
Jeneratör Terminalindeki GT Brüt Verim	% 38,4
Jeneratör Verimi	% 98,6

4.6.2. Atık ısı kazanı (HRSG)

Atık ısı kazanı gaz türbininden çıkan gazı kullanarak buhar üretmeyi sağlayan bir sisteme sahiptir. Yüksek basınçlı (HP), orta basınçlı (IP), düşük basınçlı (LP) olmak üzere üç basınç seviyeli, tekrar ısıtma özelliğine sahip doğal dolaşım türündedir. Her basınç bölümünde kullanılmak üzere buhar kızdırıcı, buharlaştırıcı, kazandırıcı bölümler olacak olup ek ateşleme sistemi kullanılmadan gaz türbininden çıkan gazlar kullanılarak buhar üretilmektedir.

Atık ısı kazanlarının başka bir görevi ise buhar türbininden gelen atık buhar soğutulup yoğunlaştırılarak tekrar atık ısı kazanına gelir ve yatay iletim kanalları aracılığı ile baca geçişine kadar ulaştırılır. Buradan da oluşan atık gaz, egzoz bacasından dışarı atılır. Santralde kullanılan atık ısı kazanı özellikleri (HRSG) Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Atık ısı kazanı (HRSG) özellikleri (saha şartlarında) [24]

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Sayısı	2
Tipi	Yanmasız, Yatay Gaz Akışlı
Basınç Seviyeleri Sayısı	3
Egzoz Kayıpları	33 mbar
Kazan Girişindeki Egzoz Gaz Miktarı	2370,8 ton/h
Kazan Girişindeki Egzoz Gaz Sıcaklığı	643,2 °C
Kazan Girişindeki Egzoz Gaz Basıncı	1046 mbar
Kazan Çıkışındaki Egzoz Gaz Miktarı	2370,8 ton/h
Kazan Çıkışındaki Egzoz Gaz Sıcaklığı	78,9 °C
Kazan Çıkışındaki Egzoz Gaz Basıncı	1013 mbar
HP Besleme Suyu Basıncı	103,3 bar
HP Besleme Suyu Sıcaklığı	159 °C
HP Besleme Suyu Miktarı	329,4 ton/h
HP Buhar Basıncı	139,4 bar
HP Buhar Sıcaklığı	567 °C
HP Buhar Miktarı	329,4 ton/h
Soğuk RH Buharı Giriş Basıncı	31,4 bar
Soğuk RH Buharı Giriş Sıcaklığı	358,6 °C
Soğuk RH Buharı Giriş Miktarı	353,7 ton/h
Sıcak RH Buharı Çıkış Basıncı	29,5 bar
Sıcak RH Buharı Çıkış Sıcaklığı	566,3 °C
Sıcak RH Buharı Çıkış Miktarı	354,8 ton/h
IP Buhar Basıncı	32,3 bar
IP Buhar Sıcaklığı	309,9 °C
IP Buhar Miktarı	33,3 ton/h
IP Buhar Sıcaklığı	306,2 °C
IP Buhar Miktarı	35 ton/h

4.6.3. Buhar türbini

Atık ısı kazanından gelen kızgın buhar, buhar türbinindeki kanatları döndürerek mekanik enerjiyi meydana getirir ve aynı shafta bağlı olan jeneratör yardımı ile mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Buhar türbini çok vanalı ve yatay olarak bölünmüş gövdeli tasarlanmıştır.

Santralde kullanılan buhar türbini kuru tip hava soğutma mekanizmalıdır. Gaz türbininden çıkan egzoz gazı akışı hava durumlarından kaynaklanan ısı değişimi gibi çeşitli nedenlere bağlı olarak atık ısı kazanında meydana gelecek buhar miktarı değişebilmektedir. Örneğin düşük hava sıcaklığında daha fazla egzoz gazı olacak ve bunun sonucunda daha çok buhar üretilerek türbine gönderilecektir. Bu nedenle buhar türbininin saha şartlarında oluşabilecek en düşük sıcaklıklar göz önünde bulundurularak ona göre üretim kapasitesi ve tasarımı yapılmıştır. Böylelikle yaz aylarında karşılaşılan yüksek sıcaklıkların sebep olduğu yüksek geri basınca rağmen gaz türbininin çalıştığı tüm aralıklarda buhar türbini faaliyet gösterebilir.

Santralde kullanılacak buhar türbininin özellikleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Buhar türbini santral ömrü boyunca çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Çizelge 4.5. Buhar türbini özellikleri (saha şartlarında) [24]

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Tabela Kapasitesi	440 MVA
Saha Koşullarında Kapasite	287,41 MV
Güç Faktörü	0,85
Tip	Yoğuşturucu, 3 Basınç Seviyeli, Tekrar Isıtmalı (RH)
Tabela Vana Basıncı	132 bar
Aşama Sayısı	23
Tabela Vana Sıcaklığı	565,5 °C
Tabela Kütle Akışı	670 ton/h
Egzoz Uç Tipi	Düşey
Egzoz Sıcaklığı	38,4 °C
ST Girişinde HP Buhar Sıcaklığı	565 °C
ST Girişinde HP Buhar Basıncı	117 bar
ST Girişinde HP Buhar Miktarı	603,8 ton/h
ST Girişinde RH Buhar Sıcaklığı	565 °C
ST Girişinde RH Buhar Basıncı	24,52 bar
ST Girişinde RH Buhar Miktarı	653 ton/h
ST Girişinde LP Buhar Sıcaklığı	312 °C

Çizelge 4.5. (Devam) Buhar türbini özellikleri (saha şartlarında)

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
ST Girişinde LP Buhar Miktarı	724 ton/h
Son Aşama Bölmesi Uzunluğu	1066,9 mm
Türbin Egzoz Sıcaklığı	38 °C
Türbin Egzoz Basıncı	0,0677 bar
Türbin Egzoz Kütle Akışı	724 ton/h

4.6.4. Hava soğutmalı yoğuşturucu ünitesi (ACC)

Santral için Çizelge 4.6.'da özellikleri verilen hava soğutmalı sistem kullanılmıştır. Su soğutmalı yoğuşturucu ünitesi seçildiği zaman çevre için tehlikeli olabilecek buhar salınımı söz konusu olabilir. Ancak kuru soğutma sistemlerinde çevreye sadece ılık hava salmakta ve tehlike oluşturmamaktadır. Santralin bulunduğu sahaya en yakın su kaynağı Kızılırmak'tır ve uzaklık yaklaşık olarak 2,5 km'dir. Eğer su soğutmalı bir sistem seçilmiş olsaydı soğutma suyunu getirmek santral için ek bir maliyet oluştururdu.

Çizelge 4.6. ACC ünitesi özellikler [24]

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Sıra Sayısı	9
Hücre Sayısı	45
Soğutma Kapasitesi	~456,220 kW
Yüzey Alanı	~1824152 m ²
Tahmini Arsa Alanı	~11000 m ²
Hava Hızı	3 m/sn
ACC Girişinde Buhar Miktarı	724 ton/h
ACC Girişinde Buhar Basıncı	0,06773 bar
ACC Girişinde Buhar Sıcaklığı	38,41 °C
ACC Girişinde Yoğuşuk Miktarı	728,64 ton/h
Yoğuşuk Pompa Girişinde Yoğuşukluk Basıncı	0,5080 bar
ACC Girişinde Yoğuşuk Sıcaklığı	33,2 °C
ACC Girişinde Soğutma Havası Bağlı Nemi	% 60
Toplam Fan Kapasitesi	3345 kW

4.6.5. Jeneratör

Kızgın buharın gaz ve buhar türbinde meydana getirdiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

4.6.6. Diğer ekipmanlar

Ana ekipmanların yanı sıra yardımcı ekipmanlarda bulunmaktadır. Bunlar;

- Gaz tahliye emniyeti
- Jeneratör devre kesici-yükseltici trafolar
- Doğalgaz tedarik sistemi ve yangın koruma sistemleri
- Evaporatif soğutma
- Su arıtma ve demineralize su sistemidir.

4.7. Tesisten Kaynaklanan Emisyon Miktarları

Tesis, Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği belirtilen emisyon sınır değerlerine tabiidir. Tesisin tasarım değerleri bu sınır değerlerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Tesiste yakıt olarak sadece doğalgaz kullanılmış olup ikincil bir yakıt kullanılmamıştır. Buna göre tesisten kaynaklanması beklenen tüm kirletici emisyonları aşağıda sunulmaktadır. Emisyon değerlerinde, baca gazında % 15 hacimsel oksijen (O₂) esas alınmıştır[27].

- Azot oksitler (azot dioksit cinsinden): BYTY'ye göre ısı gücü 50 MW ve üzerinde olan gaz türbinleri için yakıt olarak doğalgaz kullanıldığı durumda emisyon sınır değeri 50 mg/Nm³ 'tür. Tesisin tasarım değeri olarak maksimum 50 mg/Nm³ kullanılmıştır
- Karbon monoksit: BYTY Ek-4'te doğalgaz kullanan tesisler için karbon monoksit emisyonları sınır değeri 100 mg/Nm³ olarak verilmiştir. Tesisin tasarım değeri olarak maksimum 100 mg/Nm³ kullanılmıştır.
- Kükürt dioksit: BYTY Ek-4'te doğalgaz kullanan tesisler için sınır değeri 11,7 mg/Nm³ 'tür. Önerilen tesisten kükürt dioksit emisyonu sınır değerinin altında olacaktır.
- Partikül Madde: BYTY Ek-4'te doğalgaz yakan gaz türbinleri için partikül madde ve toz emisyonları için herhangi bir sınır değeri bulunmamaktadır. Tesiste yakıt olarak sadece doğalgaz kullanıldığından dolayı tesiste kayda değer bir partikül madde ve toz emisyonu yoktur.

Görüldüğü üzere tesisten kaynaklanacak başlıca emisyonlar NO_x ve CO emisyonlarıdır. Ancak CO emisyonları atmosfere salındıktan kısa bir süre sonra CO₂'ya dönüşecektir.

Yukarıda sunulan emisyon değerleri kg/saat cinsinden de hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur. Yukarıdaki emisyon değerlerinde baca gazında %15 O₂ değeri alınmış ve baca gazı da kuru olarak kabul edilmiştir. Tesisin tasarım değeri olan %12,91 O₂ (kuru bazda) ve %9,16 H₂O değerlerine göre yeniden hesaplanan emisyon değerleri ile tesisin baca gazı çıkış debisi (1 718 775 Nm³ /saat) çarpılarak kg/saat cinsinden emisyon değerleri elde edilmiştir. Tesiste iki baca yer aldığı için tesisten kaynaklanacak toplam emisyon değerlerinin hesaplanmasında her bir bacada hesaplanan emisyon değeri baca sayısı ile çarpılmıştır[27].

$$\text{NO}_x \text{ Emisyonu} = 50 \text{ mg/Nm}^3 * [(100-9,16)/100 * (20,94-12,91)/(20,94-15)] * 1 718 775 \text{ Nm}^3 /\text{saat} * 10^{-6} \text{ kg/mg} * 2 = 210,00 \text{ kg/saat}$$

$$\text{CO Emisyonu} = 100 \text{ mg/Nm}^3 * [(100-9,16)/100 * (20,94-12,91)/(20,94-15)] * 1 718 775 \text{ Nm}^3 /\text{saat} * 10^{-6} \text{ kg/mg} * 2 = 422,00 \text{ kg/saat}$$

$$\text{SO}_2 \text{ Emisyonu} = 11,7 \text{ mg/Nm}^3 * [(100-9,16)/100 * (20,94-12,91)/(20,94-15)] * 1 718 775 \text{ Nm}^3 /\text{saat} * 10^{-6} \text{ kg/mg} * 2 = 49,38 \text{ kg/saat}$$

4.7.1. Gaz türbini emisyonları

Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliğinde doğalgaz yakıtlı gaz türbinleri için emisyon sınırları verilmektedir. Uluslararası Finans Kuruluşu'nun (IFC/Dünya Bankası) Aralık 2008 tarihli "Termik Santraller için Çevre, Sağlık ve Güvenlik Kılavuzu" dokümanında da termik santraller için emisyon sınırları bulunmaktadır. İç Anadolu DGKÇS emisyonları, BYTY ve Dünya Bankası sınır değerlerinin altındadır. Çizelge 4.7.'de, CGT/HRSG Atık Isı Kazanının en yüksek anıl kapasitede çalışması durumunda, bacadan salınması garanti edilen emisyon değerleri ile BYTY ve Dünya Bankası emisyon sınır değerleri sunulmaktadır. Bu değerler, temel yükte işletim sırasında oluşan emisyon değerleridir[27].

Çizelge 4.7. Kirletici Emisyon Kriterleri[27]

Parametre	Birim	Değer	Emisyon Sınırları	
			BYTY (1)	Dünya Bankası (2)
Gaz çıkış hızı	m/sn	18,2	-	-
Baca çapı	m	6,9	-	-
Baca çıkış sıcaklığı	K	355,25	-	-
Hacimsel debi	Nm ³ /sn @ 0 °C, 1 atm	477,44	-	-
Emisyon değeri				
NO_x (NO₂ cinsinden)	Mg/Nm ³ @ %15 O ₂ , Kuru bazda	50	50	51 (25ppm)

Notlar: (1) Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği 27605 sayılı ve 8 Haziran 2010 tarihli Resmi Gazete
(2) “environmental, Health and Safety Guidelines, Thermal Power Plants” Uluslararası Finans Kuruluşu (Dünya Bankası), Aralık 2008

4.7.2. Azot oksitler (NO_x)

Yanma işlemleri sırasında NO_x iki şekilde oluşmaktadır bu yüksek sıcaklıktaki yanma ortamında bulunan yakma havasındaki element halindeki azot ile oksijenin birleşmesi (termal NO_x) ve yakıtta bulunan azotun oksidasyonu şeklindedir. Termal NO_x'ın oluşma oranı, yanma alanında kalma süresi, ortamda bulunan serbest oksijen miktarı ve alev sıcaklığının pik değerine bağlıdır. Hemen hemen tüm NO_x emisyonları, azot ve oksijenin yanma odasındaki yüksek sıcaklıkta atomik biçimlerine ayrılmaları ve daha sonra tekrar birleşmeleri ile nitrik oksit (NO) olarak oluşurlar. Bu oluşan NO'nun az bir miktarı baca gazında oksitlenmeyi sürdürerek NO₂'ye dönüşür. Doğalgazın yapısında ihmal edilebilir düzeyde azot bulunduğundan NO_x oluşumunun büyük bölümü, termal NO_x olarak adlandırılan yanma havasındaki azotun termal oksidasyonu yolu ile oluşacaktır[27].

Tesiste kuru tip, düşük NO_x brülörleri kullanılmıştır. NO_x emisyonlarının azaltım yöntemleri olarak; Su ya da Buhar Enjeksiyonu, Kuru Düşük NO_x(DLN) Teknolojileri ve Selektif Katalitik Azaltım (SCR) sunulmaktadır. Bu yöntemlerden yüksek verimliliği, maliyeti ve güvenilirliği bakımından tesis için en uygun teknoloji olan Kuru Düşük NO_x(DLN) teknolojisi tesiste kullanılmıştır.

Tesisten salınan NO_x emisyonları baca gazında kuru ve %15 oksijen bulunan koşullarda 50 mg/Nm³ olup, BYTY'de verilen 50 mg/Nm³ sınır değerini sağlamaktadır. Bu değerlerde,

bir normal metreküplük baca gazı 0°C'de ve 1 atmosferlik basınç altında kabul edilmektedir. Tesisten salınan NO_x (NO₂ cinsinden) emisyonları, Dünya Bankası'nın (Aralık 2008) 51 mg/Nm³ olan sınır değerini de sağlamaktadır[27].

4.7.3. Kükürt dioksit (SO₂)

SO₂ yakıt içerisinde bulunan kükürtün oksidasyonu ile oluşur. Doğalgaz sadece eser miktarda kükürt bulundurmaktadır. SO₂ emisyonlarının en alt düzeylere indirilebilmesi için doğalgaz kullanılması ABD'de en geçerli kontrol teknolojisi olarak kabul edilmektedir. H₂S formunda doğal gazda bulunan kükürtün üretim sahasında yıkandığı takdirde bütün uygulamalar için SO₂ emisyon sınır değerlerini karşılayacak yakıt kalitesinin doğrudan elde edildiği bilinmektedir. Tesisin SO₂ emisyon miktarı hem mevzuatın hem de Dünya Bankası limitlerinin oldukça altında, ihmal edilebilir düzeylerde olacaktır.

Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliğine göre "İşletmeci her yakma tesisinin atık gazlarında SO₂, NO_x, CO, toz konsantrasyonlarını, emisyon sınır değerleri belirlenmiş parametreleri bacada sürekli ölçüm cihazı kullanarak ölçer" ibaresi yer almaktadır. Aynı yönetmeliğe göre, istisnai olarak doğalgaz kullanan gaz türbinlerinde ise SO₂ ve toz için sürekli ölçüm gerekmebilir denilmektedir. Bu hüküm doğrultusunda işletme aşamasında aşağıdaki parametreler bacada sürekli olarak izlenmektedir[27].

- Azot oksitler (NO_x)
- Karbon monoksit (CO)
- Oksijen (O₂)

4.7.4. Partikül madde (PM)

Kombine çevrim santralleri kül oluşturmadığı için temiz yanma özelliği gösterir bu nedenle partiküllerin tutulması için filtre sistemleri, elektrostatik tutucular gibi kontrol sistemlerine gerek duyulmamaktadır. Partikül denetiminin en sıkı biçimde gerçekleştiği yöntem, doğal gaz gibi yapısında kül oranı düşük yakıtları birincil yakıt olarak kullanmaktır. Doğal gaz yakan gaz türbinlerinde çıkan partikül madde ya da toz emisyonlarının normal işlem altında ya da kontrol yakma koşullarında çevresel bir endişe olmadığı belirtilmektedir. Tesisin PM emisyon miktarı hem mevzuatın hem de Dünya

Bankası limitlerinin oldukça altında, ihmal edilebilir düzeydedir. Tesis için proje sahası çevresindeki ulaşım yolları hali hazırda asfalt ve betonla kaplanmış bulunmaktadır[27].

4.8. İşletme Faaliyete Kapandıktan Sonra Olabilecek Etkiler Ve Bu Etkilere Karşı Alınacak Önlemler

Arazi Islahı ve Reklamasyon Çalışmaları : Çevrim santrali işletiminin ömrünü tamamlamasını takiben, santral alanı yeniden düzenlenecek ve endüstriyel kullanıma geri döndürülecektir. Genel olarak arazi ıslah çalışmaları, sahanın tasfiyesi, şekillendirme ve vejetasyon çalışmalarını içermektedir. Sahanın düzleştirilmesinden sonra, tahrip olan arazi, uygun bitkilerin ekilmesi ile mümkün olan en iyi şekilde ıslah edilecektir. Arazi geri kazanım faaliyetleri sonucunda erozyonu önleyecek kararlı bir vejetasyon örtüsü meydana getirilecektir. Sahanın tamamen geri kazanılmış sayılabilmesi için vejetasyon örtüsü gelişme mevsiminin geçmiş olması gerekmektedir. İşletmenin kapatılması ve sahanın geri kazanım faaliyetlerinin temel amacı mümkün olan en yüksek seviyede sahanın eski kullanım şekline geri döndürülmesini sağlamaktır. Bu sebeple, işletmenin kapatılması sırasında toprak kalitesi üzerine herhangi olumsuz bir etki beklenmemektedir.

İç Anadolu DGKÇS sahası hâlihazırda Hacılar Belediyesi tarafından Sanayi Alanı olarak belirlenmiş alanda bulunmaktadır. Çevrim santrali sahasının eski haline döndürülmesi çalışmaları, işletmenin sona erdirilmesinden hemen sonra başlayacaktır. Çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirecek en uygun yöntemler kullanılmak suretiyle saha üzerindeki yapılar yıkılacak ve sahadan uzaklaştırılacaktır. Yıkım ve söküm işlemleri sırasında ses, trafik ve estetik açısından olumsuz etkiler oluşacaksa da, bu etkiler geçici ve aralıklı olacaktır. Saha üzerindeki yapıların ve altyapının sökülmesi ve kaldırılmasından sonra, yıkımla ilgili bütün kalıntılar temizlenecek ve saha tekrar endüstriyel amaçlı kullanılabilmesi için yeniden düzenlenecektir[27].

Yeraltı ve Yerüstü Su Kaynaklarına Etkileri : İşletme faaliyetlerinin sona ermesi aşamasında, herhangi bir atık suyun gerekli arıtım uygulanmadan deşarjı söz konusu olmayacaktır. Kapatma ve ıslah çalışmalarına ilişkin olarak, yüzey ve yeraltı sularının kalitesi üzerine önemli bir etkisi olmayacaktır.

Olabilecek Hava Emisyonları : İşletme faaliyetlerinin sona ermesi aşamasında ve sonrasında herhangi bir emisyon kaynağı bulunmayacaktır. Faaliyetin durdurulması esnasında, önemsiz miktarda doğal gaz çıkışı olabilir. Böyle bir durum oluşması durumunda, gerekli havalandırma ve temizleme işlemleri titizlikle uygulanacaktır. İç Anadolu DGKÇS'nin işletme faaliyetlerinin sona erdirilmesi aşamasında mevcut hava kalitesine önemli bir etkisinin olması beklenmemektedir[27].



5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu kısımda İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin ekonomik verileri ele alınarak bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Santral verileri ilk yatırım maliyeti ve işletme-bakım maliyetleri olarak iki şekilde değerlendirilecektir. Masrafların büyük bir kısmını ilk yatırım bedeli oluşturmaktadır. İlk yatırım bedeli projeye karar verildikten sonra santral üretime hazır hale gelene kadar ki tüm masraflar için yapılan harcamaları kapsamaktadır [29]. Bunlar;

- Santral için gerekli ekipmanların (makine-teçhizat) temini,
- Arazi, binalar
- Personel masraflarını kapsamaktadır.

İç Anadolu kombine çevrim proje sahasının seçilmesi esnasında birçok etken göz önünde bulundurularak bir seçim yapılmıştır. Proje sahasının seçilmesi sırasında;

- Çevresel durum (ekoloji, hava, su, ve toprak kirliliği, gürültü, vs);
- Doğalgaz hattına yakınlık, endüstriyel alanlara yakınlık, ulaşım ve nakliye durumu;
- Sahanın durumu ve temin edinilme şartları, kamulaştırmanın gerekmemesi;
- Konut alanlarına uzaklık, tarım arazisi olmama;

gibi hususlar baz alınarak, önerilen saha proje sahası olarak seçilmiştir. Sahanın, mülkiyetinin proje sahibine ait olması, üzerinde herhangi bir konut bulunmaması, kamulaştırma ya da yeniden yerleşimin gerekmemesinden dolayı arsa bedeli gerekmemiştir.

Çizelge 5.1. İnşa aşamasında kullanılan makine-ekipman

Makine-Ekipman	Adet
Mobil vinç (50t)	6
Mobil vinç (100t)	1
Mobil vinç (150t)	1
Mobil vinç (250t)	1
Mobil vinç (500t)	1
Damperli kamyon (18t)	12
Mikser Kamyon	3
Ekskavatör	3
Beko yükleyici	2

Çizelge 5.1. (Devam) İnşa aşamasında kullanılan makine-ekipman

Makine-Ekipman	Adet
Greyder	1
Silindir	2
Beton Pompası	2
Kazık Makinesi	3
Buldozer	2

Çizelge 5.2. Ana-Yardımcı donanım ve üniteler

<ul style="list-style-type: none"> • Merkez Kontrol Odası ve İdare Binası • Depo ve Bakım Binası, • HP, IP ve LP kazan besleme pompaları, • Jeneratör Devre Kesicileri, • Yükseltici Trafolar, • Doğal gaz tedarik sistemi, • Dağıtılmış (Distributed) Kontrol Sistemi, • Su Arıtma ve Demineralize Su Sistemi, • Yollar, Kaldırımlar, Yağmur Suyu ve Drenaj Sistemleri, • Tesis Yangın Koruma Sistemi 	<ul style="list-style-type: none"> • İki (2) adet Gaz Türbini (GT) • İki (2) adet atık Isı Kazanı (HRSG) • Bir (1) adet Buhar Türbini (ST) • Üç (3) adet jeneratör ünitesi (gaz ve buhar türbinleri için) • Bir (1) adet yoğuşturucu ünitesi (ACC) • Evaporatif Soğutma • Gaz Tahliye Emniyeti • Yardımcı Trafo; • 19/380 kV ana yükseltici trafo; • İzole Faz Bağlayıcı; • 380 kV Şalt Sahası; • Su Arıtma Tesisi; • Atık Su Arıtma Tesisi; • Kazan besleyici su pompaları; • Elektrik sistemleri; • Mekanik sistemler; • Gaz temini ve ısıtma sistemi.
--	---

İnşa aşamasında projede geçici olarak 900 personele istihdam sağlanmıştır. Kullanılan ekipman, makine-teçhizat ve personel masrafları yatırım bedeli kapsamında sayılarak proje bedeli 900 milyon ABD dolarıdır.

2012 yılı(proje yatırım aşaması) =1 ABD Doları = 1,8 ₺

2012 proje bedeli= 900 000 000 \$ = 900 000 000 x 1,8 = 1 620 000 000 ₺

İşletme/bakım maliyetleri ise santral kurulumu sonrası santralden enerji üretmek için yapılması gereken harcamalardır. İşletme maliyetleri, sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit işletme maliyeti çalışanların maaşları ve primler, santral genel ve idari harcamaları, santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi maliyetlerdir. Değişken işletme maliyetleri ise santralde

kullanılan yakıtlar, enerji, su, kimyasallar, katalizörler, gazlar, yağlayıcılar, tükenbilir malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetlerdir [29].

Elektrik üretim santralleri için yapılan masraflar, santralin yatırım karar tarihi ile ekonomik ömrünün sonuna kadar yapılan harcamaları kapsamaktadır. Santral ile ilgili analizler yapılmadan önce paranın zaman değerinin hesaba katılıp katılmayacağı konusunda karar verilmelidir. Dinamik zaman içerisinde mevcut paranın değeri değişim gösterebilmektedir bu nedenle bir referans tarihi seçilmelidir. Referans tarihi seçilerek yapılan masrafların karşılaştırılması daha kolay bir hale gelecektir. Genellikle bu referans tarihi elektrik üretim santrallerinin üretime başladığı tarih olarak tercih edilmektedir. Yapılan tüm yıllık yatırım, yakıt, işletme ve bakım masrafları bu tarihe göre ayarlanır. Bu masraflar toplamına ömür boyu masraflar adı verilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır [30].

$$C_{pw} = \sum_{t=-L}^n [C_{kt} + C_{ft} + C_{mt}] (1 + r)^{-t} \quad (5.1)$$

- C_{pw} : ömür boyu masraflar (\$)
- C_{kt} : t yılındaki yıllık yatırım masrafları (\$/yıl)
- C_{ft} : t yılındaki yıllık yakıt masrafları (\$/yıl)
- C_{mt} : t yılındaki yıllık işletme ve bakım masrafları (\$/yıl)
- t: Masrafların yapıldığı yıl
- L: Santralin inşaat süresi (yıl)
- n: Santralin ekonomik ömrü (yıl)
- r: İskonto oranı (%)

Denklem 1, $-L$ ile n süresi arasında yapılan tüm masrafların işletmeye başlama tarihindeki ($t = 0$) değerini, yani şimdiki değerini verir. Belirlenen ömür boyu masraflar, santralin işletmeye başladığı tarih ile ekonomik ömrü sonuna kadar eşit masraflar serisine dönüştürülür ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır [30].

$$C_{aw} = \frac{C_{pw}}{\sum_{t=1}^n (1+r)^{-t}} \quad (5.2)$$

C_{aw} : Yıllık eşdeğer masraflar serisi(\$/yıl), C_{pw} : Ömür boyu yapılan toplam masraflar (\$)

Santralin birim enerji üretim maliyetinin bulunabilmesi için, santralin ömrü boyunca üreteceği elektrik miktarının belirlenmesi gerekir. Yıllık üretilen elektrik miktarının bulunması için yük faktörü (L_f) kullanılır. Yük faktörü; santralin bir yıl boyunca ürettiği elektriğin, o yıl içindeki kurulu güç ile tüm yıl üretim yapması durumundaki üreteceği elektriğe oranıdır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır [30].

$$L_f = \frac{E_t}{8760 \times N_k} \quad (5.3)$$

- E_t : t yılında santralin yıllık elektrik üretimi (kWh/yıl)
- N_k : Santralin Kurulu gücü (kW)

Santralin ömür boyu eşdeğer masraf serisi, ömür boyu elektrik üretimine bölünerek birim elektrik üretim maliyetleri hesaplanır. Üretim maliyeti (g), hesaplamalarda ömür boyu değerler kullanıldığı için, santralin ekonomik ömrü boyunca sabit bir değerde kalacaktır [30].

$$g = \frac{C_{aw}}{E} \quad (5.4)$$

- g : Eşdeğer birim enerji maliyeti
- E : Yıllık enerji üretimi

Birim elektrik için gerekli yakıt miktarı olarak tanımlanan özgül yakıt tüketimi Denklem (5) ile hesaplanır [30].

$$b_e = \frac{3600}{\eta_t \times H_u} \quad (5.5)$$

- b_e : Özgül yakıt tüketimi(kg/kWh)
- H_u : Yakıtın alt ısı değeri(kJ/kg)
- η_t : Termik verimi (%)

Özgül yakıt tüketimi ile yakıt fiyatının çarpımından, birim enerji yakıt maliyeti elde edilir [30].

$$C_f = F \times b_e \quad (5.6)$$

- C_f : Birim enerji yakıt maliyeti (\$/kWh)
- F : Yakıt fiyatı (\$/kg)

Herhangi bir t yılındaki yıllık yakıt masrafı [30],

$$C_{FT} = C_f \times E_t \quad (5.7)$$

- E : Santralin yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl)

İncelenen 853 MW kapasiteli doğalgaz kombine çevrim santralinin tam yükte çalışması sırasında yıllık üretilebilecek elektrik miktarı en fazla;

853MWe×365 gün×24 saat=7 472 280 MWh'dir.

Çizelge 5.3. İşletim sarf malzemeleri(2021 yılı güncel fiyat)

Ticari Adı	Kimyasal Adı	Birim	Bir yıllık toplam sipariş	Birim Fiyat
Ferrolix 3125	Ammonium hydroxide	Kg	32624	1,22 €
Osmotech 3258	Sodium bisulphite	Kg	2640	1,72 €
Hydrochloric Acid % 31	Hydrochloric Acid % 31	Kg	350	0,75 €
Ferrodor 230	Sodium hypochlorite	Kg	20503	0,48 €
Kuriflock 8661	Coagulant	Kg	1200	1,00 €
Ferrolin 8682	Coagulant additive	Kg	500	4,00 €
Osmotech 2575	Acidic cleaner for CIP	Kg	320	2,00 €
Osmotech 2691	Alkaline cleaner for CIP	Kg	320	3,65 €
Sulphuric Acid	Sulfuric Acid %98	Kg	4500	0,38 €
KorroDEX 8574	Corrosion Inhibitor	Kg	240	5,00 €
Ferrocide 8583	Biyocide for CCW	Kg	90	3,85 €
Ferrocide 8583	Biyocide for RO	Kg	50	3,85 €
Ferrodor 211	Sodium Hydroxide	Kg	9620	0,67 €
Osmotech 1040	Antiscalant	Kg	800	3,15 €

İşletmede kullanılan sarf malzemeler ve yıllık toplam siparişler Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir. Ferrodor230 ve Ferrodor211 kimyasal adı ile sırasıyla sodyum hipoklorit, sodyum hidroksit sularda dezenfektan amacı ile Ferrocid8583 kapalı soğutma suyu veya ters osmoz uygulamalarında meydana gelebilecek mikroorganizmaları kontrol altına alma veya tamamen yok etmek amacıyla kullanılan maddelerdir.

Osmotech 3258 kimyasal adı ile sodyum bisülfittir. Kimyasal formülü NaHSO₃ ile bilinen ve çözünmüş oksijen ile kolaylıkla tepkimeye girebildiği için endüstriyel indirgeyici olarak sık sık tercih edilmektedir. Oksidatif korozyon oluşumunu engellemek için boru sistemlerine ilave edilir.



Osmotech 2575-2691 asidik ve alkali temizlik amacıyla kullanılmaktadır. CIP (Cleaning in place) Türkçe karşılığı yerinde temizleme olan CIP sistemi, üretim hatlarında veya başka bir ifade ile kapalı devre sistemlerinde makine ve ekipmanları parçalara ayırmaksızın çeşitli kimyasallar yardımı ile yüksek hijyen seviyesinde temizlenmesidir. Osmotech 1040 ise tipik bir kireç önleyicidir.

Hydrochloric Acid %31 renksiz veya açık sarı formunda olabilen keskin bir kokuya sahip aşındırıcı bir sıvıdır. Kireç çözme ve dezenfekte etme amacı ile kullanılmaktadır. Korrodex 8574 sıvıyla temas eden metal veya alaşımlarda meydana gelecek korozyonu önlemede tercih edilen kimyasal bir bileşiktir.

Ferrolix 3125-Amonyum hidroksit kimyasal formülü NH₄ OH olan sulu amonyak olarak da bilinen yaygın bir temizleyici olup santralde kazan temizliği amacıyla tercih edilmektedir. Ek olarak Ferrolin 8682 de kazan temizliğinde kullanılır. Çizelge 5.3.'de verilen değerler baz alınarak Çizelge 5.4'de hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5.4. İşletim sarf malzemeleri maliyet hesabı(2021)

Ferrolix 3125	32624 kg x 1,22 €	= 39 801,28 €
Osmotech 3258	2640 kg x 1,72 €	= 4 540,80 €
Hydrochloric Acid	350 kg x 0,75€	= 262,5 €
Ferrodor 230	20503 kg x 0,48€	= 9 841,44 €
Kuriflock 8661	1200 kg x 1,00€	= 1 200 €
Ferrolin 8682	500 kg x 4,00€	= 2 000 €
Osmotech 2575	320 kg x 2,00€	= 640 €
Osmotech 2691	320 kg x 3,65€	= 1 168 €
Sulphuric Acid	4500 kg x 0,38€	= 1 710 €
Korrodex 8574	240 kg x 5,00€	= 1 200 €
Ferrocid 8583	90 kg x 3,85€	= 346,5 €
Ferrocid 8583	50 kg x 3,85€	= 192,5 €
Ferrodor 211	9620 kg x 0,67€	= 6 445,4 €
Osmotech 1040	800 kg x 3,15€	= 2 520 €
Toplam maliyet = 71 868,42 € =748 309,80 ₺		
(2021 yılı ortalama 1 € = 10,41222₺)		

her malzemenin bir yıllık toplam sipariş maliyeti bulunmuş olur. İşletim sarf malzemeleri toplam maliyet;

= 748 309,80 ₺'dir.

Çizelge 5.5. Satın alınan gaz miktarı(sm³)

Aylar	Gaz Hacmi - Sm³
Ocak	98 620 703
Şubat	81 493 410
Mart	70 642 314
Nisan	60 295 646
Mayıs	82 808 268
Haziran	80 298 819
Temmuz	85 514 574
Ağustos	89 600 694
Eylül	80 797 050
Ekim	88 722 415
Kasım	75 724 990
Aralık	95 797 077
TOPLAM = 990 315 960 sm³	

Toplam satın alınan gaz miktarı 990 315 960 sm³ bulunur (Çizelge 5.5.).

Çizelge 5.6. Elektrik üreticileri için doğalgaz tarifeleri (BOTAŞ)

2021 yılı	₺/sm ³	₺/kWh
Ocak	1,414000	0,13289473
Şubat	1,428140	0,13422368
Mart	1,442421	0,13556588
Nisan	1,456845	0,13692152
Mayıs	1,631667	0,15335216
Haziran	1,713250	0,16101974
Temmuz	2,060000	0,19360902
Ağustos	2,060000	0,19360902
Eylül	2,369000	0,22265036
Ekim	2,724350	0,25604793
Kasım	4,000000	0,37593985
Aralık	4,023000	0,37810149
2022 güncel fiyat	4,800000	0,45112782

Aralık 2021’de BOTAŞ tarafından yapılan kamuoyu duyurusu ile elektrik üretimi için doğalgazın güncel fiyatı 4,800000 ₺/sm³ 0,45112782 ₺/kWh olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7. Toplam satın alınan gaz bedeli

	Satın Alınan Gaz (sm ³)		Doğalgaz Tarifesi (₺/sm ³)	Aylık Gaz Bedeli
Ocak	98 620 703 sm ³	x	1,414000 =	139 449 674,1
Şubat	81 493 410 sm ³	x	1,428140 =	116 383 998,5
Mart	70 642 314 sm ³	x	1,442421 =	101 895 957,2
Nisan	60 295 646 sm ³	x	1,456845 =	87 841 410,3
Mayıs	82 808 268 sm ³	x	1,631667 =	135 115 518,2
Haziran	80 298 819 sm ³	x	1,713250 =	137 571 951,6
Temmuz	85 514 574 sm ³	x	2,060000 =	176 160 022,4
Ağustos	89 600 694 sm ³	x	2,060000 =	184 577 429,6
Eylül	80 797 050 sm ³	x	2,369000 =	191 408 211,4
Ekim	88 722 415 sm ³	x	2,724350 =	241 710 911,3
Kasım	75 724 990 sm ³	x	4,000000 =	302 899 960
Aralık	95 797 077 sm ³	x	4,023000 =	385 391 640,7
Toplam satın alınan gaz bedeli 2 026 006 685,3 ₺’dir.				

GÖP (Gün öncesi piyasası) EPIAŞ tarafından yani elektrik piyasasının işletmecisi olan bu kurum tarafından oluşturulan bir piyasadır. Elektrik üretim şirketleri, tedarik şirketleri, ticaret şirketleri bu piyasa üzerinden bir gün öncesinden elektrik alış ve satış tekliflerini piyasaya girerek bu alış ve satış tekliflerine göre bir arz talep eğrisi oluşturur. Kesişen nokta PTF’yi (Piyasa takas fiyatı) verir. Ortaya çıkan fiyat üzerinden de işlemler

gerçekleşir. PTF değeri her saat için farklıdır. Bu nedenle çalışmada PTF değeri aylık aritmetik ortalama alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. Santral elektrik üretim ve PTF değerleri

Aylar	Üretim (MWh)	PTF (ortalama- ₺/MWh)
Ocak	413,145	297,72
Şubat	348,310	286,89
Mart	215,956	311,41
Nisan	141,592	312,15
Mayıs	172,317	360,59
Haziran	290,069	402,03
Temmuz	403,888	518,37
Ağustos	467,110	557,37
Eylül	438,078	520,86
Ekim	453,590	669,93
Kasım	423,453	830,96
Aralık	465,226	1004,16
Toplam yıllık elektrik üretimi 4 223 734 MWh		

Aylık elektrik üretim değerleri Çizelge 5.8.'de verilmiştir. Buna göre aylık değerler toplanarak toplam yıllık elektrik üretimi 4 223 734 MWh hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.9. Aylık elektrik gelirinin hesaplanması

Aylık Elektrik Üretimi (MW)		PTF (₺/MWh)		Aylık Elektrik Geliri
413,145 MWh	x	297,7 ₺/MWh	=	122 993 266,5 ₺
348,310 MWh	x	286,8 ₺/MWh	=	99 895 308 ₺
215,956 MWh	x	311,4 ₺/MWh	=	67 248 698,4 ₺
141,592 MWh	x	312,1 ₺/MWh	=	44 190 863,2 ₺
172,317 MWh	x	360,5 ₺/MWh	=	62 120 278,5 ₺
290,069 MWh	x	402,1 ₺/MWh	=	116 636 744,9 ₺
403,888 MWh	x	518,3 ₺/MWh	=	209 335 150,4 ₺
467,110 MWh	x	557,3 ₺/MWh	=	260 320 403 ₺
438,078 MWh	x	520,8 ₺/MWh	=	228 151 022,4₺
453,590 MWh	x	669,9 ₺/MWh	=	303 859 941 ₺
423,453 MWh	x	830,9 ₺/MWh	=	351 847 097,7 ₺
465,226 MWh	x	1004,1 ₺/MWh	=	467 133 426,6₺
Yıllık elektrik geliri 2 333 732 200,6 ₺				

Aylık elektrik üretim değerleri ve PTF çarpılarak aylık bazda üretilen elektrikten elde edilen gelir hesaplanılmıştır. Buna göre yıllık elektrik geliri;

=2 333 732 200,6 ₺ bulunmuştur.

Çizelge 5.10. Fiyat güncellemeleri

İletim sistemi kullanım ücreti	3,585	₺/MWh	TEİAŞ
Sistem işletim ücreti	1,4	₺/MWh	TEİAŞ
İletim kullanımı (tüketimi)	6,5	₺/MWh	TEİAŞ
Sistem işletim ücreti (tüketimi)	1,46	₺/MWh	TEİAŞ

İncelenen santralde yıl içinde planlanmış bakımların yanı sıra arıza vb. sebeplerden kaynaklı planlanmamış bakımlar mevcuttur.

İşletme bakım masrafı (yıllık)= 4 500 000 \$ ve 2021 yılı ortalama 1 USD=8,82566 ₺

4 500 000 USD x 8,82566 ₺ = 39 715 470 ₺'dir.

Yıllık 788 000 lt su tüketimi Hacılar beldesine ait belediye su şebekesinden karşılanmıştır. Santralde çalışan personel sayısı 89'tur. Çalışanların 9'u idari 80'i işçi personel statüsündedir. Bu durumda idari personelin yıllık toplam maaşı 820 000 ₺, işçi personelin yıllık toplam maaşı 4 800 000 ₺ bulunur. Toplam personel gideri ise 5 620 000 ₺'dir

Çizelge 5.11. Ortalama döviz kuru[31]

	2011	2021
Alış en düşük (USD)	1,496 ₺	6,91500 ₺
Alış en yüksek (USD)	1,907 ₺	17,4582 ₺
Satış en düşük (USD)	1,503 ₺	6,92750 ₺
Satış en yüksek(USD)	1,916 ₺	17,5149 ₺

Paranın değer kaybı göze alınmaksızın 2021 yılı üretim verileri ele alındığında şu sonuca ulaşılır(amortisman dikkate alınmamıştır);

İşletim sarf malzemeleri toplam maliyet=748 309,80 ₺

Toplam satın alınan gaz bedeli =2 026 006 685,3 ₺

İşletme bakım masrafı (yıllık)= 39 715 470 ₺

Toplam personel gideri =5 620 000 ₺

Toplam gider =2 072 090 465,1 ₺'dir.

Yıllık elektrik geliri
2 333 732 200,6 ₺

GELİR

2 333 732 200,6 ₺

GİDER

2 072 090 465,1 ₺

261 641 735,5 ₺

Yapılan incelemelerde paranın değer kaybı hesaplara dahil edilmeden genel bir analiz yapılmıştır. İşletim sarf malzemeleri toplam maliyet 748 309,80 ₺, toplam satın alınan gaz bedeli 2 026 006 685,3 ₺, işletme bakım masrafı (yıllık) 39 715 470 ₺, toplam personel gideri 5 620 000 ₺ bulunmuştur. Enerji kayıpları göz ardı edilmiştir. Toplam gider 2 072 090 465,1 ₺, yıllık elektrik geliri 2 333 732 200,6₺ olarak bulunmuştur. Bu durumda bir yılsonunda elde kalan para 261 641 735,5 ₺ olarak hesaplanılmıştır.

Son yıllarda döviz kurunda yaşanan fahiş değişimler nedeniyle incelenen santralde yatırım kararının alındığı 2011 yılı maksimum 1 \$=1,907 iken 2021 yılı itibariyle 1\$=17,4582 ulaşmıştır. Santral için gerekli malzeme, parça, bakım-onarımın neredeyse tamamı Dolar üzerinden fiyatlandırılması nedeniyle ekonomik sıkıntılar görülmeye başlanmıştır. Mevcut borçların Dolar üzerinden yapılırken, elektrik geliri Türk lirası olarak kazanılmaktadır. Yıl sonunda biriken nakit paranın santral yatırım bedelinden kaynaklı yıllık borçların tamamının ödenmesi ve ticari kâra geçilmesi için yetersiz kaldığı saptanmıştır. Enflasyon miktarına göre bir hesaplama yapıldığı takdirde nakit yaratamama durumu artacaktır. Santralin covid19 pandemi kısıtlamaları ve 2015 yılından itibaren yaşanan döviz kurundaki artışlardan ekonomik olarak etkilendiği, hammadde alış fiyatlarında ki fahiş artışlar nedeni ile nakit alışverişinde sıkıntılar yaşandığı ve nakit yaratamama durumu ortadadır. Bunun sonucu olarak borçlarda 7 ve 12 yıllık vadeli ödeme planları üzerinden bir kısmı Türk parası olacak şekilde yapılandırmaya gidilmiştir.

Doğalgaz ülkemizde yeteri miktarda bulunup, çıkarılamaması nedeniyle ithal olarak satın alınmaktadır. Bu nedenle mevcut kaynaklardan en doğru şekilde yararlanılması gerektiği için ekonomik analizler yapılması gerekmektedir. Türkiye de 197 adet doğalgaz gaz santrali kurulmuştur. Bunlardan İç Anadolu Kombine Çevrim Santrali verileri incelenmiştir. İç Anadolu DGKÇS, 840 MW kurulu güce sahip iki benzer üniteden oluşan ve tipik bir 2+1 (2 gaz türbini ve 1 buhar türbini) konfigürasyonundan oluşan, doğal gaz yakıtlı bir elektrik üretim tesisidir. Tesiste doğal gaz dışında elektrik üretmek için başka bir yakıt kullanılmamıştır. Santralin 15 °C, 0,9231 bar, %60 RH'de net verimi %57,82'dir. Santralden elde edilen net verimin diğer enerji santrallerine nazaran yüksek olması ve çok kısa bir zaman içerisinde işletmeye alınabilmesi nedeniyle avantajlıdır [27].

Santral verimi diğer elektrik üretim santrallerine göre yüksek olmasına rağmen %57,82 gibi bir verim yetersizdir. Kullanılan yakıttan maksimum verimi sağlamak için farklı

alternatifler ele alınarak santral verimi arttırılabilir. Mevcut iç Anadolu kombine çevrim santralının tasarımında değişiklikler yapılarak sistemin uygun görülen noktalarından ara buhar alınabilir. Elde edilen bu ısı gücünü sera ısıtması, endüstri, konut ısıtması gibi farklı alanlarda kullanarak verimin %90'ları görmesi sağlanabilir.

Ülkemizde giderek artış gösteren enerji problemi mevcuttur. Bunun nedeni enerji üretiminde kullanılan kaynakların çoğunluğunun ithal olmasıdır. Elektrik üretiminde birçok farklı kaynak kullanılmasına rağmen kısa vadede mevsimsel talep ve dalgalanmalar en kolay doğalgaz santralleri ile karşılanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar temiz bir enerji olmasına rağmen ülkemizde mevcut kurulu güçleri istenilen seviyede değildir. Bu nedenle ani talep değişikliklerini şuan için karşılayamamaktadır. Ancak 2005 yılında yürürlüğe giren YEK kanunu ile devlet teşviki verilerek yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilmesine yönelim sağlanmıştır. Her geçen gün yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ve mevcut kurulu güç artış göstermektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan nüfus ve teknolojinin beraberinde getirdiği enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle ülkemizde bulunan mevcut kaynaklardan en yüksek verimle en doğru şekilde yararlanılması önem kazanmıştır. Türkiye kullanılan elektriğin %26'sını doğalgazdan karşılamaktadır. Doğalgazı %99 oranda dışarıdan alan bir ülke için bu durum oldukça riskli ve maddi açıdan maliyetlidir. Ülkelerin kesintisiz enerji arzını sağlayabilmesi için kendi kendine yetebilmesi önemlidir. Elektrik üretiminde birincil kaynak olarak kullanılan doğalgazda yüksek oranda dışa bağımlı olduğu için siyasi veya farklı nedenlerle kesinti yaşanması olası bir durumdur. Bu nedenle enerjide önemli olan kesintisiz enerji arz ve güvenliği sağlanarak enerji çeşitliliğine gidilmesidir.

Bu çalışmada incelenen kombine çevrim santralinde yapılan analizler ile santralde kullanılan yıllık doğalgaz miktarı, doğalgaz gideri, üretilen toplam elektrik miktarı, elektrik satış tarifeleri, toplam elektrik geliri ve işletme bakım masrafları üzerinde durularak genel bir değerlendirilme yapılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda geçmiş yıllarda kombine çevrim santrallerinin diğer fosil yakıtlı santrallere göre ilk yatırım maliyetinin düşük olması, kolay kurulması, yüksek verim elde edilmesi ve çevresel olması gibi avantajları göz önüne alınarak ilk sırada tercih edildiği ancak günümüzde doğalgaz fiyatlarının petrol fiyatlarına endeksli olması nedeniyle yaşanan kur artışlarından ciddi anlamda etkilendiği göz önüne serilmiştir. 2021 yılının son çeyreğinde yaşanan ekonomik kriz ile döviz kurlarında anormal değişiklikler meydana gelmiştir. Bu durum sonucunda santralden elde edilen gelirlerin Türk lirası olmasına karşılık mevcut borçların dolar ve Euro cinsinden olması elektrik üretim santrallerini maddi açıdan zorlamıştır. Çizelge 5.6.'da verilen BOTAŞ doğalgaz tarifesinde ocak ayında 1,414000 ₺/sm³'den doğalgaz alınırken Aralık ayında yayınlanan kamuoyu duyurusu ile bu fiyatın 4,800000 ₺/sm³ olacağı duyurulmuştur. Sadece bir yıla ait veriler olmasına rağmen doğalgazın alış fiyatında sene içerisinde yaklaşık 3,5 kat arttığı görülmektedir.

Santral lisansının alındığı 16 Mart 2011 tarihinde 1\$=1,5762 ₺ iken 20 Aralık 2021 de 1\$=18,3523 ₺'dir. Yaşanan bu durum Türk parasının, dolar karşısında hızla değer kaybettiğinin bir göstergesidir. Bu sebeple elektrik işletmecileri mevcut dolar üzerinden borçları ödemekte zorlanmakta bilhassa mevcut borçlarda yapılandırma yoluna gitmektedir.

Doğalgaz, spot piyasadan sıvılaştırılmış olarak (LNG) ve uzun vadeli kontratlar ile boru hattı-LNG şeklinde ithal olarak alınmaktadır. 1990'lı yıllarda imzalanan uzun vadeli antlaşmalardan bir kısmının hala süresinin bitmediği bilinmektedir. Doğalgaz fiyatları petrol fiyatına endekslidir. Alımlarda petrol ürünlerinin de yer aldığı bir formül kullanılır. Bu nedenle küresel petrol fiyatları arttıkça ödenen bedelde artmakta ve uzun vadeli kontratlar spot piyasadaki düşüşlerden daha az yararlanmamıza neden olmaktadır.

Enerji-finans sektöründe yurt içi ve yurt dışı dalgalanmalara bağlı olarak nakit akışında sıkıntılar yaşandığı için doğalgaz kombine çevrim santrallerinde geri ödeme sürelerinde artış olabileceği öngörülmektedir. Bu durum maddi açıdan avantajlı konumda olan doğalgaz kombine çevrim santrallerinin eski yıllara nazaran önem kaybetmesine yol açmış ve yenilenebilir kaynaklara yönelimde artış sağlamıştır.

Meteorolojik etkilerin santral veriminin artıp azalmasında etkisi bulunmaktadır. Yaz aylarında sıcaklık değerlerinin artmasına bağlı olarak ilk aşamada gaz türbinine giren havanın kütleli akış hızındaki azalma sonucunda ünitelerdeki enerji-ekserji akış miktarları azalmasından kaynaklı santral net gücünde azalmalar meydana gelir. Çevre sıcaklığının santral performansını azalttığı için gerekli tedbirler alınması gerekmektedir.

Mevcut verimin artırılmasında en kolay yol türbin giriş sıcaklığının arttırmaktır. Ancak sıcaklık artışına kanatlar dayanmamaktadır. Bu nedenle mevcut sistemlerde kanatların dayanabileceği giriş sıcaklığına göre max. sıcaklık sınırı belirlenmektedir. Son zamanlarda kanatların seramik ile kaplanması ve kanatların kompresörden alınan hava ile soğutulması gibi işlemlerle türbin giriş sıcaklığı arttırılabilmektedir. İleriki çalışmalarda rejeneratörlü, ara ısıtmalı, ara soğutmalı gaz çevrimi uygulamaları üzerinde çalışmalar yapılmalıdır.

Kombine çevrim santralleri diğer elektrik üretim santrallerine nazaran daha yüksek verim elde edilmesini sağlamış olsa bile verimin %60 civarında olması yetersiz ve %40'lık bir kayıp söz konusudur. Bu nedenle mevcut santralden en iyi, en yüksek verim sağlanabilmesi açısından farklı tasarım ve teknolojiler kullanılabilir. Örneğin kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojileri mevcut santrallere uygulanabilir.

İncelenen İç Anadolu kombine çevrim santralinin tasarımında değişiklikler yapılarak sistemden ara buhar alınabilir. Bu sayede sadece elektrik üretimi değil başka amaçlarla da

yararlanılarak tesisten elde edilen verim %90'lara çıkabilir. Kojenerasyon uygulaması ile gaz türbininden çıkan egzoz gazları atık ısı kazanında kızgın buhar haline gelirken sistemden alınacak ara buhar ile egzoz gazından ısı elde edilebilir. Sistemden gaz türbini aracılığı ile elektrik üretilir çıkan egzoz gazının ısısı ile hem sıcak su hem kızgın buhar elde edilmesi sağlanabilir. Trijenerasyon uygulamasında ise kojenerasyon uygulamasından farklı olarak soğutma sistemi dahil edilerek kojenerasyon uygulamasında ısı ve elektrik üretilirken trijenerasyon uygulaması ile elektrik, ısı ve soğutma şeklinde yarar sağlanabilir.

İç Anadolu Kombine Çevrim Santrali konum olarak Hacılar beldesine yakın olması ve sanayi bölgesi içerisinde yer aldığı göz önünde bulundurulduğunda sanayi proseslerinde, yakınlarda bulunan lojman konut ve seracılık gibi farklı alanlarda bölgesel ısıtma ve soğutmada fayda sağlanabilir. Kışın ısı ihtiyacı için yazın ise soğutma yapılabilir. Böylece santralde kullanılan yakıttan en yüksek verimle fayda sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Keskinel, F. (2006). Türkiye’de Elektrik Üretimi Ve Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri. *İst. B.*,(87), 19.
- [2] Çiloğlu, S. (2019). Eüaş Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralının Enerji Ve Ekserji Analizi (*Doctoral dissertation, İTÜ Enerji Enstitüsü*).
- [3] Binay, E. (2009). Mevcut Bir Termik Santralin Kombine Çevrim Santraline Dönüştürülmesi, Analizi (*Master's Thesis, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [4] Karakaş, K. (2002). Doğalgaz İle Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Ekonomik Analizi (*Master's Thesis, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [5] Günaslan, M. (2016) Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri Ve Türkiye Elektrik Üretimindeki Yeri (*Master's Thesis, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [6] Türkiye Elektrik İletim A.Ş./TEİAŞ “Sektör Raporları” Son Erişim Tarihi: 22.12.2021 (www.teias.gov.tr/)
- [7] Elektrik Mühendisleri Odası/EMO, Son Erişim Tarihi: 12.10.2021 (www.emo.org.tr/)
- [8] Tekel, E. (2006). Termik Santrallerin Enerji Ve Ekserji Analizi (*Master's Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [9] Milli Eğitim Bakanlığı “MTAO/ Enerji Uretimi İletimi ve Dagitimi” Son Erişim Tarihi:28.12.2021(hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1EnerjiUretimiIletimiVeDagitimi/unite3.pdf)
- [10] TMMOB Çevre Mühendisleri Odası “Gaz Çevrim Santrali” Son Erişim Tarihi:26:10.2021 (www.tmmob.org.tr)
- [11] Elektrik Üretim Anonim Şirketi/EUAŞ, Son Erişim Tarihi: 27:12.2021 (www.euas.gov.tr/)
- [12] Gülsoy, A. (2018). Nükleer santrallere yönelik halkın tutum ve davranışları: Sinop ve Akkuyu nükleer santralleri örneği (*Master's thesis, Gümüşhane Üniversitesi*).
- [13] Resim=TGRT“NükleerSantraller” Son Erişim Tarihi:18.12.2021 (www.tgrthaber.com.tr/teknoloji/nukleer-santral-nasil-calisir-nukleer-santral-nedir-234593)
- [14] t24 “Özgür Duygu Durgun nükleer enerji ile imtihan” Son Erişim Tarihi:23.12.2021 (t24.com.tr/yazarlar/ozgur-duygu-durgun/nukleer-alaturka-turkiyenin-nukleer-ile-imtihani,14396)
- [15] Elektrik Üretim Anonim Şirketi/EUAŞ “Doğalgaz Santralleri” Son Erişim Tarihi:09.08.2021 (<https://www.euas.gov.tr/tr-TR/santraller/kategori/dogalgaz-santralleri>)

- [16] Enerji Atlası “Akkuyu Nükleer Santrali” Son Erişim Tarihi:19.11.2021 (www.enerjiatlası.com/nukleer/akkuyu-nukleer-santrali.html)
- [17] T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Son Erişim Tarihi: 11.09.2021 (www.enerji.gov.tr)
- [18] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü/MTA “Hizmetler” Son Erişim Tarihi:09.10.2021 (www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita)
- [19] Hekim, M. (2021). Jeotermal Santrallerde Atık Isıdan Termoelektrik Etki İle Enerji Geri Kazanımının İncelenmesi. (*Doctoral thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*)
- [20] Sreega, R., Nithiyananthan, K., Balavelayutham, N. (2017). Design and Development of Automated Solar Panel Cleaner and Cooler
- [21] Girgin, M. H. (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mwlık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi (*Master's thesis, İTÜ Enerji Enstitüsü*).
- [22] Dünya Enerji Tüketiminin Tarihsel Gelişimi Son Erişim Tarihi:11.10.2021 (docplayer.biz.tr/4452919-1-ggrgg-gekil-dunya-enerji-tuketiminin-tarihsel-geligimi.html)
- [23] TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu (*International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM 3-6 Ekim 2018 /3-6 October 2018, Ankara*)
- [24] İç Anadolu Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali Kapasite Artırımı Projesi “Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu” Son Erişim Tarihi:05.04.2021
- [25] Gama Enerji Son Erişim Tarihi:12.02.2021 (icanadolu.gama.com.tr/)
- [26] Enerji Atlası “İç Anadolu Kombine Çevrim Santrali” Son Erişim Tarihi:07.09.2021 (www.enerjiatlası.com/dogalgaz/ic-anadolu-dogalgaz-santrali.html)
- [27] Gama Enerji “Haziran 2012 ÇED” Son Erişim Tarihi:14.01.2021
- [28] Resim=Gaz türbini Erişim:21.07.2021 (images.vertmarkets.com)
- [29] Kadir, K. A. Y. A., & Erdem, K. O. Ç. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi (*Mühendis ve Makina*, 56(660), 61-68.).
- [30] ERDEM, H. H. (2004). Capacity Optimization of the Electrical Energy Production Systems (*Sigma*, 3.).
- [31] Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (www.tcmb.gov.tr)

A

Abstract, 4, 6
 Acc, 6, 8, 10, 40, 45, 53
 Acwa, 35, 38
 Akkuyu, 26, 67
 Alt Çevrim, 37
 Araştırma, 7, 52
 Arz, 22, 59, 64
 Asfaltit, 19
 Atık Buhar, 40, 43

B

Bağımlı, 14, 16, 17, 18, 34, 64
 Bakım, 13, 29, 52, 53, 54, 61, 62,
 Basınç, 10, 23, 25, 40, 43, 49
 Birincil Enerji, 18
 Biyogaz, 15
 Biyokütle, 14, 15
 Botaş, 39
 Buhar, 12, 16, 23, 24, 25, 37, 39,
 40, 43, 44, 45, 53, 62, 63, 65
 Buhar Türbini, 6, 44
 Bulgular, 7, 52
 Byty, 10, 46, 47, 48

C

Co, 3, 4, 47, 49
 Covid19, 62
 Cycle-Tempo, 16

Ç

Çernobil, 24, 26
 Çizelge, 8, 14, 15, 19, 24, 26, 31,
 34, 35, 36, 39, 42, 43, 44, 45,
 47, 48, 52, 53, 56, 57, 58, 59,
 60, 61, 64

D

Dalga, 14
 Danışman, 1, 3
 Demineralize, 46
 DGKÇS, 10, 24, 47, 50, 51, 62
 Doğalgaz, 3, 12, 13, 14, 15, 16,
 19, 21, 22, 23, 24, 33, 34, 37,
 38, 39, 40, 41, 42, 46, 47, 49,
 52, 56, 62, 63, 64, 65
 Dolar, 64
 Döviz, 8, 61

E

Egzoz, 24, 39, 43, 44, 66
 Ekipmanlar, 6, 46
 Ekonomik, 3, 12, 13, 14, 16, 17,
 20, 24, 34, 37, 52, 54, 55, 62,
 64
 Ekserji, 15, 16, 65
 Elektrik, 3, 12, 13, 15, 16, 17, 18,
 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28,
 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38,
 39, 40, 41, 44, 45, 54, 55, 56,
 59, 60, 62, 64, 65
 Elektrik Enerjisi, 1, 3, 6, 17
 Elektrik Üretim, 8, 11, 36, 37, 60,
 67
 Emisyon, 12, 46, 47, 49, 51
 Enerji, 3, 8, 12, 13, 14, 15, 16,
 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 27,
 29, 32, 33, 34, 35, 38, 44, 53,
 55, 56, 63, 64, 65, 67, 68
 Enflasyon, 62
 Epiş, 11, 59
 Evaporatif Soğutma, 46

F

Fiyat, 56, 59
 Fotovoltaik, 30

G

Gama, 35, 37, 38, 68
 Gaz, 12, 14, 16, 22, 24, 34, 37,
 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46,
 47, 49, 51, 53, 59, 61, 62, 65,
 66
 Gaz Türbini, 6, 7, 41, 47, 68
 Ge Enerji, 37
 Geri Dönüşüm, 37, 40
 Güç, 12, 14, 15, 16, 26, 32, 37,
 38, 55, 63
 Güneş, 6, 9, 11, 14, 15, 29, 30, 68

H

Hacılar, 5, 37, 50, 61, 66
 Hareket, 17, 22, 23, 30
 Hat, 39
 HES, 6, 30, 31
 Hidrojen, 14
 Hidrolik, 14

I

Isı, 6, 22, 23, 25, 29, 37, 39, 40,
 41, 43, 44, 63, 66
 Isıl Denge, 16

İ

İç Anadolu, 9, 35, 37, 38, 40, 41,
 42, 47, 50, 51, 52, 62, 65, 66,
 68
 İç Anadolu Doğalgaz, 9, 35, 37,
 38
 İğneada, 26
 İnorganik, 15
 İthal, 12, 17, 21, 34, 62, 63, 65

J

Jeneratör, 22, 23, 24, 25, 28, 30,
 39, 40, 44, 53
 Jeotermal, 6, 9, 11, 14, 15, 27, 28,
 29, 68

K

Kaynak, 2, 21, 32, 34, 63, 64
 Kaynaklar, 7, 67
 Kç, 37
 Kırgaz, 39
 Kırıkkale, 37
 Kızgın Buhar, 39, 66
 Kızılırmak, 45
 Kojenerasyon, 65, 66
 Kombine, 3, 12, 13, 15, 16, 37,
 38, 39, 40, 41, 42, 52, 56, 63,
 64, 65
 Kombine Çevrim, 6, 9, 10, 11,
 13, 15, 16, 35, 36, 37, 38, 52,
 62, 66, 67, 68
 Kompresör, 39, 41
 Kondanser, 23
 Korozyon, 57
 Kömür, 14, 15, 19, 33, 34, 37
 Kurulu Güç, 38

L

Linyit, 19, 22, 23, 24
 LPG, 14, 15

M

Maliyet, 3, 16, 32, 34, 40, 45, 58,
 61, 62
 Malzeme, 54, 62

Materyal, 6, 37
 Mavi Akım, 38, 39
 Mazot, 14, 15
 Mekanik, 22, 23, 30, 37, 39, 41,
 44, 45
 Mekanik Enerji, 22
 Metan Gazı, 15
 Metot, 6, 37
 Motorin, 14, 19, 22, 37

N

Nox, 7, 40, 42, 47, 48, 49
 Nüfus, 12, 17, 21, 22, 26, 64
 Nükleer, 8, 9, 14, 15, 24, 25, 26,
 67

O

Organik, 15

Ö

Öneriler, 7, 64
 Özet, 3, 6

P

Panel, 68
 Partikül Madde, 7, 49
 Personel, 53, 61, 62
 Petrol, 14, 19, 24, 64, 65
 Proje Bedeli, 15, 53
 PTF, 8, 11, 59, 60

R

Radyoaktif, 24
 Reaktör, 26
 Rüzgâr, 21, 24, 32, 33
 Rüzgâr, 6, 11, 14, 15, 32, 33

S

Santral, 19
 Sarf Malzemeler, 57
 Sıcaklık, 10, 23, 65
 Soğutma Suyu, 23, 57
 Sondaj, 28
 Sonuç, 7, 64

Ş

Şekil, 9, 18, 20, 21, 22, 23, 25,
 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33,
 37, 38, 39, 40, 41

T

Taşkömür, 19
 Teiaş, 11, 19, 21, 61, 67
 Teknik Özellikler, 42, 43, 44, 45
 Teknoloji, 20, 21, 29, 48, 67
 Termal, 29, 30, 48
 Termik, 5, 6, 8, 9, 16, 22, 23, 24,
 26, 35, 36, 47, 55, 67
 Tesis, 6, 39, 46, 50, 53
 Teşekkür, 5, 6
 Tez, 1, 2
 Toryum, 14

Trijenerasyon, 65, 66
 Tüketimi, 3, 12, 20, 33, 55, 56,
 61
 Türbin, 23, 30, 32, 39, 41, 65
 Türkiye, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15,
 16, 17, 18, 19, 20, 24, 26, 28,
 31, 32, 33, 34, 38, 62, 64, 67,
 68

U

Uranyum, 14, 25

Ü

Üretim, 3, 12, 15, 20, 24, 33, 37,
 40, 44, 49, 54, 55, 57, 59, 60,
 61, 62, 64, 65
 Üst Çevrim, 37

Y

Yakıt, 3, 12, 13, 22, 23, 24, 25,
 27, 29, 32, 37, 38, 41, 42, 46,
 49, 54, 55, 56, 62
 Yanma, 23, 39, 41, 42, 48, 49
 Yatırım, 12, 13, 29, 38, 52, 53,
 54, 62, 64
 Yek, 29
 Yenilenebilir, 11, 14, 27, 29, 33,
 63
 Yenilenemez, 14



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

