
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KOMBİNE TÜRBİN-BUHAR SİSTEMLERİNDE OPTİMUM GÜÇ MODELLEMESİ

Sadegh ZEİNALZADEH VARGAHAN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Sadegh ZEINALADEH VARGAHA

10/06/2021

KOMBİNE TÜRBİN-BUHAR SİSTEMLERİNDE OPTİMUM GÜÇ MODELLEMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sadegh ZEINALZADEH VARGAHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Global enerji krizi, üretim, iletim, dağıtım sistem kayıpları ve artan enerji tüketimi yerel üretime (perakende) geçmek için gerekli ve uygun teşviklerin artmasına neden olmuştur. Yerel üretimin daha verimli olması için kombine türbin-buhar optimum güç sistemlerin kullanılması her geçen gün daha çok önerilmektedir. Bu tez çalışmasında CCHP sistemleri kullanılan yerel üretimin önemi ele alınmıştır. CCHP sistemlerinin irdelenerek araştırılması ve seçimi için, farklı CCHP sistem türleri analiz edilmiştir. Ana çevrim ve aktüatör tipi, ısı ve güç talebi miktarına bağlı seçim kısıtlamaları, uygulama türlerin açısından incelenmiştir. Çalışmada kombine türbin-buhar optimum güç sistemlerindeki teknolojik gelişmeler incelenerek, büyük güçlü enerji santrallerinin ülke çapında iletim ve dağıtım ağlarına entegrasyonu ve bakımından kaynaklanan sorunların irdelenmiştir. Enerji kayıplarının, çevre sorunlarının azaltılması, pasif savunma ve sistem sermayesinin hızla geri dönüşü gibi faydalar, matematiksel ve simülasyonlarla ispatlanarak ileriye dönük önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu	:	90513
Anahtar Kelimeler	:	Birleşik ısı ve güç, Kojenerasyon, buhar türbinleri, Doğalgaz, Jeneratör, Optimum güç modellemesi
Sayfa Adedi	:	95
Danışman	:	Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

OPTIMUM POWER MODELING IN COMBINED TURBINE-STEAM SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Sadegh ZEİNALZADEH VARGAHAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

The global energy crisis, generation, transmission, distribution system losses and increased energy consumption have led to increased necessary and appropriate incentives to switch to local production (retail).It is recommended more and more to use combined turbine-steam optimum power systems to make local production more efficient. In this thesis, the importance of local production using CCHP systems is discussed. Different CCHP system types are analyzed for the investigation and selection of CCHP systems. The main cycle and actuator type, selection constraints depending on the amount of heat and power demand, are examined in terms of application types. In the study, technological developments in combined turbine-steam optimum power systems were examined, and the problems arising from the integration and maintenance of large-powered power plants into transmission and distribution networks across the country were examined. Benefits such as reduction of energy losses, environmental problems, passive defense and rapid return of system capital have been proven by mathematical and simulations and forward-looking suggestions have been made.

Science Code	:	90513
Key Words	:	Combined heat and power, Cogeneration, Steam turbines, Natural gas, Generator, Optimal power modelling
Page Number	:	95
Supervisor	:	Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunu belirleme, çalışma, yazma ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasında yapmış olduğu büyük bilimsel katkılarından dolayı ve ayrıca eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım ve hocam Sayın Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca bu çalışmada örnek fabrikanın üzerinde araştırma sırasında tüm verilere erişimimi sağlayan Enerji Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden Sayın Emrah TOPCU ve Tres Enerji Müdürü Sayın Mustafa TURAN'a saygılarımı sunup teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. CCHP SISTEMLERİN BİLEŞENLERİ 5

2.1. Yakıt 5

2.2. Ana Taşıyıcılar 5

2.2.1. Buhar türbinleri 7

2.2.2. Kombine çevrim üretim sistemleri 12

2.2.3. Gaz türbinleri 14

2.2.4. Pistonlu içten yanmalı motorlar CCHP sistemleri 17

2.2.5. Yakıt hücreleri 22

2.3. Elektrikli ekipman 24

2.3.1. Jeneratör 24

2.3.2. Transformatör 28

2.3.3. Koruma Sistemleri 30

2.3.4. Düzenleme Sistemleri 32

2.4. Aşırı Isı Temini için Ekipman 36

2.4.1. Kazan 36

Sayfa

2.4.2. Isı pompalar 37

2.5. CCHP Sistemlerinin Verimliliği 40

2.6. CCHP Sistemlerinin Çevresel Yönleri 42

3. CCHP SİSTEMLERİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ 45

3.1. Tez Çalışmasının Hedefinin Tanımlaması 47

3.2. Maliyet ve Faydaların Tahmini 47

3.3. Yatırım Kararı Kriterleri 48

3.3.1. Şimdiki net değeri 48

3.3.2. Yatırımın geri dönüşü oranı 52

3.3.3. Geri ödeme süresi 53

3.3.4. İç karlılık oranı 54

3.3.5. Fayda-maliyet oranı yöntemi 56

3.3.6. Maliyet etkinliği analiz yöntemi 56

3.3.7. Eşik analizi yöntemi 57

4. BİR FABRİKA İÇİN CCHP UYGULAMASININ SONUÇLARI 59

4.1. Fabrika Yükleri 59

4.1.1. Fabrika enerji gereksinimi 61

4.2. Tedarik Sistemleri 69

4.2.1. En uygun ana taşıyıcılar ve yakıt tipinin belirlenmesi 69

4.2.2. CCHP sisteminin verimliliğini hesaplaması ve konvansiyonel sistemle karşılaştırılması 71

4.2.3. Yakıt analizi 74

4.2.4. Örnek alınan fabrikanın ekonomik analizi 75

4.2.5. Gürültü kirliliği 85

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 87

Sayfa

KAYNAKLAR 89

ÖZGEÇMİŞ 95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. CCHP sistemleri çeşitleri ve özellikleri 6

Çizelge 2.2. CCHP sistemlerin ölçülebilir verimlilikleri 42

Çizelge 3.1. Yatırım hesaplama çizelgesi 49

Çizelge 3.2. Örnek çalışmanın finansman kaynakları 50

Çizelge 3.3. Finansman özet çizelgesi 50

Çizelge 3.4. Toplam NPV hesaplama özeti 51

Çizelge 3.5. (devam)Toplam NPV hesaplama özeti 52

Çizelge 4.1. Yıl boyunca fabrika elektrik tüketimi miktarı [kWh] 63

Çizelge 4.2. GPH değeri ile talep katsayısının belirlenmesi 66

Çizelge 4.3. GPM değerini belirlenmesi için sıhhi cihazlar ait tüketim miktarı 67

Çizelge 4.4. Örnek fabrikanın aylık termal yük talebi (kWh) 68

Çizelge 4.5. Jeneratörlerin farklı durumlarda uygun kullanımlarını belirleme çizelgesi 71

Çizelge 4.6. CCHP sistemlerinde kullanılan jeneratörün T/P oranı 71

Çizelge 4.7. Convert yakıt tüketimi 75

Çizelge 4.8. Örnek fabrikanın aylık ve saatlik elektrik tüketim miktarı 77

Çizelge 4.9. Örnek seçilen fabrikanın motor seçim çizelgesi 78

Çizelge 4.10. Örnek seçilen fabrikanın gaz tüketim çizelgesi 79

Çizelge 4.11. Örnek fabrikanın aylık sıcak su ve soğutma miktarı kW cinsinden 80

Çizelge 4.12. Örnek tesisin toplam yatırım maliyeti € cinsinden 81

Çizelge 4.13. Toplam bakım maliyeti € cinsinden 82

Çizelge 4.14. Toplam doğalgaz maliyeti 82

Çizelge 4.15. (devam) Toplam doğalgaz maliyeti 83

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.16. Toplam enerji üretim 84

Çizelge 4.17. Toplam enerji bedeli 84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. CCHP ünitesinin geleneksel tip enerji sistemleri ile karşılaştırılması..... 2

Şekil 2.1. Geri basınçlı buhar türbini sistemleri 8

Şekil 2.2. Geri basınçlı buhar türbini sistemleri 8

Şekil 2.3. Yoğuşmalı buhar türbini sistemleri 9

Şekil 2.4. Dip döngüsü buhar türbini sistemleri 10

Şekil 2.5. Dip ranking döngüsü sistemleri..... 11

Şekil 2.6. Pistonlu içten yanmalı motor açık şeması 20

Şekil 2.7. Pistonlu içten yanmalı motor kapalı şeması 20

Şekil 2.8. Sterling döngüsü için basınç-hacim diyagramı..... 21

Şekil 2.9. Hidrojen yakıt hücreleri..... 24

Şekil 2.10. Senkron jeneratörlerde 3 fazlı gerilim üretimi prensip şekli 26

Şekil 2.11. Asenkron jeneratörleri 28

Şekil 2.12. Tek fazlı transformatör 29

Şekil 2.13. Üç fazlı transformatör..... 29

Şekil 2.14. Sıkıştırma sistemine sahip ısı pompası..... 38

Şekil 2.15. Emilim sistemi ile ısı pompası..... 40

Şekil 2.16. CCHP sistemlerinin verimliliği 41

Şekil 4.1. Belli başlı ülkelerde kademeli CHP kapasiteleri (MWe) 60

Şekil 4.2. Saatlik elektrik talebi..... 62

Şekil 4.3. Aylık enerji ihtiyacının sayısal değerleri..... 62

Şekil 4.4. RET Screen Expert uygulamasında ısıtma ihtiyacının hesaplama alanı 65

Şekil 4.5. RET Screen Expert uygulamasında Soğutma ihtiyacının hesaplama alanı 65

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.6. Aylık termal yük talebi kW cinsinden 68

Şekil 4.7. Doğrudan ateşlendirme sisteminin blok şeması 69

Şekil 4.8. Dolaylı ateşlendirme sisteminin blok şeması 70

Şekil 4.9. RET Screen Expert uygulama ile yapılan verimlilik analizi 72

Şekil 4.10. RET Screen Expert uygulama ile yapılan sistem seçimi 72

Şekil 4.11. CHP sistemin Thermoflow üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları 73

Şekil 4.12. Thermoflow uygulaması üzerinde yapılan verimlilik analizi 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
m^3	Açıklamalar bir satırdan uzun olmamalıdır
db	Desibel
^OC	Santigrat
m^2	Metrekare

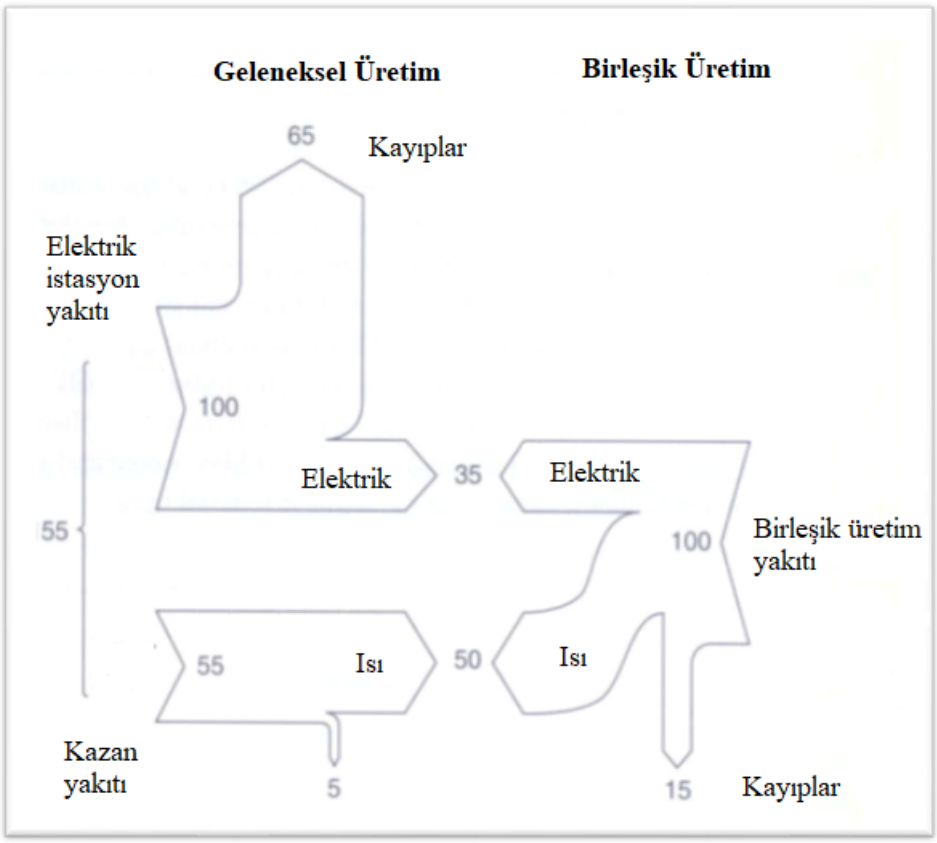
Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AC	Hava kompresörü
AFC	Alkali Yakıt Hücresi
AVR	Otomatik Voltaj Regülatörü
BCR	Fayda-Maliyet Oranı
CA	Maliyet Analizi
CC	Yanma Odası
CO	Karbon Monoksit
CO_2	Karbon Dioksit
CT	Akım Trafosu
C**BA**	Maliyet Fayda Analizi
CEA	Maliyet Etkinliği Analizi
CHP	Isı ve Güç Karması
CUA	Kullanım Maliyet Analizi
CCHP	Kombine Soğutma, Isı Ve Güç
C.F.P.U.	Birleşik Güç Akış Kontrolörü
DMFC	Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi
EPA	Çevre Koruma Kurumu
FUE	Yakıt Kullanım Etkinliği
G	Jeneratör

Kısaltmalar	Açıklamalar
GT	Gaz Türbini
H-Serisi	Yüksek Verimli Gaz Türbini
HC	Yanmamış Hidrokarbonlar
HRB	Isı Geri Kazanım Kazanı
HRSG	Isı Geri Kazanımlı Buhar Jeneratörü
IC	İçten Yanma
IRR	İç Karlılık Oranı
kWe	kilo Watt-Elektrik
MWe	Mega Watt-Elektrik
MCFC	Metanol Yakıt Hücresi
NOX	Nitrojen Oksit
NPV	Net Bugünkü Değer
OSG	Yerinde Üretim
PT	Potansiyel Trafo
PBP	Geri Ödeme Periyodu
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
PAFC	Fosforik Asit Yakıt Hücresi
ROI	Yatırım Getirisi
R.P.M.	Dakika Başına Devir
SO_2	Kükürt Dioksit
SRC	Buhar Ranking Döngüsü
SOFC	Katı Oksit Yakıt Hücresi
UHC	Evrensel Sağlık Sigortası

1. GİRİŞ

Genel olarak, endüstriyel birimler, ticari binalar ve konutlar için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi, kurulu olan büyük enerji santralleri tarafından sağlanırken, tüm termal güç aynı sahada (elektrik santrali sahası) üretilir. Günümüzde uzun zamandır ilgi odağı olan diğer bir uygulamada da CCHP sistemleridir. CCHP sistemlerinde sadece elektrik enerji üretimi değil aynı zamanda buhar, ısı, sıcak su veya soğutma gibi, diğer uygulamaların da üretimi sağlanmaktadır. Bu uygulama yalnız buhar santralleriyle sınırlı kalmayıp, yıllar içinde ve özellikle son yıllarda, yüksek enerji verimliliğine sahip olan CCHP teknolojisi, diğer güç jeneratörlerine (mekanik veya elektrik) de adapte edilmiştir. Diğer bir deyişle, herhangi bir boyut ve işlevselliğe sahip güç üreten bir sistem, aynı zamanda CCHP sistemi olarak da tasarlanabilir. Böylece, cihaz tarafından elektrik veya mekanik güç üretmenin yanı sıra, kullanılabilir termal enerji olarak bir ısı yayan jeneratör veya motor elde etmek de mümkündür. CCHP kullanımı, sıcak ve soğuk su veya düşük basınçlı buhar üretimi ile sınırlı değildir. Büyük boyutlu olanlar, tahrikli çalışma soğutucu kompresörlerine, endüstriyel buzdolaplarına veya basınçlı havaya ve doğrudan ısıdan doğrudan ortam sıcaklığına kadar, Absorpsiyon ve ısı soğutucuları, kurutucular gibi endüstriyel prosesler için kullanılır.

CCHP yakıt tüketiminde de yüksek verime sahiptir. Böylece bir santralin ortalama verimliliği yaklaşık %35 kazanın ortalama verimliliği ise %80 artmaktadır. Bu ürünlerin her ikisinin de üretildiği bir CCHP sisteminde ise %85 ise fazla verimlilik elde edilir. Diğer bir değişle, elektriksel verimliliği yaklaşık yüzde 30-35 ve termal verimliliği ise (termal verimlilik, tüketilen yakıt tarafından üretilen enerjidir) yüzde 50-55'dir.



Şekil 1.1. CCHP ünitesinin geleneksel tip enerji sistemleri ile karşılaştırılması

CCHP sistemleri, geleneksel elektrik jeneratörlerinden veya benzer ısı üretim sistemlerinden yaklaşık %35 daha az yakıt tüketir. Yakıt tüketimindeki azalma, yakıt tüketimini azaltır. Yakıt tasarrufu, fosil yakıtların daha az kullanılması çevre kirliliğini de azaltan önemli bir etkidir. CCHP sistemleri sadece NOX, CO2, CO ve UHC gibi kirleticilerin salınmasını engellemekle kalmaz, aynı zamanda yakıt üretimini de yaklaşık yüzde 35 oranında azaltır.

Isı ve güç gerektiren birimlerde bir CCHP sistemi oluşturmak önemlidir. Sıcaklık ve basınç açısından gerekli olan termal enerjinin kalitesi CCHP sisteminin tipini belirlemedeki ilk kriterdir. Ayrıca, yük modelleri, elektrik ve ısı talebi, yakıt mevcudiyeti, sistem güvenilirliği, sermaye getirisi ve çevre yasaları gibi faktörler, CCHP sisteminin tipi ve büyüklüğünü seçmede etkilidir. Tekstil, gıda maddeleri, cam, çelik, çimento, petrokimya, rafineriler, tuzdan arındırma, ilaç, kâğıt ve ahşap gibi sektörler CCHP sistemlerinin kullanılma potansiyelin, artırmaktadır. Klima ve sıcak su gerektiren ofis, ticari ve konut komplekslerinde de sıkça kullanılmaktadır. Enerji tüketim sistemi aşağıdaki özelliklere sahipse, önemli maliyet tasarrufları sağlanacak ve CCHP sistemi ekonomik etki sağlayacaktır.

- Elektrik enerjisi ihtiyacı olduğu durumlarda,
- Elektrik enerjisine yakın termal enerji kullanımı gerektiğinde,
- Termal ve elektrik enerjisinin kararlı olması durumunda,
- Uzun çalışma süresi durumlarında,
- Şebekenin elektrik fiyatı yakıttan daha yüksek veya ağa erişim olmadığı durumunda.

CCHP Sistemlerini Kullanmanın Avantajları

- Enerji verimliliğinin artırılması,
- Tüketiciye birincil enerji sağlama maliyetini azaltılması,
- Çok daha yüksek kalitede elektrik sağlaması,
- Güvenilir ve esnek ısı temini,
- Çevresel kirleticilerin azaltılması.
- Düşük bakım maliyetleri,
- Şebekeye ek elektrik satma imkânı,
- Gün boyunca fazla ısı gerektiren imalat sanayi, hastaneler, büyük binalar ve ofisler, arazi vb. tüketiciler maliyetlerini azaltmak için CCHP sistemin uygun şekilde kullanabilirler.

2. CCHP SİSTEMLERİN BİLEŞENLERİ

2.1. Yakıt

Bu bölümde CCHP sisteminde kullanılan yakıtları kapsayan genel bir bilgi sunulmaktadır. CCHP sistemlerinde yakıt seçimi sistemde önemli etkiye sahiptir. Diğer bir değişle yakıt seçimi ile yakıt maliyetin kontrol edilebilmektedir. Ancak, piyasada enerji fiyatların dalgalanması, ekonomik analizleri zorlamaktadır. Çevresel etkileri azaltmak için doğalgaz ve biokütle gibi daha az kirletici yakıtları kullanmak mümkündür.. Diğer yakıtlar gibi doğal gaz da yer altı ve fosil kaynaklardan gelir, ancak yandıktan sonra karbon dioksit ve kükürt dioksit üretmez. Ayrıca diğer yakıtlara göre emisyonlarının yaklaşık yüzde 50 daha düşük olduğu literatürde belirtilmektedir [1].

Yakıtları iki gruba ayırmak mümkündür. Birinci grup fosil yakıtları, ikici grup ise biokütle yakıtlardır. Fosil yakıtlar, kömür, petrol, doğalgaz, nükleer vb. gibi yakıtlar içerir [2]. Fosil yakıtların oluşumu için milyonlarca yıl geçmesi gerekir. Bu yakıt gömülü ölü organizmalardan elde edilen doğal işlemlerdir. Fosil enerji kaynaklarından özellikle doğalgazın avantajlarına göre (karbondioksit ve kükürt dioksit üretmez, ucuz fiyat ve kolay bulunabilirlik nedeniyle) çoğu uygulamada ve yenilikçi teknolojilerde yanma için kullanılan en yaygın gazdır. Biokütle yakıtları için odunsu materyaller ve endüstriyel atıkların yanında servis ömrünü tamamlamış ahşap bazlı ürün ve yapılar da önemli biokütle kaynaklarıdır [3]. Biokütle yakıtları önce ateşlenme (ignition systems) ve gazlaştırma (gasification systems) sistemleri ile işletilmeli ve doğrudan yanan brülörlerde yakıt akıma ve yüksek buhar üretimi sağlamaktadır. Biokütle yakıtların dezavantajları ise: tüm biokütle ürünleri karbon nötr değildir ve yoğun olarak gübre üretmektedir (Soya fasulye veya mısır gibi hammaddeler), sera gaz üretim oranı yüksek olup, doğalgaza göre daha pahalı ve maliyetlidir [4].

2.2. Ana Taşıyıcılar

Ana taşıyıcılar yakıt enerjisini döner eksen gücüne dönüştürür ve daha sonra jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürür. Ana taşıyıcılar CHP ve CCHP sistemlerinde buhar türbinleri, gaz türbinleri ve Pistonlu motorlarıdır. Ana taşıyıcılar arasındaki ana farklar yakıt,

yanma işlemi ve toplam ısıdır (enerji türü, miktarı ve derecesi). Aşağıdaki çizelgede CCHP sistem çeşitleri ve özellikleri listelenmiştir.

Çizelge 2.1. CCHP sistemleri türleri ve özellikleri [5]

CCHP sistemleri	Avantajları	Dezavantajları	Mevcut Boyutları
Buhar türbinleri	Yüksek verimliliği, Her hangi bir yakıt türünde kullanılabilir olması, Uzun çalışma ömrü, Yüksek güvenilirlik, Farklı güç / ısı oranı değişikliği.	Yavaş başlaması Düşük güç / ısı oranı	50 kW-250 MW
Gaz türbinleri	Yüksek güvenirlilik Düşük emisyon Yüksek dereceli Isı Soğutma gerekmez	Yüksek basınçlı gaz veya kompresörü Düşük yüklemede düşük verimlilik Sıcaklık artışı	500 kW-40 MW
Pistonlu içten yanmalı motorlar	Yüksek güç verimliliği Hızlı başlangıç Yatırım maliyeti düşük Düşük basınç gazlarla çalışır	Yüksek bakım maliyeti Düşük sıcaklığı sınırlıdır Nispeten yüksek hava emisyonları Düşük frekansta yüksek seviyede gürültü Geri kazanılan ısı kullanılmasa bile soğutulmalıdır.	Yüksek hız(1200 R.P.M) ≤ 4 kW Düşük hız(60-275 R.P.M) ≤ 65 MW
Yakıt hücreleri	Düşük emisyon Düşük gürültü Yük Aralığında yüksek verimlilik	Yüksek maliyeti Düşük dayanaklığı Saf hidrojen kullanılmadığı sürece işleme gerektiren yakıtlar	200 kW-250 kW

CCHP uygulamalarında, Ana taşıyıcılar her biri için ana parametre, ısıl enerji arz oranının elektrik gücü çıkışına oranıdır. Bu orana ısının elektrik enerjisine oranı denir. Elektrik güç değerlerine göre

ısı miktarının belirlenmesi, uygulama için doğru bir ana taşıyıcılar tipinin seçilmesinde büyük önem arz etmektedir.

2.2.1. Buhar türbinleri

Buhar türbinli çalışan sistemler 3 ana bölümden oluşmaktadır, Bu üç ana bölümdeki bileşenler: ısı kaynağı, buhar türbini ve soğutucu olarak tanımlamaktadır [6]. Buhar türbinli sistemin temel çalışma prensipleri; buhar formunda ve rejeneratif su (regenerative water) ön ısıtmasıyla, temel formunda veya geliştirilmiş sürüm Ranking döngüsünde çalışır. Buhar türbinlerinde en yaygın olan ısı kaynağı herhangi bir yakıt türü ile birleşimleri yakabilen ve aşırı ısıtılmış buhar üreten bir kazandır. Kazanın yerine nükleer reaktörler, biokütle veya yoğunlaştırılmış güneş ışınımı gibi yenilenebilir enerjiler de kullanabilir. Hangi tür yakıtların kullanımı çalışma koşullarına göre basıncı birkaç bardan yaklaşık 100 bara kadardır, Buhar sıcaklığı aşırı ısınma değeri olarak yaklaşık 450 °C veya 540 ° C arasındadır. Güç çıkış ise daha yüksek güçlerde mümkün olsa da, genellikle 0,2-100 MW arasında) değişmektedir [7].

Buhar türbini CCHP sistemlerinin ana konfigürasyonları

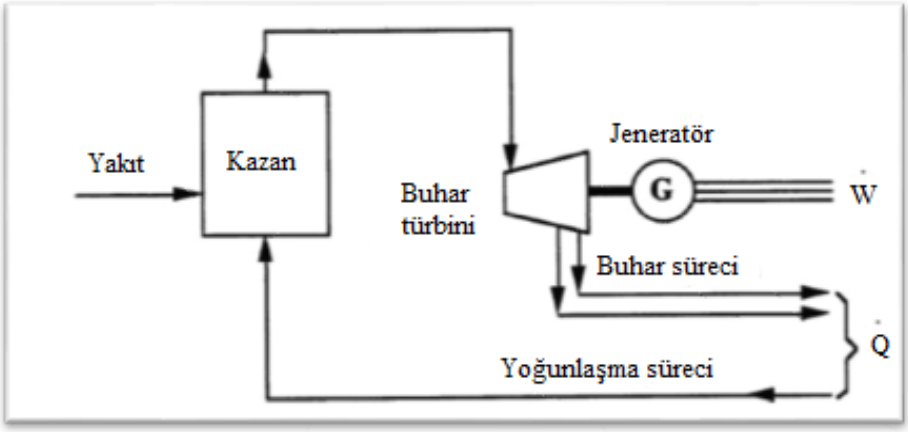
Buhar türbini CCHP sistemlerinde çeşitler:

- Geri basınçlı buhar türbini sistemleri,
- Yoğuşmalı buhar türbini sistemleri,
- Dip döngüsü buhar türbini sistemleridir,
- Dip Rankineg döngüsü sistemleridir.

Buhar türbini kojenerasyon bölümlerin açıklamalarında akış şemaları, basit yapılandırma detaysız gösterilebilmesi için basitleştirilmiştir.

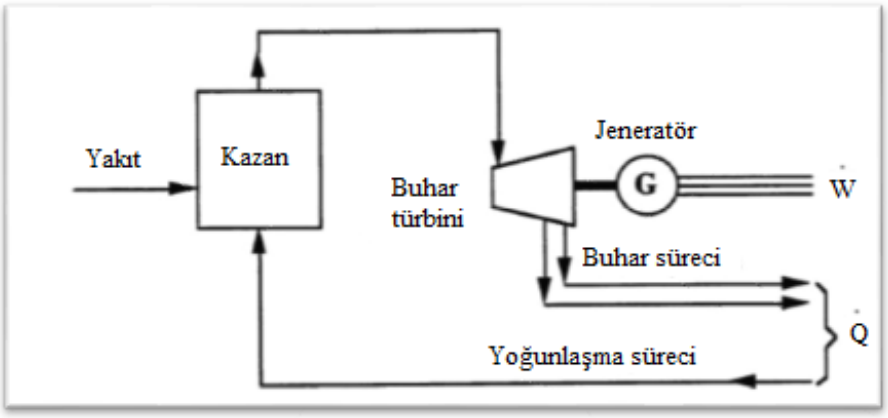
Geri basınçlı buhar türbini sistemleri

Buhar, türbinden termal yükün gereksinimlerine bağlı olarak atmosferik basınca eşit veya daha az bir basınçla çıkar. Bu yüzden “geri basınç” terimi kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Geri basınçlı buhar türbini sistemleri

Geri basınçlı endüstriyel tesislerde, türbinin geri basıncı genellikle sabit işlem koşulları dikkate alınarak tam ve kısmi yüklerde sabit tutulur. Türbinin orta kısmında, daha yüksek kalitede buharın bir kısmını da dışarı çıkarabilir [8]. Bu buhar endüstriyel işlemlerde veya iç mekânlarda kullanılabilir. Buhar, tesis için dâhili olarak kullanılıyorsa, CCHP sistemine yönlendirilmeyecektir. Türbinden dahili kullanıcı için çıkan buhar ne kadar yüksek olursa o kadar az elektrik üretilecektir



Şekil 2.2. Geri basınçlı buhar türbini sistemleri

Kazandan çıkan buhar borular vasıtasıyla buhar türbine girip türbinin dönüşümünü sağlar ve jeneratörü döndürerek elektrik üretimini sağlar, aynı buhar türbinin çıkış bölümünden çıkar. Türbinden çıkış yapan buhar kondensere (soğutma sistemi) girerek, buharı soğutarak tekrar kazana geri dönüşümünü sağlamak için sıcak suya dönüştürürler. Sıcak suya dönüşerek yeniden buhara dönüşmesini sağlamak için tekrar kazana dönmektedir.

Geri basınçlı buhar türbini sistemlerin avantajları [9]:

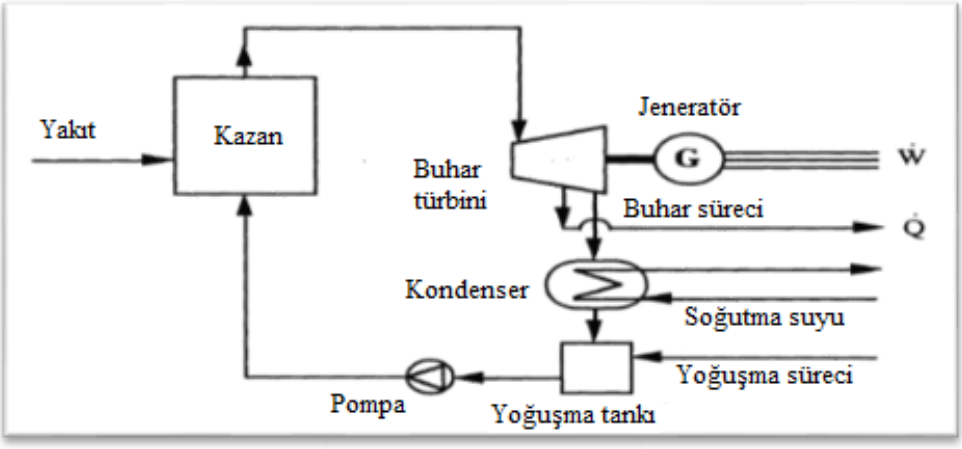
- Basit yapısının olması,
- Düşük basınç aşamalarında yüksek maliyetleri yoktur,
- Yatırım maliyetinin düşük olmaması,
- Küçük çaplı borularla daha fazla ısı taşıyabilmesi,
- Yüksek miktarda elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir olması,
- Değişen ihtiyaca göre çıktıyı düzenleyebilen esnek bir türbin yapısına sahip olması,
- Soğutma suyuna az ve hatta ihtiyaç bulunmamasıdır.

Geri basınçlı buhar türbini sistemlerin dezavantajları:

- Elektrik üretimi termal yüke, termal yük ise buharın debisine bağlıdır. Yani daha fazla elektrik üretimi için daha fazla buhar ihtiyaç duymaktadır.
- Periyodik bakım gerekmektedir (yüksek sıcaklık ve enerjiye sahip oldukları için).

Yoğuşmalı buhar türbini sistemleri

Yoğuşmalı buhar sistemde, termal yük için buhar, uygun basınç ve sıcaklıkta bir veya daha fazla ara aşamadan ekstre edilerek elde edilir.



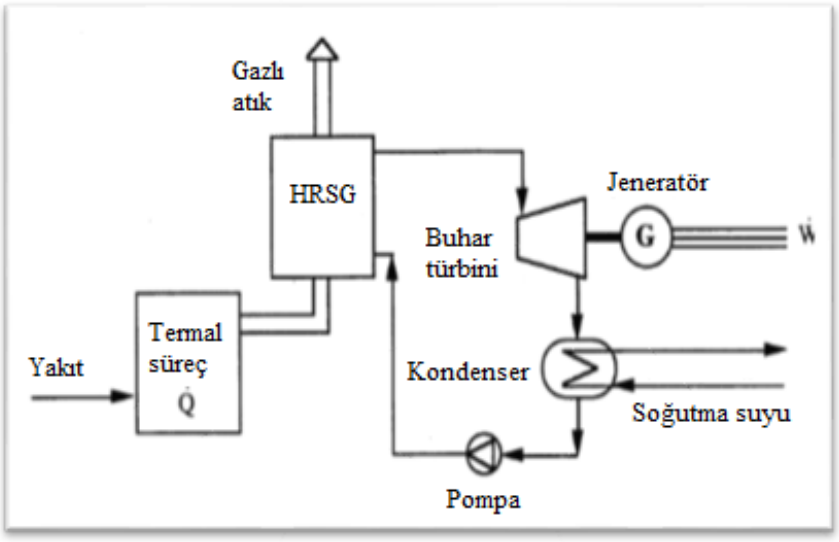
Şekil 2.3. Yoğuşmalı buhar türbini sistemleri

Ekstre edilen buhar ayrıca, Ranking çevrim verimliliğini artıran rejeneratif besleme suyu ısıtması için ve yardımcı ekipmanı çalıştırmak için de kullanılabilir. Geri-basınç sistemine

kıyasla, yoğuşmalı sistemi daha yüksek sermaye maliyetine ve genel olarak daha düşük toplam verime sahiptir. Bununla birlikte, elektrik gücünü bağımsız olarak, belli bir dereceye kadar, türbin içinden buhar akış hızının uygun şekilde düzenlenmesi ile termal yükten kontrol edebilir [10].

Dip döngüsü buhar türbini sistemleri

Çelik, cam, seramik, çimento, petrol rafinerilerinde vb. yüksek sıcaklıkta egzoz gazlarıyla (1000 - 1200°C) çalışır. İşlemden sonra gazlar hala yüksek sıcaklıkta (500-600°C) kaldığından, onları doğrudan atmosfere bırakmak yerine, daha sonra bir buhar türbini tahrik eden bir ısı geri kazanımla buhar jeneratöründen (HRSG) buhar üreterek geçirilebilirler. Bu nedenle, yakıtın enerjisi ilk önce bir termal yüke ve daha sonra bir dip döngüsünde bir buhar türbini sistemi tarafından elektrik üretmek için kullanılır.



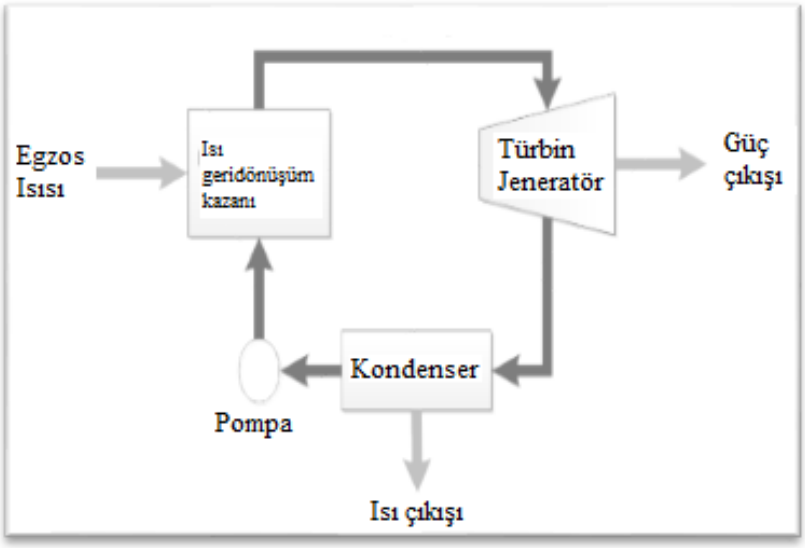
Şekil 2.4. Dip döngüsü buhar türbini sistemleri

Tepe ve dip döngüsü olarak adlandırılan iki tip CCHP vardır. Kombine ısı ve güç toplama döngüsü ve kombine ısı ve güç dip döngüsü. Kombine ısı ve güç toplama döngüsü bir gaz türbin ile çalışan ve motor gibi elektrik veya mekanik güç üreten bir taşıyıcıda kullanılır. Üretilen elektrik, bina veya tesis için yerinde kullanılabilir ve sahadan elektrik şebekesine aktarılabilir. Asıl taşıyıcının sıcak egzoz çıkışı, sahaya süreç ısısı, sıcak su veya alan ısıtma/soğutma sağlamak için kullanılır. Kombine ısı ve güç dip döngüsü, sistemin hem termodinamik, hem de ekonomik olarak uygulanabilir olması için yeterince yüksek sıcaklıkta olan bir atık ısı kaynağına sahip olmalıdır. Bu yöntemin temel avantajı, ısının, bu

amaç için doğrudan yakıt tüketimine karşı elektrik veya mekanik enerji üretmek için boşa harcanan mevcut bir termal işlemi kullanmasıdır. CCHP sistemlerin termal ve elektrik enerji üretme verimliliği yüzde 50 ile elektrik için yüzde 60-80 değiştirmektedir. Verimlilik avantajlarına ek olarak, CCHP kullanıcı ve şebekenin elektrik güvenilirliğini ve esnekliğini artırabilir.

Dip Ranking Döngüsü Sistemleri

Endüstride ve elektrik üretim santrallerinde, enerji tüketiminin $\frac{1}{3}$ (üçte biri) direkt atmosfere atılır veya soğutma sistemlerinde kullanılma haline getirilir. Bu sistemin amacı atık enerjileri kullanarak başka bir enerji üretilmesi için uygulanabilmesidir. Enerji üretim miktarı enerjileri miktarına da bağlıdır. Genelde CCHP sistemlerinde 500 derece Fahrenhayt sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Literatürde ranking döngüsü, farklı çalışma akışkanları da kullanabilen en tipik dip döngüsü CCHP'dir. Buhar Ranking Döngüsü (SRC), atık ısıdan güç üretimi için sıklıkla kullanılan sistemdir. Atık ısı, daha sonra bir buhar türbinine çekilerek bir atık ısı kazanında buhar üretmek için kullanılır. Dip Ranking döngüsü sistemleri, enerji yoğun endüstrilerde ekonomik olarak uygulanabilir. Bunlara örnekler metal ve metalik olmayan minerallerin proseslerinde, petrol rafinerilerinde, kâğıt ve kimya endüstrilerinde kullanılması verilebilir.



Şekil 2.5. Dip ranking döngüsü sistemleri [11]

2.2.2. Kombine çevrim üretim sistemleri

Kombine çevrim santrali, gaz türbinleri ve buhar türbinlerinden oluşan bir enerji santralidir. Bu tür enerji santrallerinde, gaz türbinlerinin egzoz gazlarında bulunan ısı, buhar türbinlerinin ihtiyaç duyduğu su buharını üretmek için geri dönüştürülmüş kazanlar yardımıyla kullanılmaktadır. Geleneksel büyük enerji santrallerinde, egzozdan çıkan ısı yaklaşık 600 derece sıcaklığa sahiptir ancak kombine çevrim enerji santralinde bu enerji kullanılır ve türbinli kazan yakıta ihtiyaç duymadan su buharı üretir, böylece çevrim verimliliğini artırır. Kombine çevrim enerji santrali, enerji üretimi için oldukça verimli, esnek, güvenilir, ekonomik ve çevre dostu bir çözümdür. Kombine çevrim enerji santrali aslında bir buhar ve gaz türbininin bir birleşimidir. Gaz türbininin (yanma ürünleri ile birlikte) fazla termal enerjisi, buhar türbininin ihtiyaç duyduğu buhar ve ek elektrik üretmek için kullanılır. Bu iki çevrim birleştirilerek tesisin işletme kapasitesi artar. Çevrim kullanmayan basit bir enerji santrali tipik olarak %25-40 elektrik enerjisi verimliliğine sahipken, bir kombine çevrim ile aynı verim yaklaşık %60 elektrik verimliliğine sahiptir. Bu tesisler de türbinlerin türüne, ısı geri kazanım kazanlarına ve geri kazanım sistemine bağlı olarak birçok farklı çeşitlerdedirler [12].

Kombine çevrimlerde gaz türbinlerini kullanarak, düşük verimlilik yükseltilerek temel yük elde edilebilir. Ayrıca hızlı başlatma ve esneklik ve çok çeşitli yükler için kullanımı gibi başka faydaları da mevcutur. Kombine çevrim işleminde geri dönüşümün %67 olduğu söylenir, böylece her bir gaz türbininin egzoz bölümünde, kontrollü kapılar kurularak gaz, kazan kısmına yönlendirilir ve böylece içindeki su aşırı ısıtılır. [13]. Kombine çevrim elektrik santralleri türbin ve geri kazanım tipi ve gaz brülörler tipi açısından aşağıdaki kategorilere ayrılmıştır [14].

- Gaz brülörlerlü kombine çevrim enerji santralleri,
- Gaz brülörlerü olmayan kombine çevrim enerji santralleri,
- Su geri kazanımı veya ısıtma ile donatılmış ısı geri kazanım kazanıyla donatılmış kombine çevrim enerji santralleri,
- Çoklu buhar basınçlı ısı geri kazanım kazanlarına sahip kombine çevrim enerji santralleri,

- Buhar çevrimi ile beslenen su ısıtmalı kapalı çevrim gaz türbini ile kombine çevrim enerji santralleri.

Birinci tür enerji santrallerinde, brülör kazanın içine yerleştirilir ve daha çok buhar bölümünün sürekli çalışacağı tesisatlarda kullanılır, bu durumda bir gaz türbinine bağlanmamalıdırlar. İkinci tip santral, gaz türbininden yanma ürünlerinden dışarı çıkan sıcak gazları kullanır. Bu çıkış, yüksek bir hacime ve yaklaşık 500°C'lik bir sıcaklığa sahiptir ve jeneratörü hareket ettirmek için buhar enerjisi üretmek üzere suyu buhara dönüştürmek üzere kazana gönderilir. Değişik türlerinde kombine çevrimlerin uygulanması farklıdır: Daha fazla miktarda gaz brülörler olmadan kombine döngü istasyonunda, temel ve ara yükleri sağlamak için kullanılır. Kombine çevrimdeki bu tesislerin üçüncü tipinde, egzoz gazları bir hava kompresörü (AC), bir yanma odası (CC) ve bir gaz türbini (GT) ve ısı geri kazanımı kazanı (HRB) içeren basit bir gaz türbini döngüsüne girer ve aşırı sıcak buhar üretmek için kullanılır. Düşük güçlü kombine çevrimlerde buhar türbini gücü, gaz türbinden yaklaşık %50 daha düşüktür. Birden fazla basınçta buharın üretildiği dördüncü tip santrallerde, kazanların egzoz gazı sıcaklığı düşmekte, böylece tesisin bir bütün olarak verimi artmaktadır. Bu döngünün en basit türü ikili basınç döngüsüdür, ancak üçlü basınç döngüsü de kullanmaya başlamıştır. Örneğin, bir çift basınçlı döngüde, ısı geri kazanım kazanı buhar üretmek için iki devreye sahiptir. İlk devre, üretilen buharın türbin girişine girdiği yüksek basınç devresidir ve ikinci devre ise üretilen buharın düşük basınç sınıflarından türbine girdiği düşük basınç devresidir. Üçlü basınçla önerilen bir kombine çevrimde, iki buhar türbininin giriş basınçları arasındaki basınçla başka bir buhar üretilir ve bu belirtilen standarda yayılan nitrojen oksit miktarını azaltmak için gaz türbininin yanma odasına enjekte edilir. Bu yöntem kullanıldığında, sürekli olarak bir miktar kaybedilen su telafi edilmesi gerekecektir. Kombine çevrim santrallerinin kullanımında en önemli hedef gaz türbinlerinin verimini artırmak ve yüksek ısı kayıplarını azaltmaktır. Bu santralin her zaman termik (buhar) ve doğalgaz santrallerinden daha fazla avantajı vardır. Bu tür santrallerin en önemli faydaların arasında:

- Çıktı verimliliğinden düşük yatırım maliyeti,
- Adım adım uygulama imkânı,
- Daha fazla esneklik ve kesirli işlem olasılığı,
- Daha az zayiat.

Kombine çevrimde iki önemli husus:

- Temel yükü sağlamak için kullanılan büyük kombine çevrim santrallerinin verimleri çok önemlidir ve bu sebepten gaz türbini ile ısı geri kazanım kazanı arasındaki mesafede ayrı ayrı yanma cihazları kullanılır. Buhar türbini çıkış gücü genellikle gaz türbini çıkış gücünden 8 ila 2 kat daha fazladır. Bu nedenle, buhar döngüsünde, yüksek verim için, buharın yeniden ısıtılması ve daha fazla su ile ısıtıcı beslemesi kullanmak gerekir.
- Gaz türbinlerinin kapasitesi henüz buhar türbinleri kadar büyük olmadığından, kombine gaz türbinleri genellikle birkaç gaz türbinini, ayrı bir buhar türbini ile birleştirilir. Daha yüksek toplam çıktı gücüne sahip olmasının yanı sıra, böyle bir birleşimde daha fazla kullanılabilirlik, daha fazla esneklik, daha yüksek kısmi yük verimliliği gibi başka avantajlar da sağlanır [15].

2.2.3. Gaz türbinleri

Gaz Türbini, yanma gazlarının enerjisine dayanan dönen bir makinedir. Her bir gaz türbini, havayı sıkıştırmak için bir kompresöre, havayı yakıt yanması ile karıştırmak için bir yanma odasına ve gaz enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için bir türbine sahiptir. Türbinde üretilen mekanik enerjinin bir kısmı kompresör tarafından tüketilir ve enerjinin geri kalanı, gaz türbini uygulamasına bağlı olarak elektrik jeneratörünü (Turbo Jeneratör) döndürür. Aynı zaman da vites kutusu olarak tanımlayan Turbo Şarjlı, Turbo Fan, Turbo Şaft, Turbo Proplarda kullanılarak türbinin dönüş hızı kontrol edilip değiştirilebilir. Gaz türbinlerin, çeşitli sektörlerde, özellikle petrol ve gaz boru hatları içinde büyük pompaların çalışması, fabrikalara ve şebekeden başka belirli alanlara güç sağlaması gibi özellikle petrol ve elektronik endüstrilerinde kullanımı artmaktadır. Küresel ağların, elektrik şebekesi endüstrisinde hızlı cevap devre birimleri olarak da popülaritesi artmaktadır.

<u>Gaz türbinlerinin çalışmasının temeli</u>

Termodinamik tabanlı gaz türbinlerinin temeli, havanın sıkıştırıldığı, yanmanın sabit basınçta gerçekleştiği ve türbin içindeki basınçlı ve sıcak havanın genleşmesinin gerçekleştiği ve havanın ilk basınca ulaştığı Brighton döngüsüne dayanır. Uygulamada, sürtünme ve hava burgacına neden olur [16].

Gaz türbinlerin çalışma esnasında dikkat edilecek hususları şunlardır:

- Kompresördeki hava düzgün şekilde sıkıştırılamadığında, kompresör çıkış sıcaklığının belirli bir basınç oranını elde etmek için idealden daha yüksek olmasına neden olur.
- Türbindeki hava genleşmesi (Air expansion) aşırı olmamalıdır. Aksi takdirde türbin sıcaklığında sürekli bir düşüşe ve sonuçta ortaya çıkan basınç düşüşüne ve iş üretmek için türbinin zorlanmasına yol açar.
- Yanma odasına ve egzoza basınçlı hava girişinin düşmesi durumu. Hava girişindeki basınç düşüşü kompresörün giriş basıncını düşürür ve böylece yanma odası ve türbinin giriş basıncını düşürür. Yanma odası ve egzozdaki basınç düşüşü sırasıyla türbin giriş basıncını düşürür ve türbin çıkış basıncını artırarak verimini düşürür.

1791 yılında, İngiliz mucit John Barber, günümüzün gaz türbinlerine benzer bir işleve sahip bir makineyi tasarlamış bu makineyi atlı arabaları hareket ettirmek için kullanmak istemişler. Franz Stoles'ın Berlin'de bir gaz türbini kurma projesi 1904 yılında başarısız olmuştur. 1918 yılında, dünyanın en büyük gaz türbini üreticisi olan General Electric, gaz türbini üreticisi segmentini piyasaya sürmüştür. Son olarak, 1939 yılda 4 MW kapasiteli ilk İsviçre yapımı gaz türbini İsviçre'deki Brown Brewing Company'de inşa edilmiştir [17].

Gaz türbinlerinin çeşitleri:

Gaz türbinleri üç ana bölüme ayrılmaktadır:

- Elektrik enerjisi üretmek için endüstriyel gaz türbinleri,
- Mekanik enerji üretimi için gaz türbinleri,
- Havacılık sektöründe kullanılan gaz türbinleridir.

Elektrik enerjisi üretmek için kullanılan endüstriyel gaz türbinleri, doğrudan veya kutu hızını değiştirdikten sonra, jeneratöre ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren, kendileri tarafından beslenen gaz türbinleridir. Bu tip gaz türbini, tek çevrim veya kombine çevrim olabilir. Basit çevrim modunda (tek çevrim) 600°C'ye kadar sıcaklıklara ulaşabilen türbinden çıkan egzoz gazları doğrudan havaya girer ve kalan enerjiyi boşa harcar. Ancak kombine çevrim modunda, buhar türbininde bir veya iki gaz türbini ile birleşir ve gaz

türbininden çıkan egzoz gazları, geri kazanım kazanı adı verilen bir bölümde kondenserden dönen suyu buhara dönüştürür. Sonuç olarak, kombine çevrim modunda, egzoz gazlarında bulunan enerji, egzoz gazı türbini tarafından kullanılır ve buhar türbini kazanı yakıtsız su buharı üretir. Bu sayede, döngü verimliliği artmış olur.

Türbin jeneratörleri, binalar ve fabrikalar için sıcak su veya sıcak hava üretmek için egzoz gazlarının kullanıldığı elektrik ile eşzamanlı üretimde kullanılabilir. General Elektrik'in 480 MW'lık kombine çevrim düzenine sahip H Serisi gaz türbini, %60 termal verimliliğe sahiptir. Bu tip gaz jeneratörlerinin ana üreticileri, General Electric ailesi ve her biri büyük üreticilere sahip olan Stinghouse ailesi ve Stinghouse'dur [18]. Turboşarjları ve türbin pompalarını içeren ikinci tip gaz türbini, türbin tarafından üretilen enerjiyi bir kompresörü çalıştırmak (gazı sıkıştırmak için) veya pompalamak (sıvı basıncını artırmak için) için kullanan gaz türbinleridir.
Üçüncü tür gaz türbinleri, çoğunlukla havacılık endüstrisinde kullanılan jet tipi türbinlerdir ve bazıları küçük modifikasyonlara sahip jeneratör türbinleri olarak kullanılır. Bu tip jeneratörlerin temel özellikleri, özel alaşımlardan (Special alloys) yapılmış yanma odalarındadır. Ayrıca yakıt pompası (Fuel nozzle) da kompozit (Composite) tiptedir. Jet motorları, Newton'un üçüncü yasasına göre, tahrik üretmek için hızlanma ve boşaltma sıvısı kullanan motorlardır. Dört tip jet motoru (turboşarjlı, turbofan, turboşarjlı, turboprop) bir gaz türbini içerdiğinden temelde bir gaz türbinidir.

Gaz türbininin avantajları

- Gaz üniteleri küçük boyutlarından ve kolay kurulumlarından dolayı çok hızlı monte edilir.
- Gaz üniteleri çalıştırıldıktan sonra birkaç dakika içinde (genellikle on dakikadan daha az) yüksek verimlilik aşamasına ulaşır,
- Gaz ünitelerinin kurulum maliyeti düşüktür,
- Eşit güç için buhar birimlerinin yaklaşık üçte biri kadardır,
- Yapının basitliği ve gaz türbininde yardımcı tip parça bulunmaması nedeniyle kullanımı kolaydır. Ayrıca, gaz ünitelerini sahada ve uzaktan kontrol edip çalıştırmak mümkündür,
- Gaz türbinlerinde, yükleme sırasında farklı yakıtların kullanılması ve ünite üzerinde çalışan yakıt türünün değiştirilmesi olasılığı üniteye iyi bir manevra kabiliyeti sağlar [19].

Gaz türbininin dezavantajları

- Egzozdan ısı olarak büyük miktarda enerji açığa çıkması nedeniyle gaz ünitelerinin verimliliği düşüktür (25MW üretim kapasiteli bir gaz ünitesi için egzoz sıcaklığı 500 santigrat dereceden fazladır) ve yanma odası duvarından bazı ısı radyasyonu daha düşüktür (basit döngüler için maksimum %27),
- Gaz üniteleri genellikle doğal gaz veya hafif yakıt kullandığından, mevcut maliyetleri yüksektir (bu tür yakıtların yüksek maliyeti nedeniyle), ancak buna karşılık, diğer enerji santrallerine kıyasla çevre kirliliği azdır.

2.2.4. Pistonlu içten yanmalı motorlar CCHP sistemleri

Diğer bir öncelikli ana taşıyıcı tipi, içten yanmalı motor (IC) döner motorlarıdır. Kanatlı motorlar kojenerasyon sistemlerinde de kullanılabilmesine rağmen, onlar için özel bir uygulama bilinmemektedir. İçten yanmalı motorları farklı çeşitlerde mevcut ise de, en yaygın olanları arabalarda kıvılcım ateşlemeli pistonlu motorlar ve benzinli motorlardır.

Farklı tür içten yanmalı motor vardır ve pistonlu motorların en yaygın biçimi, arabalarda kıvılcım ateşlemeli benzinli motorlardır. Genelde pistonlu motorlarda, dizel yakıtla (dizel) veya doğal gazla ikili modada çalışan orta ila büyük boyutlu sabit dizel motorlarla eşzamanlı üretim sistemlerinde kullanılırlar. Bu motorlar bazı ortak özellikleri paylaşırken, aynı zamanda kojenerasyonda farklı uygulamaları mevcuttur. Pistonlu motorların gücü, gaz türbinleri ile aynıdır ve hem sürekli hem de enine kesit modlarında çalışmaktadır. Pistonlu motorların nominal gücü gaz türbinlerinde olduğu gibi, standart çevre sıcaklığı, basınç ve deniz seviyesine göre değişmektedir ve standart güç, cihazın yerel kurulum koşullarına göre ayarlanmalıdır. Bu tür motorlar, birlikte üretim uygulamaları için birçok farklı güç düzeyinde ve tasarımda bulunur. Bu güç seviyeleri 50-200 kW'tan düşük seviyelere kadar değişebilir. Bazı üreticilere düşük çıkış gücüne sahip (6 kW'a kadar) küçük bir CCHP sistemi bile önerilmektedir. Piston-silindir motor sistemleri, CCHP sisteminde 1-1000 kWe boyutlarında en yaygın ana taşıyıcıdır. Bu tip motorun kullanılması, mevcut sistem üreticilerine, tüketicilerin taleplerine mümkün olduğunca yaklaşmaları için uygun bir arka plan sağlar [20].

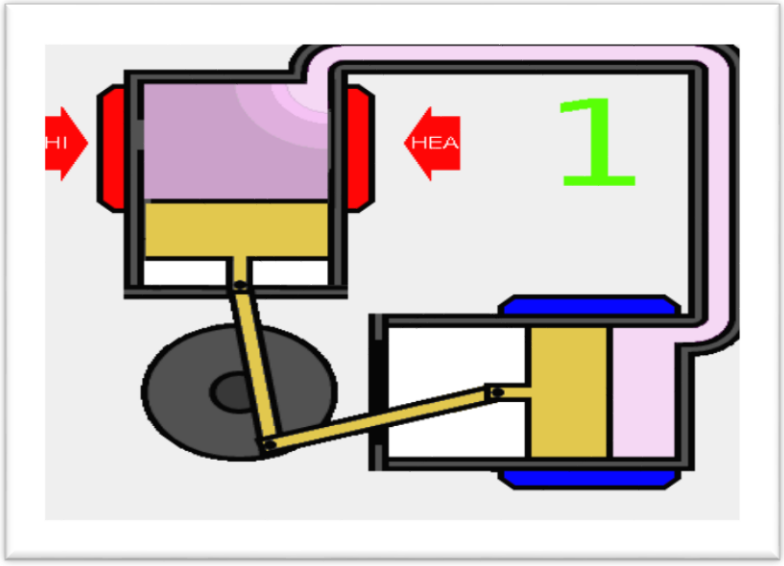
CCHP sistemlerinde kullanılan beş ana motor tipi:

- Endüstriyel motorlar,
- Araba motorları,
- Dizel motor,
- Gaz motorları,
- Stirling motorları.

Bu tür motorlarda yakıt tüketimi doğalgaz üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bazen çift yakıtlı gaz dizel motorlu 500 kWe den daha büyük birimlerde de görülür [21].

- Endüstriyel motorlar, minimum bakım maliyeti ile güvenilir üretim için tasarlanmış olup, büyük güçte sabit tip motorlardır. Bu motorların bileşenleri, maksimum aşınma direncinin yanı sıra bakım kolaylığı için tasarlanmıştır ve dayanıklıdır. 50.000 saatin üzerinde çalışma gibi pek çok örnek sistem mevcuttur. Bu motorlar hem ateşlemeli (SI) gazlı hem de dizel (CI) motorlarda mevcuttur ancak endüstriyel motorlar daha yaygın olarak CCHP sistemlerinde kullanılan ateşleme türüdür. Endüstriyel motorlar, tipik olarak 150-200 kW'ı aşan elektrik gücüne sahip CCCHP sistemlerinde kullanılır. Son yıllarda belirli gücü artırmak için, üst seviyeli motorlar geliştirilmiştir. Günümüzde çoğu motor 50Hz / 1500 R.P.M 'de çalıştırılmaktadır ve deneyimler kilovat saat başına bakım maliyetinin 1000 hızdaki benzer motorlardan daha az olduğunu göstermektedir
- Genel olarak, CCHP sistemlerinde kullanılan motorlar kamyon motorları ile aynı özelliklerdedir. İyileştirmeler ve gazla çalışan yapısında değişiklik yapılarak, ateşleme sistemi ile çalıştırılmakta olup günümüzde bu tip motorların kullanımı daha yaygın hale gelmiştir. 30 kW'dan daha küçük CCHP üniteleri için iyi çalışmakla birlikte CCHP sistemleri 200 kW'a kadar kullanılabilir. Sabit motorda 1500 R.P.M. CCHP sabit çalışma hızı nedeniyle sistemdeki bu motorların ömrü, 20-30 bin saati aşmayacak olan aracın ömrünü aşar.
- İki ana tip dizel motor mevcut olay, ağır yol arabaları ile kesintisiz güç jeneratörleri her ikisinin yakıtta da dizeldir. CCHP tek bir birimde gerçekleştirmenin bir yolu, mevcut acil durum jeneratörün CCHP sistemine dönüştürülmesidir ve bu durumda daha az yatırım maliyeti tüketiciye uygulanacaktır. Bununla birlikte, Bu jeneratörler genellikle endüstriyel motorlar tarafından çalıştırılsa da, bu dönüşümün uzun vadede başarısı konusunda şüpheler mevcuttur.

- Otomobil motorları gibi gaz motorları da kıvılcım ateşlemedir ve doğal gaz veya sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışır. Diğer bir deyişle, motorun çalışma mekanizması bir araba motoru gibidir. Ancak bu tür motorlar küçük boyutlu CCHP sistemlerde (mini CCHP) geliştirilmiş olup kullanılmaktadır. Gaz motoru tek silindirli olup uzun süre çalışabilir. Günümüzde Mini CCHP sistemlerinde en başarılı ve en uygun motorlardan biridir ve ticari modelleri ise uygun fiyatlarla sunulmaktadır. Öte yandan bu tür motorlar hem yüksek boyuta ve ses gürültüsünü hem de yüksek bakım maliyetini sahip oldukları nedeni ile konut ünitelerde kullanılması için uygun değillerdir.
- Stirling motoru, şimdiye kadar bahsedilen motorlardan farklı olarak eksojen tipte bir ısı motorudur. Stirling motoru günümüzde yaygın olarak kullanılan bir motor olmasa da, dizel motorlardan daha verimli olma potansiyeline sahiptir. Stirling motorlarında kullanılan gaz asla motoru terk etmez ve dizel ve benzinli motorlar gibi yanma odası yoktur bu yüzden Stirling motorları çok sessizdir. Stirling çevrimi, benzin ve güneş enerjisinden bitki çürümesinden kaynaklanan ısıya kadar herhangi bir harici ısı kaynağını kullanır ve motor silindirlerinde içten yanma meydana gelmez. Günümüzde stirling motorların kullanımı için yeni uygulamalar önerilmektedir ve bu önerilerden biri ise 100 kW'tan daha küçük boyutlarda kullanılabilecek CCHP sistemleridir. Bu arada mini CCHP sistemlerinde motor montajı daha başarılı olup ve tüketici pazarında ticari modeller tanıtılmıştır. Pistonlu silindir motorlarından (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da açık ve kapalı) elde edilen elektriksel verim %30-40 ve stirling motorları için %25-29'dır. Diğer aktüatör türleri arasında en yüksek olan ve termal gücün elektrik gücüne (H/P) oranı 1:1 ve 1:2'dir. Bu tip CHP sisteminde motor ısı kaybının %90'ına kadar sıcak su veya düşük basınçlı buhar olarak geri dönüştürülebilir [22].



Şekil 2.6. Pistonlu içten yanmalı motor açık şeması



Şekil 2.7. Pistonlu içten yanmalı motor kapalı şeması [23]

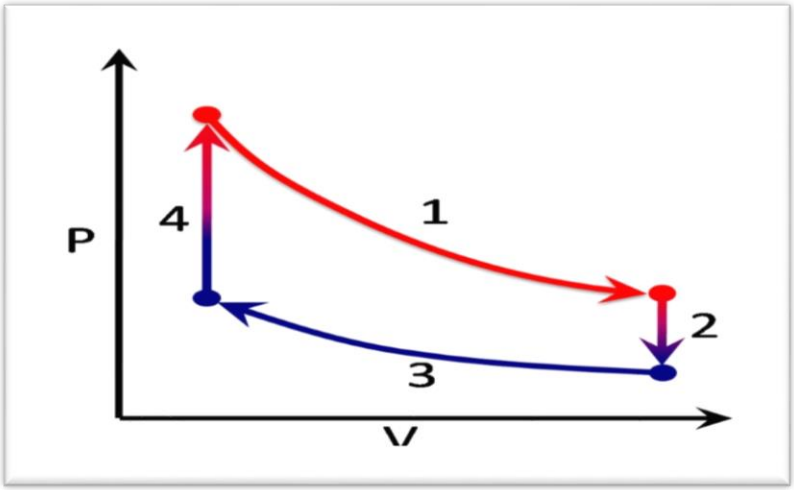
Sterling döngüsü süreçleri

İdeal bir sterling döngüsü, aşağıdaki adımlara göre 4 termodinamik işlemden oluşur:

- Sabit sıcaklık genişlemesi (Constant temperature expansion): İlk aşamada, silindir alanı sabit bir sıcaklıkta genişler ve bu süreçteki gaz, ısı kaynağından sabit bir sıcaklıkta enerji alınır.

- Sabit hacim basıncı azaltma (Constant volume pressure reduction): Bu aşamada gaz geri kazanımdan geçer ve bu süreçte sabit hacmi azalır.
- Sabit sıcaklık yoğunluğu (Constant temperature density): Bu aşamada gaz sabit bir sıcaklıkta ısı kaybeder ve sabit bir sıcaklığı korumak için gazın hacmi de azaltılmalıdır.
- Sabit hacimde ısı elde etmek (Getting heat in constant volume): Bu aşamada gaz, ikinci aşamada olduğu gibi, ısı eşanjöründen geçerek ikinci aşamada aktarılan ısının bir kısmını emer ve dolayısıyla bu aşamada gazın basıncı ve sıcaklığı sabit bir hacimde artar.

Şekil 2.8.'de sterling döngüsü için basınç-hacim diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.8. Sterling döngüsü için basınç-hacim diyagramı [24]

Stirling motorların en önemli avantajı:

- Biyogaz dâhil çeşitli yakıtların kullanımı,
- Düşük kirlilik,
- Tamir ve bakıma çok ihtiyaç duymaz,
- Çalışırken düşük ses çıkarır,

Stirling motorlarının iki önemli dezavantajı:

- Bu motorların çalışmaya başlaması ve faydalı enerji üretimine geçmesi önce ısınması gerektiğiniden bu uzun bir süre ihtiyacı doğdurur.
- Motoru yüke hızlı bir şekilde adapte edilmemesi

2.2.5. Yakıt hücreleri

Yakıt hücresi mitral yakıtın kimyasal enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten bir sistemdir, Polimer yakıt hücresinin anotundan, bir oksidasyon reaksiyonu gerçekleşir ve üretilen elektron dış devreye ve ardından katoda girer. Anotta üretilen pozitif iyon, membrandan (elektrolit) katot kısmına geçerek, havanın oksijeni ve dış devreden katot kısmına giren elektronlar ile bir katalizör varlığında suya dönüştürülür. Akü tankında bulunan reaktan miktarının sınırlı olmasından dolayı bir süre sonra gerekli enerjiyi sağlayamayan akülerin aksine, yakıt hücresinde reaktanlar sürekli hücreye girer ve ürünler sürekli dışarı çıkar, böylece hücrede yakıt sürekli çalışabilir [25].

Yakıt hücreleri, kullanılan elektrolitin türüne göre beş kategoriye ayrılır [26].

- Polimer yakıt hücresi,
- Alkali yakıt hücresi (AFC),
- Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC) - Çalışma sıcaklığı (°C) 200-220,
- Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC) - Çalışma sıcaklığı (°C) 650,
- Katı Oksit Yakıt Pili (SOFC) - Çalışma sıcaklığı (°C) 1000,
- Metanol yakıt hücresi (DMFC) - Çalışma sıcaklığı (°C) 60-120.

Daha önce belirtildiği üzere, yakıt hücresi, yakıtlarda gizlenen kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Bu nedenle, enerji ve ısı üreten yakıt hücresi içindeki süreçler, güç üretmek için kullanılan yöntemlerden farklı olduğundan, çevre üzerindeki yüksek verimlilik ve en az zararlı etki yaratacak sistemler tasarlanmaya çalışılır. Yakıt hücreleri, Carnot çevrimi ve verimliliği gibi termal motorları düzenleyen termodinamik kurallarla sınırlı değildir. Ek olarak, bu hücrelerde yanma olmadığından diğer güç üreten sistemlerden daha az kirletici madde üreterek çalışılır. Bu hücreler enerji depolaması için

kullanılabilir çünkü yakıt hücrelerinin yapısı elektroliz işlemine benzer olduğu düşünülebilir. Teoride yakıt hücreleri çeşitli yakıtlar ve oksidinler kullanabilir ise, sık olarak doğal gaz (ekonomik nedenlerden dolayı) veya hidrojen bir indirgeyici madde olarak ve hava bir oksitleyici madde olarak kullanılır [27].

Yakıt hücresi sistemleri üç ana bölümden oluşur:

- Anot elektrot,
- Katot elektrot,
- Elektrolit veya membran.

Bu sistemde kullanılan yakıt, hidrojen gazıdır. Gaz oksitlenmiş anot elektroduna girdikten sonra, anottan katoda ileten pozitif bir hidrojen iyonu, H^+ ve elektronlar üretilir. Sistem doğru akımı şebekede tüketilmek üzere alternatif akıma dönüştürür[28].

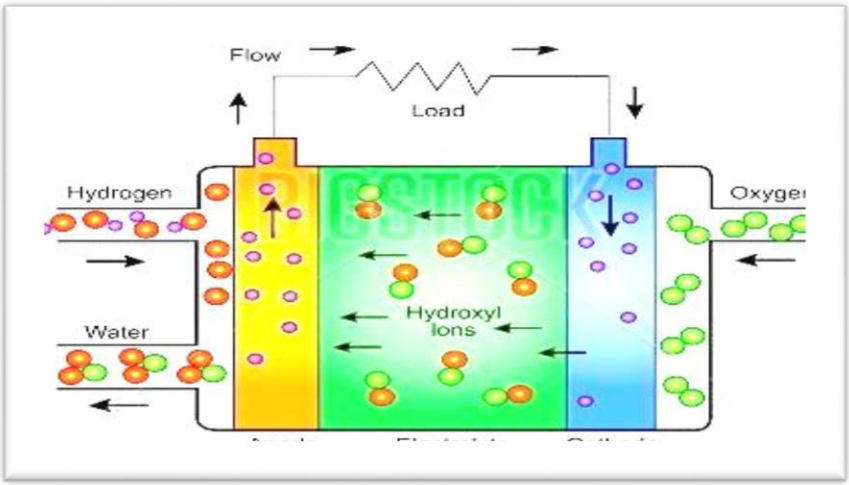
Yakıt hücrelerinin avantajları:

- Yüksek verim.
- Fosil yakıtlara bağımlı olmadıkları için ithalata bağımlılığı azaltır,
- Küçük elektrik santrallerine yakın yakıt hücrelerinin kurulması dağıtım şebekesini rahatlatır ve hat kayıplarını azaltır,
- Çevre dostudur, çünkü yakıt hücrelerinde üretilen tek yan ürün sudur,
- Gürültü kirliliği yoktur,
- Yüksek maliyeti,
- Yakıt seviyesine göre ayarlanabilir çalışma süresi mevcuttur,
- Farklı yakıt kullanma imkânı vardır,
- Bakımı çok kolaydır.
- Bu hücrelerden bazıları aynı anda elektrik ve ısı üretme özelliğine sahiptir.

Yakıt hücrelerinin dezavantajları

- Dünyadaki yakıt hücresi teknolojisinin yaygınlaşmaması,
- Uzun vadede ısı, elemanların bozulması ve enerji kaybı gibi sorunlara neden olabilir,

- Brüt yakıt kullanıldığında, bazı durumlarda aşırı ısı ile karbon birikmesine ve zehirlenmelere neden olabilir.



Şekil 2.9. Hidrojen yakıt hücreleri [29]

2.3. Elektrikli Ekipman

CCHP sistemlerinde elektrikli ekipmanlar; jeneratörler, transformatörler, röleler, sayaçlar, kontroller, hatlar, devre kesiciler, anahtarlama devreleri ve diğer ilgili ekipmanları içerir. Elektrik üretmek için gerekli ekipmanalara ek olarak, CCHP sistemleri, acil durum çalışması ve şebekeye elektrik satışı için kullanılacak ilave ekipmanın şebeke sistemine bağlanmasını gerektirebilir.

2.3.1. Jeneratör

Bir elektrik jeneratörü, dönel mekanik enerjiyi birincil aktüatörden elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır ve bu işlemin temel prensibi "Faraday etkisi" olarak bilinir. Bir iletken nesneyi manyetik bir alana taşıyarak veya hareket ettirerek değişen manyetik alan etkisiyle, akımın telden akmasıdır ve bu işlem çeşitli metotlarla yapılabilir ve sonuç olarak farklı türde elektrik jeneratörleri olabilir. Alternatif akım jeneratörlerinin çıkış frekansı rotorun dönme hızına bağlıdır.

Jeneratörlerin elektrik üretmesi için manyetik alanlara ihtiyaç duymalarıdır. Bu manyetik alan için enerji kaynağına bağlı olarak iki tür jeneratör vardır. Jeneratörün elektrik kaynağına bağlıysa ve manyetik bir alan için kullanılıyorsa, buna asenkron jeneratör adı verilir ve bu durumda jeneratör eşzaman (senkron) hızın üzerinde çalışır ve harici akım yoksa (genellikle şebeke gücü) çalışamaz. Öte yandan, manyetik alan küçük bir alternatörden güç alıyorsa, jeneratöre eşzaman (senkron) jeneratör denir ve senkron hızda çalışır.

Elektrik üretimi endüstrisindeki kullanılan jeneratörler:

- Senkron
- Asenkron

Senkron jeneratörleri

Senkron jeneratörde, manyetik alanı üretmek için rotor bobinine bir dc akım uygulanır ve jeneratörün rotoru, türbin tarafından döndürülerek, makine stator sargılarında üç fazlı bir voltaj indüklenir.

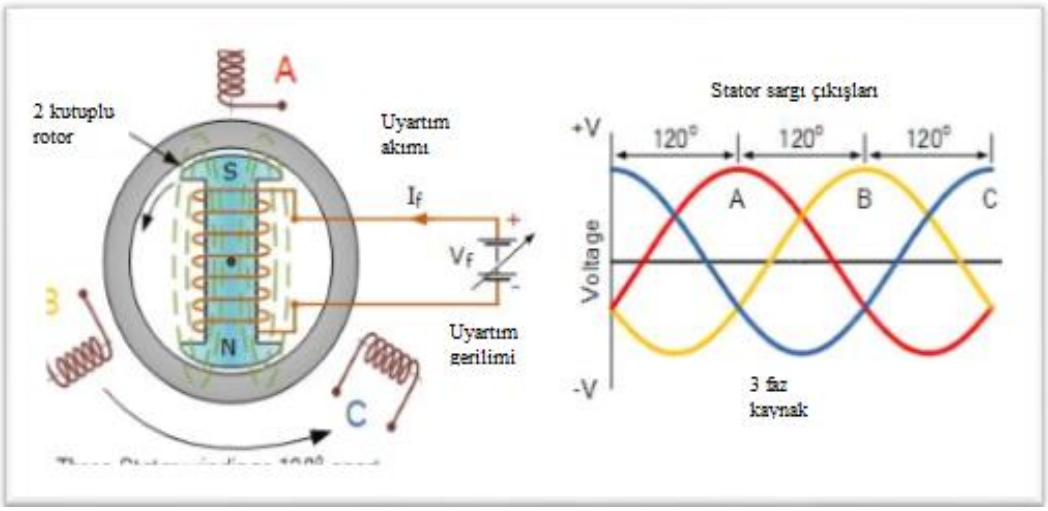
Senkron jeneratörler, elektrik şebekesindeki ana güç kaynaklarıdır. Uygun alan sistemi tüm çalışma koşullarında güvenilir, sağlam ve duyarlı olmalıdır. Senkron jeneratörler genellikle, manyetik alan değeri sürekli ayarlanan ve böylece armatür voltajının kontrol edilmesi için otomatik voltaj regülatörleri ile donatılmıştır [30].

Senkron jeneratörlerin avantajları [31]:

- Senkron jeneratörlerin avantajlarından biri, her zaman sabit bir hızda çalışması,
- Elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalışabilmesi,
- Güç düzeltmesine gerek yoktur,
- Asenkron motorlardan daha kontrol edilebilirler,
- Farklı güç katsayılarında çalışabilirler, yani hem jeneratör hem de reaktif güç tüketicileri olabilirler,
- Yüksek verime sahiptirler.

Senkron jeneratörlerin dezavantajları:

- Başlangıç torkuna sahip değillerdir,
- Karmaşık yapıya sahip (Çünkü frekansın sabit olarak tutulması ve ağ ile uyum içinde kalması gerekir),
- Yüksek maliyetlidirler (düşük kapasitelerde) ve bakım gerektirirler.



Şekil 2.10. Senkron jeneratörlerde 3 fazlı gerilim üretimi prensip şekli

Asenkron jeneratörler

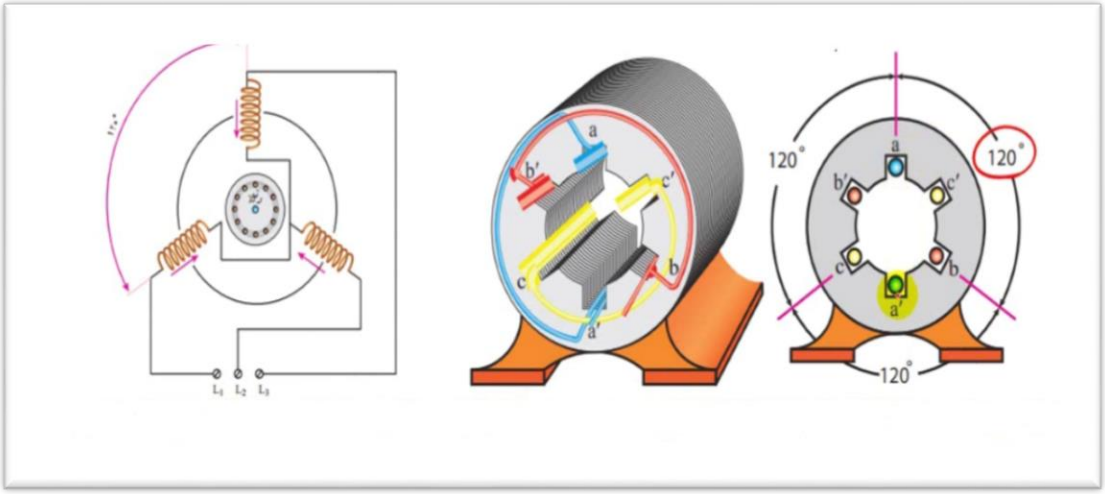
Bu tip jeneratör daha az kullanılır ve acil durum güç jeneratörü olarak kullanılamaz çünkü reaktif güç şebekesi gerektirir. Asenkron elektrik motorlarının çalışma modalarından biri jeneratör modudur ve belirli koşullar altında çalışabilecekleri anlamına gelir. Bu tür jeneratörler, jeneratörün stimülasyon alanını oluşturmak ve şebekeye bağlandığında şebekeden reaktif güç almak için reaktif güç gerektirir. Yani bu jeneratörde ikaz alan akımı şebekeden sağlanır ve şebeke kesildiğinde çalışmayı durdurur. Jeneratörlerin bu tür davranışlarına endüksiyon regülatörleri de denir. Asenkron jeneratörler CCHP sistemlerinde genellikle 1 ila 5 kW boyutlarında kullanılır. Şebekedeki bu tip jeneratörler aynı zamanda güç faktörü düzeltmesi amaçlı da kullanılabilir [32].

Asenkron jeneratörleri avantajları [33]:

- Stimülasyon sistemine ihtiyaç duymadığından dolayı yapısı basittir, bu yüzden bakımı kolaydır,
- Kurulumu ve çalıştırılması kolaydır, çünkü senkronize edilmesi veya tetiklenmesi gerekmez,
- Kısa devre akımı düşüktür ve kısa devre süresi senkron makinelere göre daha kısadır. Kısa devre sırasında stimülasyon kesilir ve kısa devre akımı manyetik akı kaybolana kadar sadece kısa bir süre boyunca akar.
- Her zaman senkron jeneratörle paralel çalıştığı ve asla bağımsız olarak çalıştırılmadığı için bir hız jeneratörüne ihtiyacı yoktur.
- Yük reddedildiğinde, stimülasyon akımı ve voltaj kesilir, bu nedenle hız artışına bakılmaksızın, cihazın yalıtım parçalarına herhangi bir hasar oluşturmaz.
- Sistem voltajı düştüğünde, stimülasyon akımı otomatik olarak azalır.
- Gaverner hız kullanmadığından, hidrolik türbinin izin verdiği hızı aşmayacak ölçüde enerji üretmeye devam eder.
- Sistem arızalandığında, cihaz kesintisiz çalışmaya devam edebilir.

Asenkron jeneratörleri dezavantajları:

- Bağımsız olarak elektrik üretemez. Sadece senkron makineye paralel olduğunda bir jeneratör gibi çalışır.
- Yük akımı güç faktörü, yük güç faktörü tarafından değil, jeneratörün doğal güç faktörü tarafından belirlenir.
- Paralel çalışmada, yüksek akım akabilir ve sistemin voltajını etkileyebilir.
- Genel olarak, endüksiyon makineleri düşük hız ve yüksek polarite, güç faktörü ve makine boyutları açısından senkron makinelerden daha düşük performanslıdırlar.

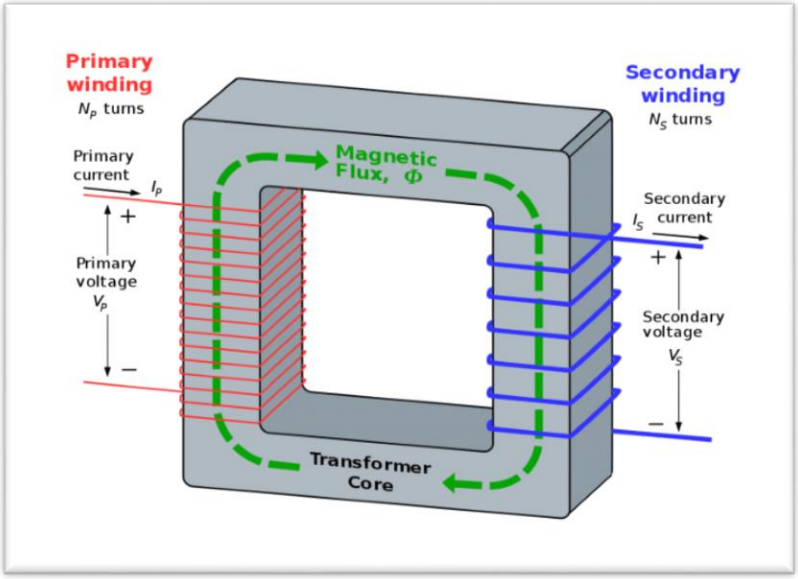


Şekil 2.11. Asenkron jeneratörleri

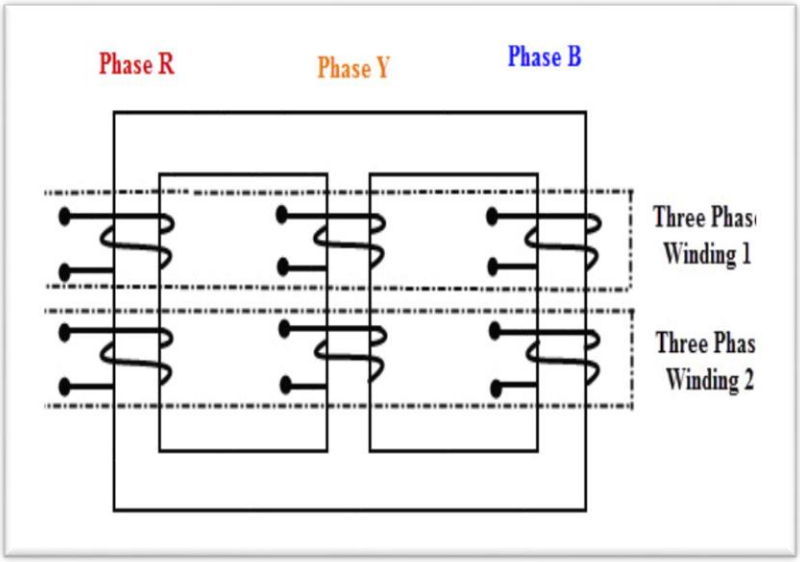
Bu iki jeneratör türü arasında (asenkron ve çıkık rotorlu) hem normal (sürekli durum) hem de anormal (geçici) koşullar sırasında büyük farklılıklar vardır. Her iki makinenin seçiminde bunlar dikkate alınmalıdır.

2.3.2. Transformatör

Transformatör şebekeden gelen voltaj ve akım değerlerini alır ve değerlerini değiştirerek farklı voltaj ve akım çıkışları şeklinde iletir. Güç transformatörleri, demir çekirdekteki birincil ve ikincil sargıdan oluşur. İki sargı arasındaki bağlantı manyetik olarak ayrılmıştır ve her iki sargı bir demir çekirdek tarafından yalıtılmıştır. Transformatör sargıları çoğunlukla bakırdan yapılmaktadır ve kesiti şebekeden çekilen akımla orantılıdır ve transformatör nüvesi, transformatör kayıplarını azaltmak için silisyumlu katkılı lamine şeklinde saclardan yapılmıştır [33].



Şekil 2.12. Tek fazlı transformatör



Şekil 2.13. Üç fazlı transformatör

Transformatörün çalışma prensibi, birincil ve ikincil sargılar arasındaki manyetik alana dayanmaktadır. Genel olarak, akım demir çekirdekten geçtikten sonra ikincil sargıya giren manyetik alan sargının etrafındaki ikinci sargı içinden akar ve gerilim ve akım ikincil sargının içinde dalgalanır. Transformatörler gerilim değerlerine göre yükseltici ve düşürücü transformatörler olarak, akım açısından tek faz ve üç faz transformatörler ve ticari açısından

güç ve dağıtım transformatörlerine ve Nüve açısından ise Çekirdek ve Mantel transformatörler şeklinde sınıflandırmaktadırlar [34].

2.3.3. Koruma sistemleri

Enerji sektöründe, özellikle elektrik güç sektöründe, ekipman ve tesislerin yüksek gerilim seviyesi ve gücü nedeniyle, sistem içinde (Jeneratörlerde, transformatörlerde, kablolarda ısı yalıtımının bozulması gini) ve dış mekanlarda (Yıldırım, aşırı yüklenme, kar, yağmur, rüzgar ve fırtına, ağaç dalları, hayvanlar ve özellikle kuşlar, istenmeden enerjili kısımlara düşen nesneler) mta ve arızalara maruz kalmaktadırlar. Bu hatalar ekipman ve tesislerde ciddi hasara neden olabilir. Bu sebeple, koruma sistemlerinin neden olduğu olası hataları ve hasarları önlemek veya en aza indirmek için sistemden geçen elektrik akımının hızla kesilerek bu hasarların en aza indirilmesi ve önlenmesi gerekmektedir.

Elektrik şebekelerindeki koruma sistemleri iki ana bölüme ayrılmaktadır:

- Koruyucu röleler,
- Koruma sistemleri arasında koordinasyon.

Elektrik şebekelerindeki koruyucu röleler:

Koruyucu röleler, arızayı tespit etme ve ağın hatalı kısmını çıkarma görevine sahiptir ve amacı şebeke istikrarını korumak, elektrik üretim sürekliliğini korumak, bakım maliyetlerini azaltmak ve endüstriyel enerji santrallerinde çalışan personelin güvenliğini sağlamaktır. Geçmişte sigorta, hasarlı devreyi tespit etmek ve devreden çıkarmaktan sorumluydu. Aşırı yük ve kısa devre durumlarını tespit ederek sistemi korumaktaydı. Bununla birlikte, gücün daha güvenilir iletimi ve dağıtımı için ağların ve ekipmanın karmaşıklığı sebebiyle daha hassas koruma cihazlarının kullanılmasını gerektirir [35].

Koruma sistemleri temelde aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır.

- Ölçüm ve hata algılama röleleri,
- Kesiciler veya diğer yardımcı röleler,

- Devre kesicileri,
- Ölçüm trafoları (CT, PT).

Koruyucu röleler kullanmanın avantajları:

- Güç sistemlerinin kararlılığını ve güvenliğini artırmak,
- Sigortalara göre başka ağ arızalarını tespit edebilme,
- Kesme işlemini saplanmalı,
- Güç sistem çalışma durumlarını iyileştirmek,
- Ağ aktarım kapasitesini arttırmak,
- Ağ çökmesine yol açan ciddi olaylara karşı sistem güvenliğin artmasını sağlamaktır.

Elektrik şebekelerindeki koruma sistemleri arasında koordinasyon:

Röle koruma ayarlarını belirlemek için elektrik ağlarındaki koruma sistemleri arasındaki koordinasyonu sağlamak gereklidir. Sistem hatalarını tespit edip düzeltmek ve röle koruma özelliğini belirlemek için, sistemin tüm çalışma koşullarında hata seviyelerinin ayarlanması gerekir. Bu ayarlar, ağın en azından bir kısmını sistemden kaldırmak ve hata açığını en aza indirmek için tasarlanmalıdır [36].

Hatalar elektrik üretim santrallerinde iki ana bölümde incelenir [37]:

- Dâhili (sistem içinden kaynaklanan) hatalar,
- Harici (Dış) hatalar.

Elektrik üretim santrallerinde dâhili güç sistemi hataları ve anormal çalışma koşulları durumları şunlardır:

- Stator Hataları,
- Rotor Hataları,
- Senkronizasyon dışı jeneratör çalışma durumları,
- Motor çalışması (motor jeneratör modu) durumuna geçiş,
- Rulman (yataklarda) oluşan ısınma ve yağlanma problemleri,

- Titreşim.

Elektrik üretim santrallerinde harici güç sistemi hataları ve anormal çalışma koşulları ise şunları içerir:

- Dış Kısa Devre Hataları,
- Senkron olmayan jeneratör bağlantısı,
- Senkron moddan çıkma durumu (kutup kayması veya senkronizasyonu kaybetme),
- Aşırı yüklenme,
- Aşırı hızlanma,
- Faz dengesizliği ve negatif faz sırası oluşumu,
- Frekanstaki ani azalma ve yükselmeler,
- Gerilim düşümü ve aşırı gerilim yükselmesi.

Sistem üzerindeki bozulma veya yavaş bir düzeltme işlemi, jeneratörlerin kutup açılarının kaymasına veya sistemin geri kalanıyla senkronize edilememesine neden olabilir. Bu tür bir durum uygun olmayıp şafta zararlı mekanik baskılar uygulanmasına ve şiddetli güç dalgalanmalarına, bu da sistemindeki gerilimlerin üzerinde yıkıcı etkilere sebep olabilir. Senkronizasyon kaybı harici bir kısa devre, önemli bir endüksiyon yükünün kapatılması veya uyarma sistemindeki bir hatadan kaynaklanabilir. Aşırı hız hemen tüm yükün aniden kesilmesi veya yükte belirgin bir düşüşün sonucudur.

2.3.4. Düzenleme sistemleri

Voltaj ve frekans ayarları, düzenleyici sistemlerdeki en önemli parametrelerdendir. Bu parametreler enerji endüstrisindeki önceki kriterler olup gerilim ve frekansın yüksekliği, izin verilen aralığın dışında çıkarsa şebekeye, tesis ve ekipmana ciddi zarar verebilir ve daha büyük ölçekte sistemin kapanmasına ve bozulmasına neden olabilir [38]. Geleneksel olarak frekans ayarlayıcılar, toplam güç çıkışlarını saniyeler içinde çarpıcı şekilde değiştirebilen hızlı valflerle donatılmış hidroelektrik santralleridir. Voltaj düzenleyici ayrıca genellikle saniyenin bir bölümünde çalışan AVR sistemleriyle donatılmış senkron jeneratörlerdir. Modern denetim kontrol ve veri sistemlerinin veya kullanımının başlangıcı, 20.yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. Bu terim daha sonra sayısal değer ölçümü, durum ölçümü ve

uzaktan kumanda olarak da adlandırılmış ve mini bilgisayarların yeteneklerinin artmasıyla ortaya çıkmaya başlamıştır. Elektrik şebekelerindeki rehberliği bilgi toplama ve kontrol sistemleri olan bir dağıtım sistemi besleyicisini kontrol etmekten başka en detaylı tipine kadar, yani geniş bir coğrafi alandaki tüm üretimi, iletimi ve dağıtımı kontrol etmek için en basit biçimde kullanılabilirler. Gelişen sistemlerde modern bilgisayarlı enerji yönetim sistemlerine duyulan ihtiyaç, her zamankinden daha fazla hissedilmektedir.

Elektrik sistemlerinin güvenliğini sağlamak için statik ve dinamik yöntemler kullanılabilir. Statik güvenlik, baraların gerilim genliği ve hat verimi gibi çalışma değişkenlerini saklama yeteneğine sahip olmaktadır. Dinamik güvenlik ise bozulum gerçekleştikten sonra dinamik kararlılığı veya geçici güç sistemini koruma yeteneğine sahip olmaktadır. Jeneratörlerde, geçici stabilite jeneratörün şebeke ile senkronize olmasına neden olduğundan, sistemin geçici stabilitesi konusu literatürde çok dikkat çeken bir konu olmuştur. Şebeke kararsızlığına neden olan bozuklarının ana nedenleri üretim veya yüksek yüklerin kayıplardır. Bu bozulmaların etkileri jeneratörün rotor açısı, güç çıkışı, bara gerilimi ve diğer sistem değişkenleri gibi donanımların üzerinde görülür. Geçici ağ kararlılığına katkıda bulunan kriterler arasında: sürdürülebilir güç sistemi cihazları, faz değiştiriciler, güç kompansatörlerinin kullanımı veya süper iletken manyetik enerji depolama metotları ile geçici kararlılık iyileştirmek için birleşik güç akış kontrolörü (Unified power flow controller (C.F.P.U.)) gibi teknikler kullanılmaktadır. [39].

Ölçüm düzenlemeleri

Elektriksel ölçüm cihazları, voltaj, akım, aktif güç, reaktif güç vb. gibi çeşitli parametreleri ölçmek için kullanılırlar. Ölçüm ekipmanı bir ampermetre, voltmetre, transdüzer, wattmetre ve termometreyi içerebilir. Elektriksel ölçüm birimleri, uluslararası birimler sistemi veya SI cinsinden ifade edilir. Bunlar voltaj, akım ve direnç için sırasıyla Volt (V), Amper (A) ve Ohm (Ω) standart üniteleridir. Bir elektrik ölçüm cihazları belirli bir miktardaki aralığındaki değerleri sürekli ölçtüğünden sistemin bir parçadır. Genel olarak, ölçüm cihazları iki kategoriye ayrılır:

- Ana ölçüm cihazları,
- Yardımcı ölçüm cihazları.

Ana ölçüm cihazları, cihazın parametrelerinden birine göre ölçümlerin gerçekleştirildiği bir cihaz olduğu değerlendirilir. Ölçmek istenen miktar her zaman değişir, bu nedenle ana ölçüm cihazları sürekli kullanılır ve arzu edilen değer analitik olarak hesaplanmalıdır. süreç çoğu kez zaman almakta olup,ana ölçüm cihazları laboratuvar kullanımına uygundurlar.

Yardımcı ölçüm cihazları, istenilen değer direkt olarak ölçülür. Bu cihazlar, başka bir standart alt ölçüm cihazına kıyasla kalibre edilmektedir. Örnek olarak, voltmetre, ampermetre ve wattmetre verilebilir. Yardımcı ölçme cihazları pratikte genellikle saniyede kullanılmaktadır. Bu ölçüm cihazlar dört ana bölüme ayrılmaktadır:

- Gösterge cihazları,
- Kayıt cihazları,
- Enstrüman entegrasyon cihazları,
- Elektromekanik gösterge cihazları.

Ölçüm düzenlemeleri, yüksek kaliteli elektrik üretimi ve iletimi önemli bir parametredir. Kaliteli elektrik enerjisi, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır. Başka deyişle güç kalitesi,

- Süreklilik,
- Frekans sınırı,
- Gerilim sınırı,
- Dalga şeklinde düzgünlüğü,

demektir. Kaliteli elektrik enerjisi avantajları, şebekede meydana gelen olağandışı durumların yeri, tipi ve zamanını çok hızlı bir biçimde tespit etmeyi, elektrik enerjisi servisinin sürekliliğini ve güvenilirliğini artırma, doğru veri sahibi olmayı, orta ve uzun vadede daha sağlıklı yük tahmini yapmayı sağlar. Kalitesiz elektrik enerjisi dezavantajları ise; gerilim de genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, titreşim, gerilimde doğru bileşen, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, üç faz dengesizlikleri gibi enerji kalitesizliğidir [37].

Ölçüm cihazları farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Ölçüm türü açısından analog ve dijital olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Analog ölçüm cihazlarında, değişiklikler sürekli ve sıralı olarak gösterilir, burada göz önüne bulundurulması gereken birçok husus vardır. Örneğin analog maltimetreler, mesafe ölçümü, Cıva termometre vb. Analog ölçüm cihazları ise elektromanyetik ve elektrostatik olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Dijital ölçüm cihazlarında değişiklikler adım adım gösterilir. Örneğin iki ondalık basamak gösteren bir voltmetre 15,35 volttan sonra 15,36 sayısını verir ve bu iki sayı arasında başka bir sayı yoktur. Hem AC hem de DC sistemlerinde dijital ve analog ölçüm cihazları sıklıkla kullanılmaktadır.

Ölçüm hataları, ölçülen değer ile gerçekte ne olduğu arasındaki fark hata olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir deyişle, gürültü (noise) gibi çeşitli çevresel faktörler nedeniyle her değişken üzerindeki ölçüm süreci hataya yatkın olabilir ve bu nedenle ölçüm süreci ve değerler yanlış olabilir. Ölçüm sırasında genellikle hatalar,

- Sistematik hatalar,
- Rastgele hatalar,

olarak ortaya çıkmaktadırlar.

Sistematik hatalar birkaç faktörlerden ortaya çıkmaktadır ve bu faktörler çevresel, gözlemsel ve aletsel hatalar olarak da tanımlanmaktadır. Aynı zamanda sistematik hatalar kaynağı belirli olmayan bir hata olarak tanımlanmaktadır Örneğin, Foucault akım hataları (Foucault current errors), frekans hataları, elektromanyetik ve elektriksel alanlardan kaynaklanan hatalar, termal hatalar vb. hatalar ölçüm cihazında ve operatörde kullanılan dahili cihazlardan ve ekipmandan kaynaklanır. Operatörün bu hataların oluşumunda veya miktar değişiminde hiç bir rolü olmamaktadır. Sadece ölçüm cihazlarının imalatında uygun metotların ve kaliteli parçaların kullanılması hataları azaltabilir ancak hiç bir zaman sıfır olma imkânı yoktur. Bunlar maddeler halinde belirtilir ise [40]:

- Aletsel hatalar,
  - Ölçüm cihazı arızası,
  - Ölçüm cihazının yanlış kullanımı kaynaklı hatalar,
  - Ölçüm cihazı yüklemesi hataları,
- Çevresel hatalar,

- Gözlemsel hatalar (kullanıcının cihazı okumasından kaynaklanan hatalar).

Rasgele hatalar tamamen belirsiz bir şekilde ortaya çıkar ve ölçümün sonucunu oldukça etkileyen bir hatadır. Bu hata, bir ölçüm cihazının yanlış kullanımı gibi nedenlerle ortaya çıkar ve ölçüm yapan kişinin, belirli bir ölçüm cihazından bilgisiz ve eğitimsiz kişilerin kullanılması nedeniyle ölçülen miktarı okumasında dikkatsizliğe neden olur.

Elektriksel ölçüm cihazların birçok çeşitleri vardır örneğin, kesinti (Interruption), gerilim düşümü, voltaj dengesizliği, voltage flicker, harmonik bozulma, frekans ölçümü, voltmeter, cosine fi ölçer, ölçme transformatörleri (CT-PT), meger cihazı vb. gibi en çok kullanılanlarıdır.

2.4. Aşırı Isı Temini için Ekipman

Aşırı ısı temini için kombine ısı santrallerinde ekipmanları iki ana bölümden oluşmaktadır:

- Kazan (boyler),
- Isı pompaları,

2.4.1. Kazan

Kazan, buhar veya sıcak su üretmek için tasarlanmış kapalı bir basınç odasıdır. Aynı zamanda suyu veya diğer sıvıları ısıtmak için kullanılan bir ekipmandır. Özellikle gıda, ilaç, kâğıt yapımı, ısıtma ve soğutma sistemleri, enerji santralleri vb. gibi çeşitli sektörlerde buhar ve sıcak su üretilmek için kullanılmaktadır. Üretilen buhar, enerji üretimi, mekanik hareket gibi çeşitli sistemlerde ve ayrıca gıda endüstrisinde gıda ısıl işlemlerinde (sterilizasyon, pastörizasyon vb.) kullanılmaktadır. Buhar kazanları genellikle dökme demir veya çelik olarak üretilmekte ise de çoğu endüstriyel kazanlar sadece çelikten imal edilmiştir. Dökme demir kazanlar daha ziyade düşük basınçlı buhar üretmek için uygundur. Buhar veya sıcak su üretmek için gereken enerji doğalgaz, propan, kömür, mazot ile birincil kaynaklardan sağlanır. Kazanda aynı anda iki ya da üç tip yakıt ile kullanabilir. Aynı zamanda kazan hem yatay hem de dikey tiplerde üretilmektedir. Bu cihazların patlamasını önlemek için, uluslararası ve ulusal standartlara uygun olarak inşa edilmesi gerekmektedir [41].

Genel olarak iki tip su borusu (Water Tube Boiler) ve yangın borusu (FireTube Boiler) biçiminde buhar kazanı üretimi yapılmaktadır. İlk durum da geçiş borusu sıvı (su) içermektedir. Bu yöntem, kazanda dağılan ısı ile sıvının borular yoluyla temas yüzeyini artırır. Bu tip kazanların tasarımı, tekrarlanan patlamalar geçmişteki gibi tehlikelerle ilişkilendirilerek eski tip kazanlarda kullanılmış olup üretimini durdurulmuştur. İkinci durumda ise ilk durumun tam ters işlemi gerçekleşir. Diğer deyişle ısı kazan borularının içindedir ve borular sıvı ile kuşatılmaktadır. Bu şekilde sıvı ısıyı alır ve buharlaşır ve bu tip kazana yangın borusu tipte kazan adı verilir.

Bir kazanın ana bileşenleri, sistem için en iyi performansı sağlamak üzere yüksek kalitede olmalıdır. Ekipman, fırın ve yanma sahası, farklı boyut ve şekillerde çeşitli borular, gövde, brülör, basınç ve gaz anahtarları, hava ve yakıt kontrolörü, şamandıra haznesi, kontrol kutusu, güç pompalarından oluşup, standart bir kazanda, öncelikle teknik özellikler gözden geçirilmelidir. Levhalar, tüpler ve termometreler ve kullanıldığında süper iletken ekipman dahil kazan ham maddeleri tam olarak onaylanmalı ve tahribatsız testler ile ulusal ve uluslararası standartlara göre gerçekleştirilmelidir [42].

Kazan gürültüsü azaltma yöntemleri:

Buhar kazanlarına, oluşan yüksek ve rahatsız edici dönme, santrallerdeki çoğu buhar sistemi kullanıcısını rahatsız edebilecek önemli bir sorundur, ancak kolayca sabitlenebilir ve kazanın tabanı bir sıcak su ısıtıcısı ile değiştirilebilir. Kazanda oluşan seslerin nedeni genellikle buhar hatlarından birinin dik açılı olmaması, buhar basıncının çok yüksek olması, buhar kapağının arızalı olması veya hatların birinde sadece bir mercek olduğu söylenebilir. Kontrollerin, profesyonel bir sistemi uzman ve ekibi tarafından gerçekleştirilmesi büyük olasılıkla gürültüden kurtulmak için gereken şartları sağlanmasına ve aynı zamanda sistem performansına katkısı olacaktır.

2.4.2. Isı pompaları

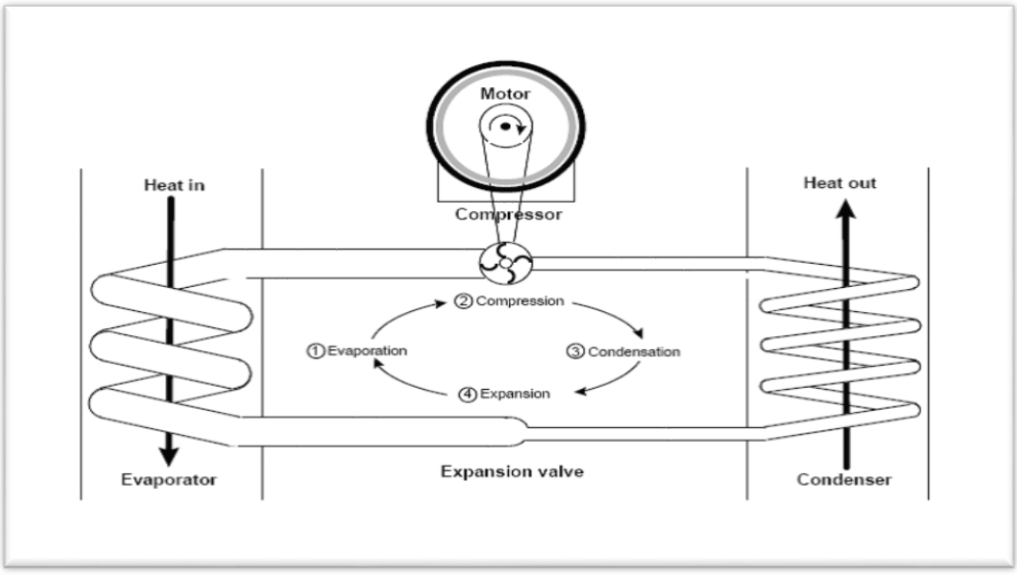
Isı pompası, bir sıkıştırma veya soğurma soğutma döngüsü üzerinde çalışan bir cihazdır ve enerji kaynağı doğal gaz, elektrik, termal enerji (toprak veya güneş enerjisi gibi) ve benzeri olabilir. Isı pompası genellikle iki parçalı bir cihazdır ve birçok iç ünitenin yanı sıra dâhili klima ve fan coil sağlayan bir dış üniteye de sahiptir.

Isı pompalarındaki iki ana bölüm:

- Sıkıştırma sistemine sahip ısı pompası,
- Emilim sistemli ısı pompası.

Sıkıştırma sistemine sahip ısı pompası

Bu tip ısı pompaları buhar sıkıştırma sistemiyle çalışır ve buharlaştırıcılardan (evaporators), kondansatörlerden, kompresörlerden ve termostatik genleşme vanalarından oluşur. Kompresör, döngüdeki soğutucu akışkan dolaşımından sorumlu olan kompresörlü soğutucunun ana kalbi ve ilk bileşenidir ve ihtiyaca göre farklı ölçülerde yapılmaktadır. Kompresörde, sıkıştırılacak gazın hacmi kompresörün taşıma miktarına göre elektrik motorunun gücünü ve boyutlarını belirlenir. Tüm soğutma sistemlerinde kapalı ve geçirimsiz bir devrede soğutucu (Refrigerant) akışkan denen bir madde kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan, bir alanın belirli bir yüzeyinin sıcaklığını düşürmek için soğutma işleminde kullanılan gaz veya sıvı formundaki bir maddedir. Kompresörün görevi, bir soğutucu akışkan akışı oluşturmak ve yüksek basınç kısmı ile düşük basınç kısmı arasında bir basınç farkı oluşturmaktır. Bu işlem de sıvının uzatma (extension) yoluyla soğutucu evaporatöre girmesine neden olur [43].

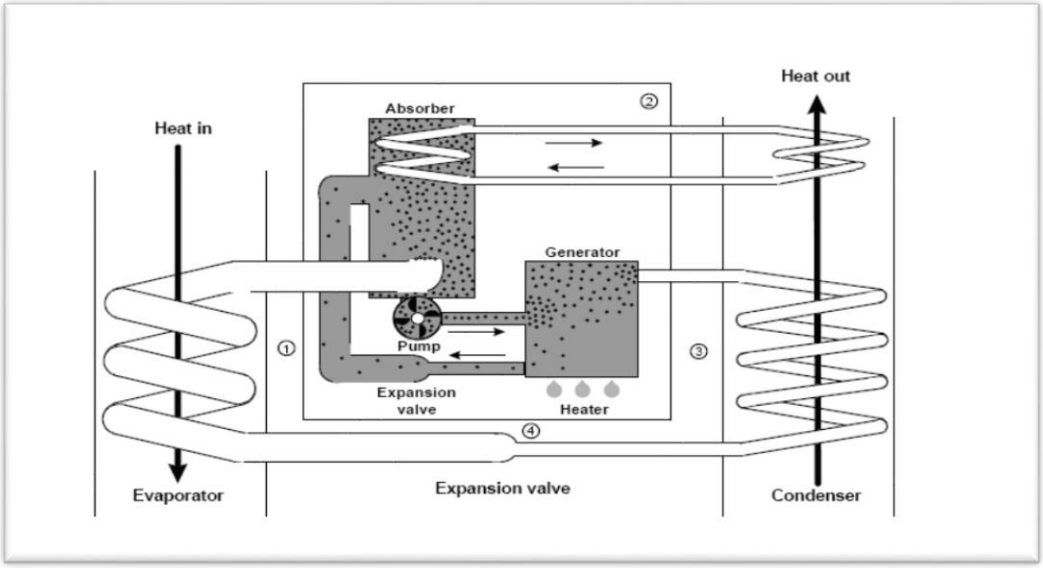


Şekil 2.14. Sıkıştırma sistemine sahip ısı pompası [44]

Emilim sistemine sahip ısı pompası

Adsorpsiyon döngüsü, soğutma etkisinin iki akışkan ve jeneratör tarafından sisteme verilen ısı miktarı kullanılarak yaratıldığı bir süreçtir. Bu ısı, benzer sıkıştırma sistemlerinde sisteme verilen elektrik enerjisinden çok daha fazladır. Geleneksel bir kondanser ve buharlaştırıcı dışında soğurmalı ısı pompası ile sıkıştırmalı ısı pompası arasındaki fark, bir soğurmalı ısı pompasının, aslında kompresörün işini yapan jeneratörler ve soğurucular olarak adlandırılan iki tür ısı eşanjörüne sahip olmasıdır. Emici ısı pompası, tip I ve II emme sistemi ile ısı pompasına bölünür. Şekil 2.'de emme ısı pompasının yapısını göstermektedir. Birinci tipte, soğutucu akışkan absorban ve jeneratör arasında dolaşır. Buharlaştırıcıda, buhar basıncı, soğutucu buhar tarafından düşürülür ve daha sonra sıvı tarafından absorban içine emilir ve böylece ısı üretir. Sıvı basıncı, pompa tarafından arttırılır ve daha sonra jeneratöre girer. Soğutucu akışkan içindeki sıvı, ısıtıcı gibi harici bir ısı kaynağı tarafından ısıtılır, böylece buhar ayrılır ve kondensere yönlendirilir. Soğutucu akışkan buharı damıtmadan sonra ısı verir. Absorbanda üretilen ısı kullanılır. Konsantre sıvı, genleşme valfi vasıtasıyla absorbana geri döndürülür [45].

İkinci tip emme sistemine sahip ısı pompası, birinci tip ile yapısal olarak aynıdır, ancak sıvı dolaşımın tersine çevirir, jeneratöre ve buharlaştırıcıya egzoz gibi düşük sıcaklıkta ısı ekler daha sonra yüksek sıcaklıkta ısıyı absorbandan alır. Bu durumda uyarma enerjisi düşük sıcaklıktaki egzozunu yüksek sıcaklık enerjisine yükselterek daha düşük sıcaklıkta bir ısı değerine sahiptir.



Şekil 2.15. Emilim sistemli ısı pompası [43].

Isı pompaların kullanım alanları konut, ticari ve çeşitli endüstrilerde klima, ısıtma ve soğutma sistemleri, sıcak su sağlamsak için düşük güçlü bir ısı pompası, havuz suyunun sıcaklığının yükseltilmesi veya malların depolanması gibi öğelerdir. yüksek güçlü pompaların kullanılması, genellikle hayvancılık ve seralar gibi faaliyetlerde, endüstriyel sektörlerde buhar sağlamak içindir.

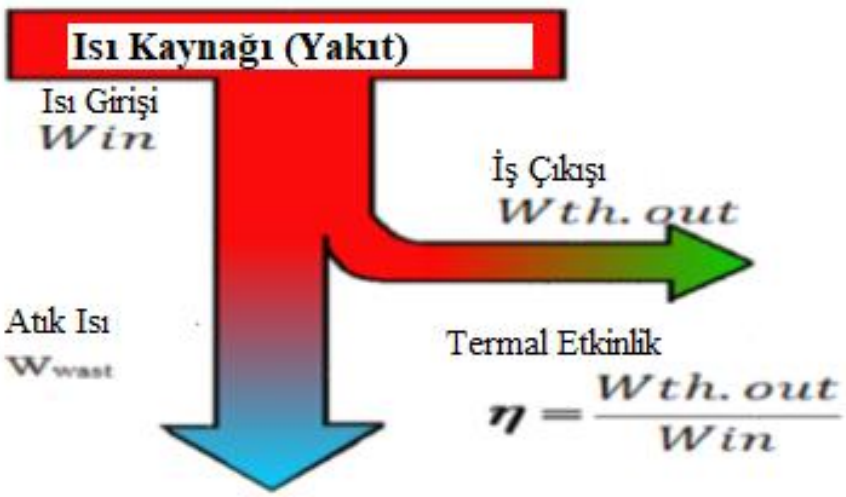
Isı pompaların avantajları ise, fosil yakıtları yeni enerji kaynakları ile değiştirerek çevrenin ve kirletici maddelerin zararlı etkilerini azaltmak, ısıtma ve soğutma sistemleri için tüketim maliyetlerini azaltmaktadır. Ayrıca enerji sektöründe üretilen karbondioksit miktarında sanayi ve yurtiçi ve ticari tüketimde önemli azalma sağlanması ve her bir birim enerji tüketimi için üç ila altı birim uygulamalı termal enerji üretimi sağlanabileceği işaret edilebilir.

2.5. CCHP Sistemlerinin Verimliliği

Enerji üretim sistemlerinde bahsedilebilen önemli parametrelerden biri enerji verimliliği olarak tanımlanmaktadır ve η harfi ile gösterilmektedir. Enerji verimliliği, faydalı enerji çıktısının enerji girdisine oranıdır. Enerji verimliliği bu tür sistemlerde temel olarak iki bölümden yani elektriksel ve ısıl verimliliğinden oluşmaktadır [46].

Elektriksel verimliliği → $\eta_{el} = \frac{Wel.out}{Win}$ (2.1)

Isıl verimliliği → $\eta_{th} = \frac{Wth.out}{Win}$ (2.2)



Şekil 2.16. Enerji Verimliliği

$W_{el.out}$: elektrik enerjisinin çıkışı

$W_{th.out}$: ısıl enerjisinin çıkışı

Win: bu sürece dâhil edilen iş veya enerji (giriş enerjisi)

CCHP sistemlerin verimliliği geleneksel sistemlere göre daha yüksektir çünkü elektrik enerjinin yanı sıra ısı ve sıcak su da üretilebilmektedir. CCHP sistemlerin verimliliğini ölçmek için birçok yöntemler olup Çizelge 2.2'de özet olarak gösterilmiştir [47].

Çizelge 2.2. CCHP sistemlerin ölçülebilir verimlilikleri

Sistem	Bileşen	Verimlilik Ölçütü
Ayrık ısıtma güç sistemleri (SHP)	Isıl Verim (Kazan)	$EFF_q = \frac{output\ Thermal\ Net\ Useful}{Enerji\ İnput}$
	Yalnızca elektrik üretimi	$EFF_p = \frac{Power\ Output}{Enerji\ İnput}$
	Ayrı ısı ve gücün Genel Verimliliği (SHP)	$EFF_{SHP} = \frac{P+Q}{\left(\frac{P}{EFFp}\right)+\left(\frac{Q}{EFFq}\right)}$
Kombine ısı, termik ve güç sistemleri (CCHP)	Toplam CCHP Sistem Verimliliği	$EFF_{total} = \frac{P+Q}{F}$
	FERC Verimlilik Standardı	$EFF_{FERC} = \frac{P+\frac{Q}{2}}{F}$
	Etkin Elektrik Verimliliği (veya Yakıt Kullanım Verimliliği, FUE):	$FUE = \frac{P}{F-\frac{Q}{EFFq}}$
	% yakıt tasarrufu	$S= 1 - \frac{F}{\left(\frac{P}{EFFp}\right)+\left(\frac{Q}{EFFq}\right)}$
P = CCHP sisteminden net güç çıkışı Q = CCHP sisteminden elde edilen net faydalı termal enerji F = CCHP sistemine toplam yakıt girişi EFF_p = Yerinden edilmiş elektrik üretiminin verimliliği EFF_q = Yer değiştirmiş termal üretimin verimliliği		

2.6. CCHP Sistemlerinin Çevresel Yönleri

CCHP, enerji verimliliği yüksek bir süreçtir ve yanma enerjisi birimini ısı ve güç üretim sistemine göre değişir. CCHP yönteminin performansı genellikle yerel yakıt tüketimini kazan gibi tek bir termik jeneratöre kıyasla, benzer çıkış gücüne sahip sistemlere göre az da olsa artırır. Ancak, geleneksel ısı ve elektrik üretiminde ortaya çıkan yakıt tüketimiyle karşılaştırıldığında, yaklaşık %35 tasarruf sağlar [48]. CCHP Sistem ekipmanının boyutunun ve türünün, çevresel etki de dahil farklılık göstereceği açıktır. Bu etkilerden en önemlileri; yanma ürünleri, ses ve sistem atıklarının salınmasıdır.

<u>CCHP motorundaki yanma ürünleri [49]:</u>

- CO_2 (karbondioksit),

- NOx (Nitrojen oksit),
- SO_2 (Kükürt dioksit),
- CO (Karbonmonoksit),
- HC: (Yanmamış hidrokarbonlar),
- Asılı parçacıklar,
- Gürültü kirliliği.

CO_2: Sera etkisine ve iklim değişikliğine neden olan en önemli yanma ürünleridir. Üretilen CO_2miktarı, tüketilen yakıt miktarına bağlıdır ve bu nedenle, CCHP sisteminin kullanımı CO_2 emisyonlarını azaltır.

NO_X: Azot oksitler, her türlü yakıtın yanmasının yan ürünleridir. Ancak üretim hızı yanma, yanma basıncı, yanma odası geometrisi ve yakıt-hava oranı gibi faktörlere bağlıdır. Bu gazın atmosfere aşırı salınması, smog fenomenine, ozonun ayrışmasına ve asit yağmuruna neden olur. Bu yüzden çoğu araştırmalar bu gazı azaltmaya odaklanmıştır. NO_X'i azaltmak için önerilen yöntemler şunlardır:

- Burner engine (Thin burner) kullanımı,
- Üç yollu konvertör katalizörlü stokiyometrik motorların kullanması,
- Selective katalitik azaltıcı (Catalytıc reduction) Kullanım,
- Isı transferi sayesinde, bacadan çıkan egzoz kazan girişini besler. Bu yöntem, tutuşma koşullarını iyileştirir ve giriş havası sıcaklığını% 2,5 değerinde yükselterek her 40 derece santigrat için kazanın genel verimliliğini arttırır. Erime noktasına yakın işlem gazlarının sıcaklığı çok düşük ise korozyona neden olan baca gazlarında yoğunlaşma olasılığı vardır. Yanma havası sıcaklık artışı nedeniyle NO_x kirletici emisyonu için çevre temizleyicidir.

SO2: Bu gaz, sülfürik yakıtların yanması neticesinde ortaya çıkan bir yan üründür ve suyla birlikte bir asit oluşturur. Bu nedenle, atmosfere aşırı emisyon yapılması durumunda asit yağmurunun oluşmasına ilave olarak egzoz gazlarının CCHP sisteminden damıtılması durumunda bacalarda ve konvertörlerde ciddi korozyona neden olur. Kükürt doğal gazda çok düşüktür, ancak dizel ve biogazda önemli derecede yüksek olup kullanılması dikkatlice değerlendirilmesi gerekir.

CO: Eksik yanma sonucu oluşan zehirli ve ölümcül bir gazdır ve çoğunlukla uygun yakıt-hava oranı kontrolü ile giderilebilir.

HC: Uzun karbon zincirli organik moleküller, yanma işleminin partikül madde ve CO ile zayıf kontrolü ile üretilirler. Normal şartlar altında, bu bileşiklerin çıktısı önemli bir sorun olarak kabul edilmez. Ancak aşırı salımı hava kirliliğine ve sera etkisine neden olur.

Asılı parçacıklar: Bu ince parçacıklar ayrıca, motorda yakıtın eksik yanması nedeniyle oluşur ve çevreye renkli duman şeklinde yayılır. Bu şekilde canlıların nefes almasına engel olmasının yanı sıra, şiddetli kamuoyu tepkisi oluşturur.

Gürültü kirliliği: Kazan gövdesindeki kontrolsüz ısı dağılımı ve radyasyon kayıpları, kazanın verimliliğini azaltan diğer parametrelerdir. Kazan gücünün düşürülmesiyle, radyasyon kaybı oranı %7'ye kadar yükselebilir, bu nedenle gövdenin düzgün yalıtılması, ısı kaybını ve kazandan gelen radyasyon kayıplarını azaltır, böylece kazan verimini arttırır. Polipropilen bazlı ses yalıtımı nanokompozitler, yüksek yoğunluklu, iyi boyutsal kararlılıklı, kimyasal direnci yüksek ve ses yalıtımı özellikleri gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır. Bu ürün, polipropilen boruların ve bağlantıların doğrudan geçişli ve diğer benzer uygulamalarla enjekte edilmesi için uygundur. Bu nanokompozitler, bu tür itici gazların özelliklerinin yanı sıra, gaz endüstrisi ve benzeri endüstrilerde gaz iletim boruları dâhil olmak üzere, propilen boru ve ek parçalarının uygulanmasından dolayı sanayide gürültü kirliliğini azaltmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Elektrik endüstrisindeki ses yalıtım sistemlerinin kullanımından bunlar söz edilebilir, rock wool blanket, rock wool pipe, rock wool board, rock wool felt isimleriyle adlandırılırlar [50].

3. CCHP SİSTEMLERİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

CCHP sistemleri enerji tüketimini optimize etmek, şebekedeki iletim ve dağıtım kayıplarını azaltmak ve büyük enerji santrallerinde fosil yakıt yanma kirliliğini azaltmak için kullanılan sistemlerdir. Öte yandan büyük santraller, yüksek kapasite ve hacimleri nedeniyle yatırım, kurulum ve bakım maliyetlerinin yanı sıra çoğunlukla düşük elektrik verimliliğine sahiptir ve yüksek yakıt tüketiminin yanı sıra çevreye zararlı maddeleri de dışarıya salmaktadırlar. Daha yüksek güvenilirlik, elektrik endüstrisinde yeniden yapılanma vb. gibi faktörlerin birleşimleri gelişmiş ülkeler de CCHP sistemlerin daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Genel olarak %70-90 verimlilikle çalışan CCHP sistemlerinin kullanılması, enerji tüketimini optimize etmek için en etkili çözümlerden biridir. Ancak gerekli parametreler dikkatlice seçilmezse, tasarım performansı düşebilir. Bu nedenle, CHP sistemindeki ekonomik parametreleri belirlemek için çeşitli yöntemler önerilmiştir [51].

Çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan en önemli ekonomik değerlendirme yöntemleri:

- Maliyet analizi (Ca-cost analysis): Programın tüm maliyetlerinin para birimine göre detaylı ve ayrıntılı bir şekilde toplandığı, organize edildiği ve analiz edildiği sistematik bir ekonomik değerlendirme yöntemidir [52].

- Maliyet etkinliği analizi (Cea-cost effectiveness analysis): Sistemin hedeflerine ulaşmada ve beklentileri karşılamada ne kadar başarılı olduğunu ve maliyet etkinliğinin bir sistemin hedeflerine ulaşma kapasitesinin ne kadar iyi olduğunun bir ölçüsüdür. Gerçekte mümkün olan en düşük maliyetle belirli bir ürün veya hizmeti gerçekleştirmeye dayanmaktadır [53].

- Kullanım-maliyet analizi (Cua-cost utility analysis): Sistemin maksimum hedeflerine ve kuruluş tarafından tanımlanan en fazla arzu edilen hizmetleri gerçekleştirmedeki başarısını ölçmenin bir yoludur [54].

- Fayda-maliyet analizi (Cba-cost benefit analysis): Bir sistemin plan veya programın tüm maliyet ve sonuçları (para birimi bazındaki faydalar ve zararlar dâhil) karşılaştırılan bir analiz metodudur[55].

Bunlar arasında maliyet analizi kısmi değerleme olarak bilinir çünkü yalnızca belirli bir müdahale veya kararın maliyetlerini karşılaştırmaz ve odaklanmaz. Ancak diğer üç yönteme tam değerlendirme denir çünkü iki veya daha fazla müdahalenin maliyetini ve etkinliğini değerlendirmek için karşılaştırmalı bir çerçeveye sahiptirler.

Karar vermede nicel yaklaşımlar arasında son yıllarda popüler olan. projenin arzulanan ve istenmeyen etkileri hakkında yararlı bilgiler geliştirerek seçeneklerin kapsamını daraltmak için etkili bir araç olarak kullanılan maliyet-fayda analizidir. Pek çok iktisatçı için Fayda-Maliyet Analizi, refah ekonomisindeki kökleri nedeniyle ekonomik değerlendirmenin en geniş yöntemidir.

Fayda-Maliyet Analizi, yatırım projelerinin nispi oranlarını, kaynakların en uygun ve verimli tahsisi açısından değerlendirmenin bir yöntemidir ve amacı ekonomik refah için kaynak verimliliğini arttırmaktır. Başka bir deyişle değerlendirmenin amacı, kaynakları en iyi ve en uygun şekilde kullanmak için en iyi karar verme türünü seçmeye yardımcı olmaktır. Ülkelerdeki ekonomik planların Fayda-Maliyet Analizi, dünyadaki enerji gelişmelerinin geçerli koşulları göz önüne alındığında, özellikle önemlidir. Ayrıca kamu ve sosyal politikaların yarar ve maliyetlerine karar vermek için kullanılır. Amerika Birleşik Devletleri'nde Çevre Koruma Ajansı karar verme sürecinde düzenli olarak Fayda-Maliyet Analizini kullanır. Örneğin, Los Angeles ve Kaliforniya kentlerindeki kirlilik oranları ve kirlenmeyi, hesaplanan maliyetlerden azaltmanın toplam faydalarında bir artış olduğunu göstermiştir ve sonuç olarak bu alanda benimsenen politikalar da, bu bulgulardan başarıyla etkilenmiştir.

<u>Fayda-maliyet hesaplama süreci</u>

- Projenin hedefinin tanımlaması,
- Maliyet ve faydaların tahmini,
- Yatırım kararı kriterleri,

- Şimdiki net değeri (Net present value (NPV)),
- Yatırımın geri dönüşü (Return on ınvestment (ROI)),
- Geri ödeme süresi (Payback period(PBP)),
- İç Karlık Oranı (Internal Rate of Return(IRR)),
- Fayda -Maliyet Oranı (Benefit-Cost Ratio (BCR)),
- Maliyet etkinliği analiz yöntemi,
- Eşik analizi yöntemidir.

3.1. Tez Çalışmasının Hedefinin Tanımlaması

Projenin hedefleri açık ve gerçeğe dayalı, ayrıca projenin başlangıcı ve sonu açık olmalıdır. Proje hedefleri uygulanabilir bir şekilde seçilmeli böylece projenin genel ilerlemesi ölçülebilmelidir. Proje hedefleri ne kadar özenli seçilirse hatanın proje sonunda ortaya çıkma olasılığı o kadar düşük olacaktır. Ancak gerektiğinde projenin başarısızlığını azaltmak için proje süresince elde edilen bulguların gözden geçirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Hedefler belirlenirken bazı önemli hususlar dikkate alınmalıdır. Bunlara örnek kalite, organizasyon, iletişim ve risk verilebilir. Diğer bir deyişle, proje değerlendirmesi, projenin istenen sonuçlarını belirlemek için projenin faydalarını belirlemelidir. Ayrıca, proje ile hedef arasındaki ilişki gerçekçi bir değerlendirme yapabilmek için açıklayıcı ve şeffaf olmalıdır [56].

3.2. Maliyet ve Faydaların Tahmini

Proje maliyet-fayda analizi, bir yöntemin değerinin diğeriyle ilişkili olması için farklı uygulama yöntemleri arasında seçim yapmayı içerir. Bu nedenle, projeyi değerlendirmenin maliyet ve faydaları, projenin kendisine ait değildir. Maliyet-Fayda analizi belirli olan maliyetleri ve belirli olmayan maliyetler olarak iki ana bölüme ayrılmaktadır. Belirli olan maliyetler piyasaya göre belirlenir ancak belirli olmayan maliyetler ise piyasa tarafından belirlenmez. Proje değerlendirmesinde maliyet ve faydaların değerlendirilmesi sürecinde temeli aşağıdaki gibidir.

- Piyasa fiyatı (market price),
- Gölge fiyatları (shadow prices),
- Olası değerleme (possible valuation),

- İndirgeme oranının seçimi (select discount rate).

Piyasa fiyatı tekel ve işsizlik gibi kusurların yokluğunda, maliyet ve faydaların mutabık kılınması için en iyi temel piyasa fiyatıdır. Gölge fiyatları piyasada bir kusur olması durumunda, fiyat katmanı bir malın sosyal maliyetini temsil eder. Olası değerleme ise piyasa da fiyatın olamadığı süreçte kullanılan bir yöntemdir. İndirgeme oranının seçimi ise piyasa oranı, gelecekteki yatırımlardan beklenen getiri, gelecek kazançlar için şirketin ve hissedarlarının yönetiminin özellikleri ve önemi gibi faktörlere bağlıdır.

3.3. Yatırım Kararı Kriterleri

3.3.1. Şimdiki net değeri

Bu yöntem, ekonomik analistlerin en önemli finansal araçlarından biridir ve bir şekilde bu yatırımın maliyetinin kârından gelip gelmeyeceğini belirler ve ilk yatırım tutarını yatırım getirisinin değeriyle karşılaştırır. Bu yöntem iki sebepten dolayı önemlidir: İlk olarak, net bugünkü değerin hesaplanmasında, paranın zaman değeri dikkate alınmakta ve gelecekteki nakit akışları, bugünün parasının değeri olarak ifade edilmektedir. İkinci olarak, yöneticiler net bir rakamın bugünkü değerini hesaplayarak, yöneticiler yatırılan ilk nakit tutarını öz kaynak kârlılığının bugünkü değeri ile kolayca karşılaştırabilirler. Aynı zaman da varlığın net bugünkü değerini hesaplayarak yöneticilerin yatırım yapılan ilk nakit tutarını öz kaynak kârlılığının bugünkü değeri ile kolayca karşılaştırabileceği kesin bir rakam elde ederler. Aslında, bu değerlendirmenin, belirli bir zaman periyodu boyunca giriş ve çıkış akımları arasındaki farkın bir hesaplaması olduğu söylenebilir ve nakit girişi, gelirlerin ve azalan değerlerin toplamıdır. Bununla birlikte vergiler dâhil bu süre içinde ortaya çıkan maliyetlerin toplamıdır.

Net bugünkü değer (Net Present Value - NPV) şu şekilde hesaplanır[57]:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t} \frac{Ct}{(1+r)^t} - Co \qquad (3.1)$$

C_t: Nakit akışına dayanan az miktarda gelir veya giderdir,

C_0: Toplam ilk yatırım maliyeti,

r: İndirgeme oranının,

t: Zaman aralıklarının sayısı,

$\sum_{t=0}^{t} \frac{Ct}{(1+r)^t}$: t zaman içinde net nakit girişi.

Net bugünkü değerin temel kullanımlarından biri mühendislik ekonomisini incelemek ve projelerin teknik ve ekonomik gerekçelerini değerlendirmektir. Örneğin, önerilen Samsun Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı Projesi'nin BORASCO tarafından yapılması planlama projenin yatırım maliyeti yaklaşık 499 milyon Euro, sabit işletme giderlerinin ise her yıl için 10 milyon Euro olacağı öngörülmüştür. 890MW kurulu güce sahip olması planlanan santralin gaz temini BOTAŞ'ın Mavi Akım Doğal Gaz Boru Hattı'ndan sağlanacaktır. Bu proje ile ilgili tüm veriler Çizelge 3.1'de verilmektedir. Çizelge 3.1 verileri kullanarak net bugünkü değerini hesaplanmaktadır [58]:

Çizelge 3.1. Yatırım hesaplama çizelgesi

İş Kalemi	Maliyet
Anahtar Teslim Tesis Maliyeti	378,5 milyon €
Yardımcı Üniteler	43,5 milyon €
Arsa ve Saha Hazırlık İşleri	5,7 milyon €
Gaz Bağlantısı	0,5 milyon €
Enerji Nakil Hattı	23 milyon €
Proje Geliştirme ve Faaliyet Öncesi Giderler	7 milyon €
Mühendislik Hizmetleri	3 milyon €
Yedek Parça Giderleri	8 milyon €
Su Temini İnşaat İşleri	2 milyon €
Muhtelif Giderler	1,5 milyon €
İhtiyat Kalemi	27 milyon €
Toplam Yatırım Bedeli	499,7 milyon €

Çizelge 3.2. Örnek çalışmanın finansman kaynakları

Öz kaynak (%20)	99.938.000 €
Proje Finansman Kredisi (%80)	399.752.000 €
Toplam	499.690.000 €

Doğal gaz kombine santralinin inşaata başlanarak, yaklaşık 14 aylık inşaat montaj işleri yürütülecektir ve santralin Aralık 2010 yılında işletmeye geçmesi öngörülmüştür ve tesisin ekonomik ömrü 30 yıl olacak şekildedir.

Çizelge 3.3. Finansman özet çizelgesi

Enerji Santrali Tesis Bedeli	421.990.000 €
Diğer Yatırımlar (Altyapı, Ruhsat vb)	77.700.000 €
Toplam Yatırım Tutarı	499.690.000 €
Elektrik Enerjisi Birim Satış Fiyatı	7,4 € cent/kWh
Yıllık Elektrik Enerji Satış Miktarı	6395 GWwsaat
Yıllık Toplam Gelir Tutarı	476.483.000 €
Ödenecek Yıllık Kurumlar Vergisi	6.912.000 €/yıl
İşçilik Ücretleri ve Genel Yönetim Giderleri	13.285.000 €/yıl
Yakıt Gideri	378.684.000 €/yıl
Lokal Hizmet Alımları Toplamı-Yıllık	1.500.000 €/yıl
Proje'nin Yıllık Net Karı	76.102.000 €

Toplam net bugünkü değeri hesaplama özeti Çizelge 3.4'de verilmektedir:

Çizelge 3.4. Toplam NPV hesaplama özeti

Yıl	Nakit Girişi (€)	İskonto Oranı (%)	Nakit Akımların Bugünkü Değerleri (€)
1	76.102.000	10	69,183,636.36
2	76.102.000	10	62,894,214.88
3	76.102.000	10	57,176,558.98
4	76.102.000	10	51,978,689.98
5	76.102.000	10	47,253,354.53
6	76.102.000	10	42,957,595.02
7	76.102.000	10	39,052,359.11
8	76.102.000	10	35,502,144.65
9	76.102.000	10	32,274,676.95
10	76.102.000	10	29,340,615.41
11	76.102.000	10	26,673,286.74
12	76.102.000	10	24,248,442.49
13	76.102.000	10	22,044,038.63
14	76.102.000	10	20,040,035.12
15	76.102.000	10	18,218,213.74
16	76.102.000	10	16,562,012.49
17	76.102.000	10	15,056,374.99
18	76.102.000	10	13,687,613.63
19	76.102.000	10	12,443,285.12
20	76.102.000	10	11,312,077.38
21	76.102.000	10	10,283,706.71
22	76.102.000	10	9,348,824.281
23	76.102.000	10	8,498,931.164
24	76.102.000	10	7,726,301.059
25	76.102.000	10	7,023,910.053
26	76.102.000	10	6,385,372.776
27	76.102.000	10	5,804,884.342
28	76.102.000	10	5,277,167.583

Çizelge 3.5. (devam) Toplam NPV hesaplama özeti

Yıl	Nakit Girişi (€)	İskonto Oranı (%)	Nakit Akımların Bugünkü Değerleri (€)
29	76.102.000	10	4,797,425.076
30	76.102.000	10	4,361,295.523
Toplam Nakit Akımların			717,407,044.8

$$NPV = \sum_{t=0}^{30} \frac{Ct}{(1+r)^t} - Co = 717{,}407{,}044.8 - 499{,}690{,}000 = 217{,}717{,}045 \ €$$

Bu metoda dayanan bir projenin değerlendirilirken, Net bugünkü değeri NPV sıfıra eşit veya büyük ise proje ekonomik olarak gerekçelendirilebilir, aksi takdirde ekonomik olarak gerekçelendirilemez. Öz kaynaklar açısından Çizelge 3.4'de net bugünkü değeri daha yüksek bir plan veya bugünkü değeri düşük bir plan da seçilebilir ve aynı zamanda projenin ömrü boyunca paranın zaman değerini de dikkate alınmalıdır.

3.3.2. Yatırımın geri dönüş oranı

İş ve sermaye dünyasında büyük şirketlere bağlı küçük bir reklam ve pazarlama şirketleri de dahil kâr elde etmelidir ve aksi takdirde bu şirketlerin hayatta kalması tehlikede olacaktır. Bu nedenle dolayı bir işletme pazarlama başarısını olabildiğince çabuk ölçebilmeli, yani sermaye getirisi oranı ve hesaplama yöntemi olarak adlandırılan ekonomik değerlendirme yöntemlerinden birine aşina olmalıdır. Öz kaynak kârlılığı oranı (ROI), maliyetin toplam gelirinden çıkarılması ve toplam maliyete bölünmesi ile hesaplanır [59].

$$ROI = \frac{Yatırımın\ Mevcut\ Değeri - Yatırım\ Maliyeti}{Yatırım\ Maliyeti} \times 100 \qquad (3.2)$$

Görüldüğü üzere, sermaye getirisi oranını hesaplamak için kullanılan formül basit ve aynı zamanda geniştir. Örneğin, bir yönetici bu denklemdeki gelir ve maliyet yerine net satış ve satılan malın maliyetini dikkate alabilir. Bununla birlikte yatırımcı, denklem hakkında daha

küresel bir görüşe sahiptir ve toplam satış ile işletme ve işletme dışı maliyetler de dâhil olmak üzere ürünün üretilmesi veya satılması sürecinde ortaya çıkan tüm maliyetleri kullanır. Sermayedeki getiri oranının hesaplanması, yatırım tartışmasında en yaygın faiz oranlarından biridir, çünkü çok basit ve uyarlanabilirdir. Yöneticiler bu oranı, pahalı ve satın almak için çok fazla maliyet gerektiren sermaye ekipmanı satın alma performanslarını karşılaştırmak için kullanabilirler. Oysa yatırımcılar hangi hisselerin daha iyi performans gösterdiğini hesaplayabilirler. Yukarıda ki örneği (Samsun Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı) temel alarak yatırımın geri dönüşü şöyle hesaplanmaktadır:

$$ROI = \frac{717{,}407{,}044.8 - 499{,}690{,}000}{499{,}690{,}000} \times 100 = 43.57$$

3.3.3. Geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi, bir yatırımın sağladığı nakit akımlarının, kaç ödeme sonra o yatırım için kullanılan fon çıkışına eşit olacağını gösteren süre şekilde tanımlanabilir. Bu yöntem, hesaplaması kolay olduğu için çoğu finansal analist tarafından kullanılan ekonomik planları değerlendirmek için standart yöntemlerden biridir ve aynı zamanda planın değerlendirilme kriteri kısa ve uzun süreli yatırım getirisidir (geri ödeme süresi her ne kadar kısa sürede olursa yatırımcıların ilgisini çekebilir). PBP yöntemi iki veya daha fazla tasarımı birbiriyle karşılaştırmak için özellikle yararlı bir yöntemdir. Eğer yatırımdan beklenen nakit akımlarının her yıl sabit olacağı tahmin ediliyorsa bu durumda geri ödeme süresi başlangıçtaki yatırım tutarının beklenen yıllık nakit akımlarına bölünmesiyle hesaplanır. Eğer beklenilen yıllık net nakit akımları sabit olmayıp her yıl değişiyorsa bu durumda geri ödeme dönemi birbirini izleyen yıllardaki nakit akımlarının başlangıçta yapılan yatırım tutarına eşit olduğu noktaya kadar toplanmak suretiyle hesaplanır [60].

$$PBP = \frac{Yatırım\ Tutarı}{Yıllık\ Net\ Nakit\ Gelirleri(Net\ Kar + Amortisman)} \qquad (3.3)$$

Yukarıda ki örneği (Samsun Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı) baz alarak geri dönem süresi hesaplanırsa:

$$PBP = \frac{499{,}690{,}000}{76{,}102{,}000} = 6{,}5\ yıl$$

olarak bulunur.

3.3.4. İç karlılık oranı

Projelerin ekonomik belirlenmesinde ve seçilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri iç karlılık oranı yöntemidir. İç karlılık oranı (IRR), bir projenin kar veya zararını belirleyen orandır. Ekonomik analistler genellikle bu faktörü net bugünkü değer veya NPV ile birlikte kullanırlar. Bunun nedeni her iki yöntemin de benzer olması ancak farklı değişkenlere sahip olmasıdır.

Bu yöntemde ölçüt, iç karlılık oranı olarak adlandırılan (oran) kriterine dayanan bir projeyi kabul etmek veya reddetmektir. Belirli bir oranda (her zaman aynı oranda olmasa da) gelir dengesini (yıllık gelir, azalan değer vb.) ve masrafları (başlangıç sermayesi, yıllık giderler vb.) bir arada aramak mümkün değildir. Bu oran (veya oranlar) iç verim oranı olup, açık bir şekilde geri dönüş oranı, projelerin ekonomik bir proje olduğunu belirlemek için gereken koşulları sağladığının göstergesidir. Aynı zamanda ilk yatırım ve karlılık endeksindeki faiz getirisi veya indirgenmiş nakit akış oranı olarak da bilinir ve aslında bu değerlendirme bir banka gibi projenin karlılığını ölçmemiz için yatırımcıya bir bilgi verecektir. Net bugünkü değer yardımı ile proje için belirli bir indirim oranı elde edebilir ve daha sonra yatırımın bugünkü değeri hesaplanabilir. Ancak iç karlılık oranında, proje nakit akışlarındaki gerçek getiriyi hesaplamak ve ardından bu karlılık oranını proje engeliyle veya kota oranıyla karşılaştırmak gerekir. Yurtiçi karlılık oranı daha yüksekse yatırım değerli bir yatırım olarak değerlendirilir ve kota veya engel oranı sermaye yatırım kararları almak için hükümet, banka, şirket vb. tarafından belirlenen sözleşmede belirtilen karlılık oranıdır. Tek dezavantajı, yurt içi karlılık oranı net bugünkü değerden daha kavramsal olmasıdır.

Şirketler ve kuruluşlar yatırımları değerlendirmek için genellikle her iki faktörü, yani iç karlılık oranını ve net bugünkü değeri birlikte kullanırlar. Mevcut net değer, beklenen yatırım verim hakkında daha fazla bilgi sağlar, ancak ekonomik analizörler, iç karlılık oranı daha anlaşılabilir olduğundan, finansal konularda uzman olmayan kişilere rapor vermek için genellikle iç karlılık oranını kullanırlar. Bu yöntemin bazı sınırlamaları vardır. IRR metodu,

nakit akış tahminini ve bazen belirlenmesi zor olan minimum miktarda etkin yatırımı gerektirir ve proje analizi için her iki metodun da kullanılması tercih edilir [61].

$$NPV = \sum_{t=0}^{t} \frac{Ct}{(1+r)^t} - Co \ = 0 => IRR \qquad (3.4)$$

Yukarıdaki örneği (Samsun Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı) baz alarak IRR son cevabı şöyledir:

IRR'ı hesaplamak için önce bir iskonto oranı belirmemesi gerekmektedir ve seçilen projede %10 belirtilmiştir. %10 iskonto ile hesaplanan net nakit girişlerinin bugünkü değeri toplamı 717.407.045€, yatırım tutarının bugünkü değeri 499.690.000€ ve net bugünkü değeri ise 217.717.045 olarak hesaplanmıştır. Yatırımın net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranı arandığına göre (bilindiği gibi iç verim oranı yatırımın net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır) iskonto oranının değiştirilmesi gerekmektedir. %10 iskonto oranı üzerinden net nakit girişlerinin bugünkü değeri 717.407.045€ olarak bulunmuştur. Bu tutarı 499.690.000€ eşitleyen iskonto oranı aranmaktadır, Diğer değişler bu tutarın (net nakit girişlerinin bugünkü değeri toplamı olan 717.407.045€) azalması gerekir. Bugünkü değer ile iskonto oranı arasında ters yönlü bir ilişki olduğu için, belirlenecek ikinci iskonto oranının %10'den büyük olması gerekir. İskonto %15 seçerek tekrar hesaplamalar yapılmış ve elde edilen bu hesaplamaların özeti aşağıda verilmektedir:

Net nakit girişlerinin bugünkü değeri: 499.684.182,3€,
(-)Yatırım tutarının bugünkü değeri: 499.690.000€,
Yatırımın NPV değeri: -5,817.68729€.

Yatırımın net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranı %15'de değildir. Bundan sonra denemeye devam edilebilir. Ancak iskonto değeri %15 den küçük ve %10'dan büyük olarak tanımlanmalıdır. Burada deneme sayısını daha fazla arttırmamak için, bulunan iki iskonto oranı kullanarak, içi karlılık oranı aşağıda ki şekilde hesaplanabilir[62]:

$$IRR = 0{,}10 + \left(\frac{217{,}717{,}045}{217{,}717{,}045 - (-79{,}850{,}034)} \times (0{,}15 - 0{,}10) \right) = 0{,}107 \cong 0{,}11$$

3.3.5. Fayda-Maliyet oranı yöntemi

Fayda-maliyet oranı analizi, belirli bir politika veya uygulama çabasının maliyetlerini ve kaynaklarını mümkün olduğunca ölçer. Politikaların veya yürütme eylemlerinin maliyet kaynakları finansal bir sorun olduğu için, maliyet-fayda analizi para cinsinden ölçümleri kullanarak gerçekleştirilir ve nispeten az veri kullanır.

Fayda Maliyet Oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [63]:

$$BCR = \frac{\sum_1^n \frac{Bt}{(1+r)^t}}{\sum_1^n \frac{Ct}{(1+r)^t}} \quad (3.5)$$

C_t : Nakit akışına dayanan az miktarda gelir veya gider,.

B_t: Proje gelirleri,

r: İndirgeme oranı,

t: Zaman aralıklarının sayısıdır.

3.3.6. Maliyet etkinliği analiz yöntemi

Maliyet etkinliği yaklaşımı faydalardan para kazanılmaması ve maliyet tahminlerinin parasal olmaması dışında değerlendirme olup Fayda-maliyet yönetimine biraz benzerdir. Bu değerleme yönteminin amacı en düşük maliyete, sosyal, çevresel, sağlık vb. olumsuz etkilere sahip olmayan bir yatırımı tanımlamak ve aynı zamanda bu alanlarda en fazla faydayı sağlamaktır. Maliyet etkinliği analizi kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli noktalar:

- Bu analiz ile daha az maliyetli olan programlar belirlenmelidir,
- Bu değerlendirme türü, farklı sektörlerdeki programların farklı hedeflerle karşılaştırılmasına yardımcı olmalıdır,
- Bu değerlendirme türün hedefleri nicel göstergelerle ölçülebilen programları analiz etmelidir,
- Her proje için farklı etkililik ölçütleri uygulanmalıdır,

- Tüm masrafların birinci yıla ait olması durumunda, indirim için maliyetlerin belirlenmesi gerekli değildir,
- Eğer bütçe tavanı belirtilmiş ise ve birkaç plan varsa, o zaman kaynakların programa tahsisi, bütçe tükenene kadar sırasıyla daha düşük maliyetli olacaktır,
- Maliyet etkinliği analizinde karşılaşılan en zor ise pratik sorun uygun verilerin olmamasıdır; örneğin, sağlık önleme programlarının olası etkileri hakkındaki veriler nadiren kesindir,
- Fayda-maliyet analizi ile karşılaştırıldığında, maliyet-etkinlik analizi veri problemleriyle daha iyi eşleşebilir, çünkü birçok uzmanın görüşlerini ve birçok müşterinin değerlerini içeren duyarlılık analizi adı verilen bir adımı vardır ve verilerdeki belirsizliği ortaya çıkarır.
- Bazıları insani değerlerle örtüşen durumlarda maliyet etkinliği analizini tanımlamaktadır ve halk sağlığı veya çevre gibi kentsel gelişim hedeflerinin bir kısmının ölçülmemesi gerektiğini söyler. Bunun cevabı bazı kararların risklerinin en aza indirilmesi gerektiği yönünde olduğunu söylemektedir.
- Programların etkinliğini belirlemek ve sonuçların karşılaştırılabilmesi için homojen olması gerekir. Maliyetler eşitse ve sonuçlar farklıysa programların verimliliği daha açık olacaktır.

3.3.7. Eşik analizi yöntemi

Bu yöntemde kent ekonomisinin ortalama maliyetini yükselten fiziksel ve yapısal kısıtlamalar eşik olarak bilinmektedir. Maliyetli olmadıkça bu engellerin üstesinden gelinemez. Bu durumda ortalama kentsel gelişim maliyeti azalır ve genellikle başka bir eşik bulunmayana kadar değişken kentsel maliyetler için eşikleri hesaplar. Örneğin; çölleşme, taşkınlar, göl ve su kemerlerinin ıslahı, kentsel altyapı, kentsel gelişim için yüksek eğimli arazilerin değiştirilmesi ve hazırlanması vb. bu engellerin bir parçası olabilir.

4. BİR FABRİKA İÇİN CCHP UYGULAMASI VE SONUÇLAR

4.1. Fabrika Yükleri

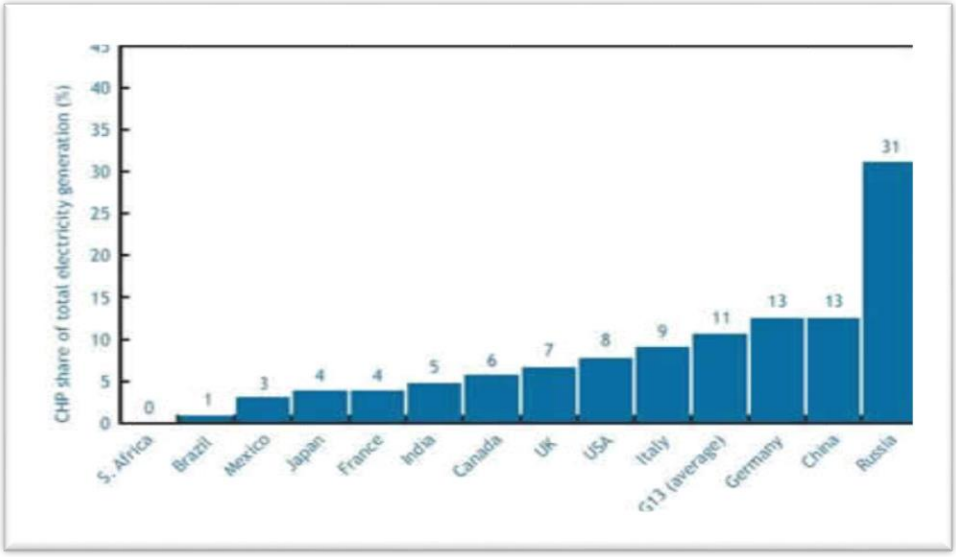
Elektrik ve ısı birlikte üretimi, yerinde üretimin (on-site generation (OSG)) en önemli uygulamalarından birisidir. Yakıt yanma işlemi sırasında salınan ısının artan kullanımı, enerji verimliliğini arttırır ve yakıt tüketimini azaltır böylece birincil enerji arzı ile ilgili maliyetleri azaltır. Bu sistemlerden geri kazanılan atık ısı ısıtma, soğutma ve birçok endüstriyel işlem için kullanılabilir. Elektrik ve ısı birlikte üretimi, yakıt verimliliğini artırmanın yanı sıra emisyonları da azaltabilir. Bu durumda enerji üretim sürecinde üretilen ısı enerji kaynağı olarak kullanılır. Üretim endüstrileri hastaneler, binalar ve büyük ofisler, çamaşırhaneler vb. gibi gün boyunca çok fazla ısıya ihtiyaç duyan tüketiciler maliyetlerini düşürmek için CCHP sistemlerinden yararlandığı 1. Bölümde detaylıca anlatılmıştır.

CCHP sistemi genellikle iki gruba ayrılır:

- Tepeleme döngüsü (Topping cycle): Bu grup esas olarak enerji santrallerinde kullanılır. Bu döngüde elektrik üretimi önce bir gaz türbini, buhar türbini, gaz motoru, dizel motor vb. tarafından üretilir ve daha sonra ısı; ısıtma, sıcak su, soğutma, nem alma vb. gibi çeşitli kullanımlar için geri dönüştürülür.
- Dip döngüsü (Bottoming cycle): Bu yöntem çoğunlukla cam ve çelik gibi çok büyük fırınlar kullanan fabrikalarda vb. kullanılır. Bu döngüde, önceki yönteme zıt olarak ilk önce ısı üretilir ve fırından gelen ısı, buhar ve daha sonra buhar türbini tarafından elektrik elde etmek için kullanılır.

CCHP ve CHP sistemlerin dünya çapında kullanımı

CCHP yöntemi kullanılarak üretilen elektriğin bazı gelişmiş ülkelerde üretilen toplam enerjiye oranı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Belli başlı ülkelerde kademeli CHP kapasiteleri (MWe) [64]

Dünya deneyimlerini gözden geçirerek CCHP birimlerini inşa etmenin motivasyonları:

- Elektrik endüstrisinde yeniden yapılanma ihtiyacı,
- Teknolojinin hızlı büyümesi ve yüksek verimli teknolojilerin ortaya çıkması,
- Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan hava ve çevre kirliliği, verimsiz teknolojilerin yüksek kirliliğe yol açması,
- Fosil yakıtların bozulması nedeniyle enerji tasarrufu yapma ihtiyacıdır.

Perakende veya yerinde üretimin aşağıdakiler dâhil potansiyel faydaları vardır:

- Daha fazla ağ kapasitesi ihtiyacını azaltması,
- Kurulumu ve kullanımının çok hızlı ve kolay olması,
- Yüksek kalitede enerji üretimi ve aynı anda ısı kullanma imkânı,
- Yüksek enerji tasarrufu sağlanması,
- Biyogaz, doğal gaz gibi farklı birincil enerji kaynaklarını kullanma imkanı,
- Son tüketici için ekonomik tasarruf sağlaması,
- Son tüketici için artan enerji arz güvenliği,
- Düşük çevresel kirletici emisyona sahip olmasıdır.

Güç kaynağı sorunları:

- Ülkede düşük elektrik üretim kaynağı ve mevcudiyeti,
- Güç kaynağında kararsızlık ve güvenlik problemleri,
- Buhar tedarikinde istikrarsızlık ve güvenlik problemleri,
- Acil durum jeneratörleri gereksinimi,
- Yönetim problemleri mevcudiyetinin olmasıdır.

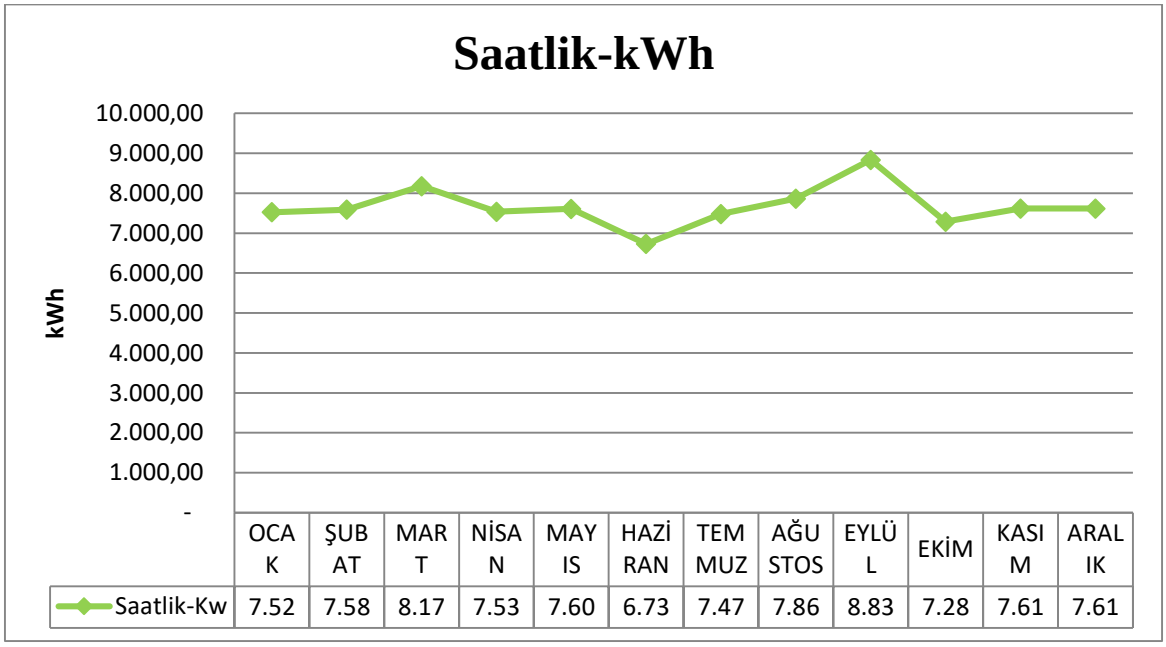
4.1.1. Fabrika enerji gereksinimi

Elektrik talebi

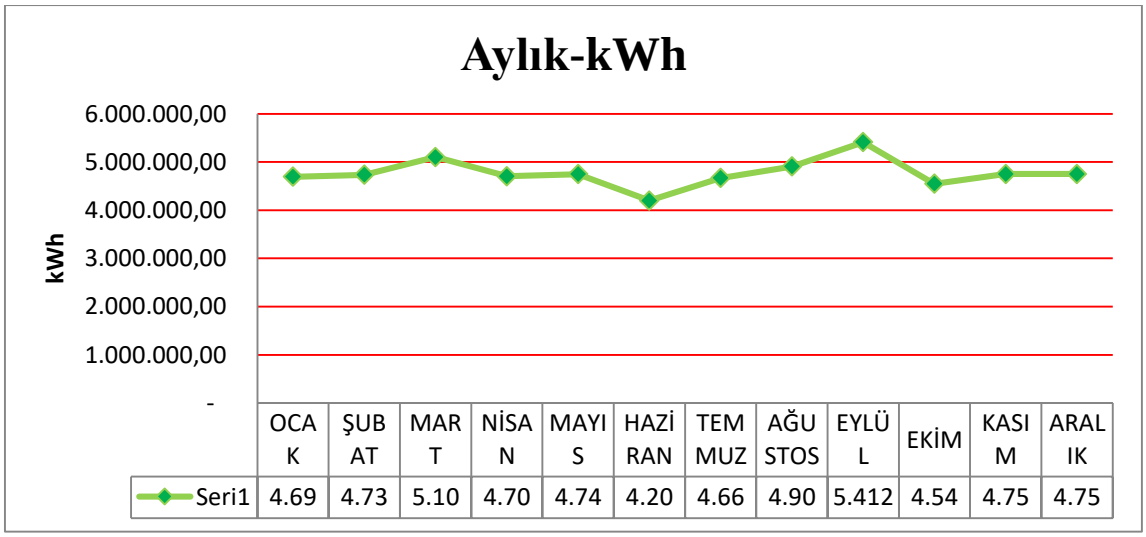
Tüketici ünitesinin elektrik ve ısı için gerçek ihtiyaçlarını bilmek, CCHP boyutunun seçimini ve nasıl kullanılacağını büyük ölçüde etkileyebilir. Optimum bir CCHP sistemi, yılda en az 4500 saat (3000 saate kadar mikro-CCHP boyutları için kabul edilebilir) ve devreye sokulup çıkarılabildiği sürece çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ilk ölçüt CCHP sisteminin boyutunu seçmede etkilidir ve böylece bu maddelere uyulmaması hem cihazın satın alınması hem de kullanıcının bakımı için ek maliyetlere neden olacaktır. Genellikle CCHP sistemi tek başına çalışmaz. Diğer değişle sadece tüm ünite gereksinimlerini karşıladığı düşünülmez. Elektrik üretimi açısından CCHP şebekeden satın alınan elektrikle karşılaştırılabilir olduğu bu durumda kullanılır. CCHP sistemlerinde şebekeye ihtiyaç fazlası satmak mümkün olduğundan, daha büyük bir üretim ünitesi seçimi ana ölçüt olmayacaktır. Büyük boyutların seçilmesi hem ekonomik hem de sera gazı emisyonları açısından gereksizdir. Genel olarak fabrikalarda elektrik için ana talep aydınlatma sistemleri, ofis ekipmanları, soğutma sistemleri, elektrik motorları vb. olup, CCHP sisteminin karlı olması için aşağıdaki özelliklerin tam olarak belirtilmesi gerekir.

- Maksimum, minimum ve ortalama elektrik ve termal güç gereksinimlerini gösteren günlük yıllık gerekli elektrik ve termal yük profilleri,
- Yakıt fiyatı, nakliye ve bakım maliyeti,
- Elektrik ve termik enerji alıp satmak mümkün olduğundan, ısı şebekesi olmadığında, ısı alma ve satma olasılığı tüketim yeri ile sınırlıdır.

Şekil 4.2'de seçilen fabrikanın günlük ve Şekil 4.3'de aylık elektrik tüketim ölçüleri kWh biriminden verilmiştir:



Şekil 4.2. Saatlik elektrik talebi



Şekil 4.3. Aylık enerji ihtiyacının sayısal değerleri

Çizelge 4.1. Yıl boyunca fabrika elektrik tüketimi miktarı [kWh]

Gün	Ay	Elektrik Tüketimi
31	OCAK	4.695.599,00
28	ŞUBAT	4.734.966,00
31	MART	5.102.460,00
30	NİSAN	4.703.046,80
31	MAYIS	4.748.360,00
30	HAZİRAN	4.200.098,40
31	TEMMUZ	4.667.016,00
31	AĞUSTOS	4.906.646,00
30	EYLÜL	5.412.122,00
31	EKİM	4.547.086,00
30	KASIM	4.751.740,02
31	ARALIK	4.751.740,02

Yıl boyunca fabrika elektrik tüketimi miktarı [kWh] verilere göre tez çalışmasında seçilen göründüğü üzere fabrikanın yıllık elektrik tüketim değeri 57.320.880,20 kWh olarak ölçülmüştür ve miktar oldukça büyüktür. Bu nedenle fabrikanın giderleri de oldukça yüksek olacaktır ve bu da bir CCHP sistemin kurulmasının bir gereksinimi olarak değerlendirilebilir.

Termal yük talebi

Ofis ve fabrika binalarının ısı kaybını telafi etmek için ısıtıcıların ürettiği ısı miktarına, ısı yükü ekipmanı veya ısı kapasitesi denir. Cihazların ısı yükü, ofislerin ve fabrika binasının ısı kaybı eşdeğeridir. Soğuk ve sıcak ihtiyaçlarını karşılayacak ekipmanlar havalandırma ve ısıtıcı türleri, klimalar, ısı pompaları, pompalar, su ısıtıcıları, fanlar ve çeşitli motor bileşenleri vb. gibi cihazlar sıcak su tüketimini oluşturmaktadır. Toplam iç hava sıcaklığının kontrolünü gerektirmeyen endüstriyel gibi binalarda, termal konfor (İşyerlerinde çalışanların sıcaklık, nem, hava akımı gibi iklim koşulları açısından gerek bedensel, gerekse zihinsel faaliyetlerini sürdürürken belirli bir rahatlık içinde bulunmalarına termal konfor denir) ihtiyaçları yerel olarak sağlanmalıdır. Tüm bu verilere dayanarak, binanın toplam ısı kapasitesi, bu ısı akışlarının toplamı ile hesaplanır [65].

Fabrika binası ısıtma hesaplanması

Binada ısı yükü oluşturan faktörler şunlardır:

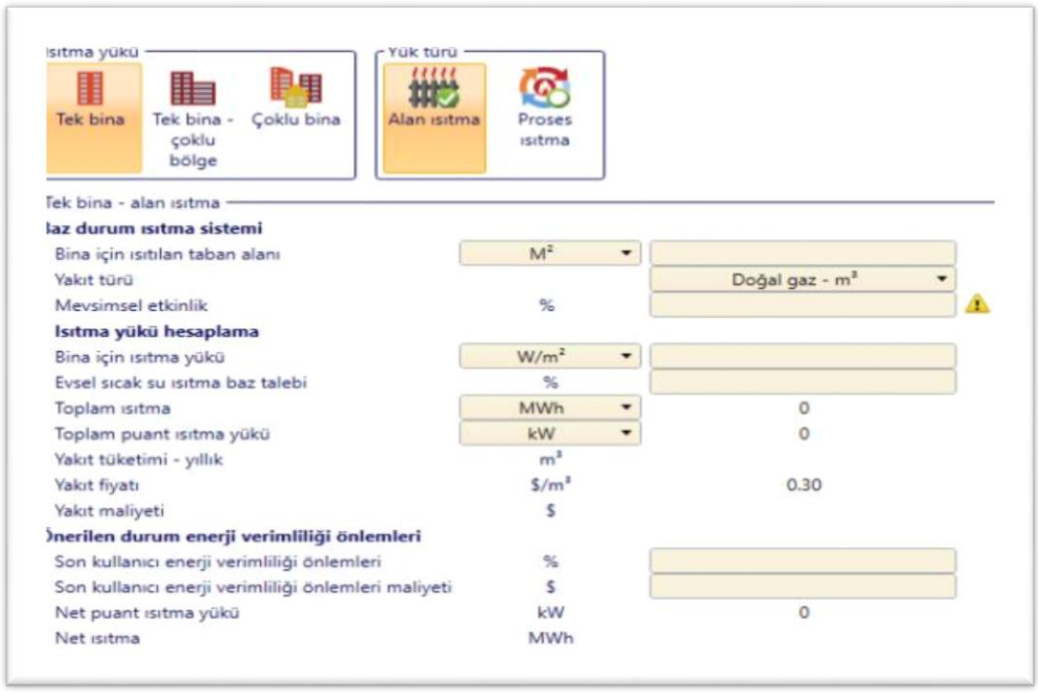
- Binanın dış duvarlarından kaynaklanan ısı yükü,
- Dış havanın binaya sızması nedeniyle oluşan ısı yükü,
- Nem ısı yükü (varsa),
- Binaya sıcak su temini nedeniyle oluşan ısı yükü.

Fabrika binası soğutma hesaplanması

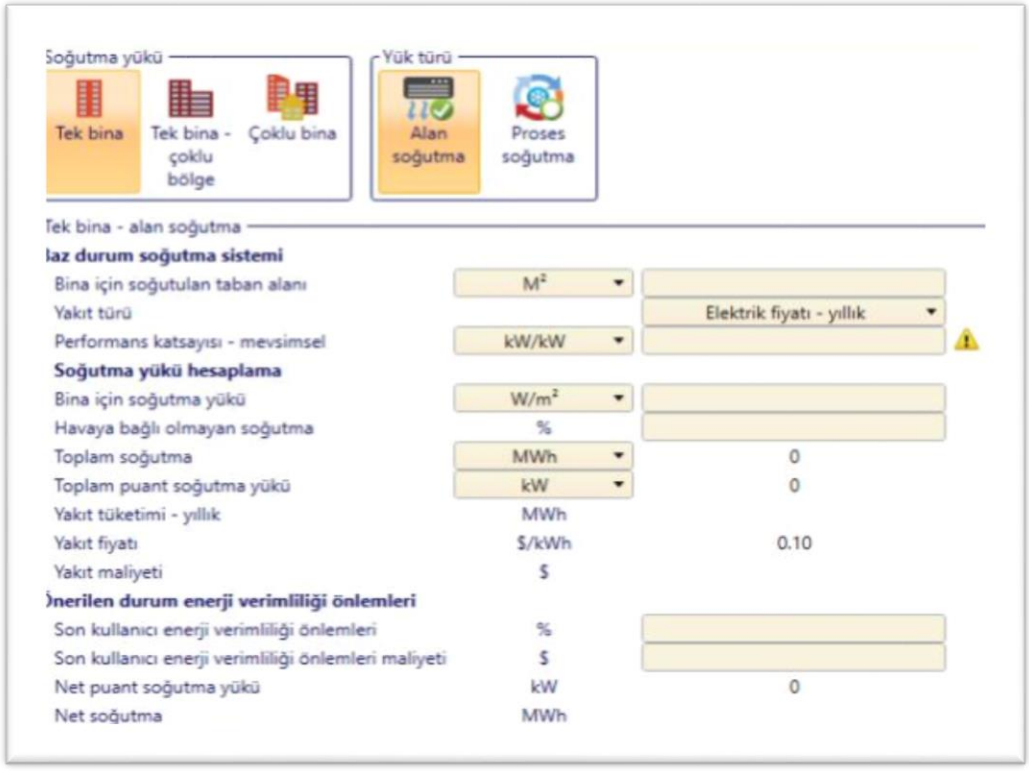
Bu hesaplamalarda;

- Çatılardan, tavandan, duvarlardan ve pencerelerden ısı transferi,
- Soğutmada önemli rolü olan güneşten ısının gelmesi,
- Dahili yükler, aydınlatma, binada bulunan cihazlar ve bireyler tarafından üretilen ısıların,
- Havalandırma mekanizmaları ve hava sızma (infiltration) yoluyla binaya giren hava miktarları dikkate alınmalıdır.

Manuel hesaplamaları özellikle yüksek maliyetli büyük projelerde kullanmak mantıklı değildir çünkü küçük bir hata projeye ek maliyetler getirebilir bu nedenle RET Screen Expert yazılımı insan hatalarının önlenmesini ve projeyi ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin doğru bir şekilde hesaplanması için mevcut tez çalışmayın de kullanılmıştır. Giriş verileri yazılıma girerek gerekli hesaplamaları yapılmalı gerçeğe yakın ve az bir hata ile doğru bir sonuca varma mümkün.



Şekil 4.4. RET Screen Expert uygulamasında ısıtma ihtiyacının hesaplama alanı



Şekil 4.5. RET Screen Expert uygulamasında Soğutma ihtiyacının hesaplama alanı

Gerçek tüketilen sıcak su miktarı, saatte veya dakikada galon olarak hesaplanabilir. Sıcak su tüketimini etkileyen faktörler arasında özel ve umumi tuvaletler, mutfak lavaboları, ev lavaboları, bulaşık makineleri olup, talep katsayıları dikkate alınmaktadır. Çizelge 4.2'de tüketim türüne bağlı olarak tüketilen sıcak su miktarı gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. GPH değeri ile talep katsayısının belirlenmesi

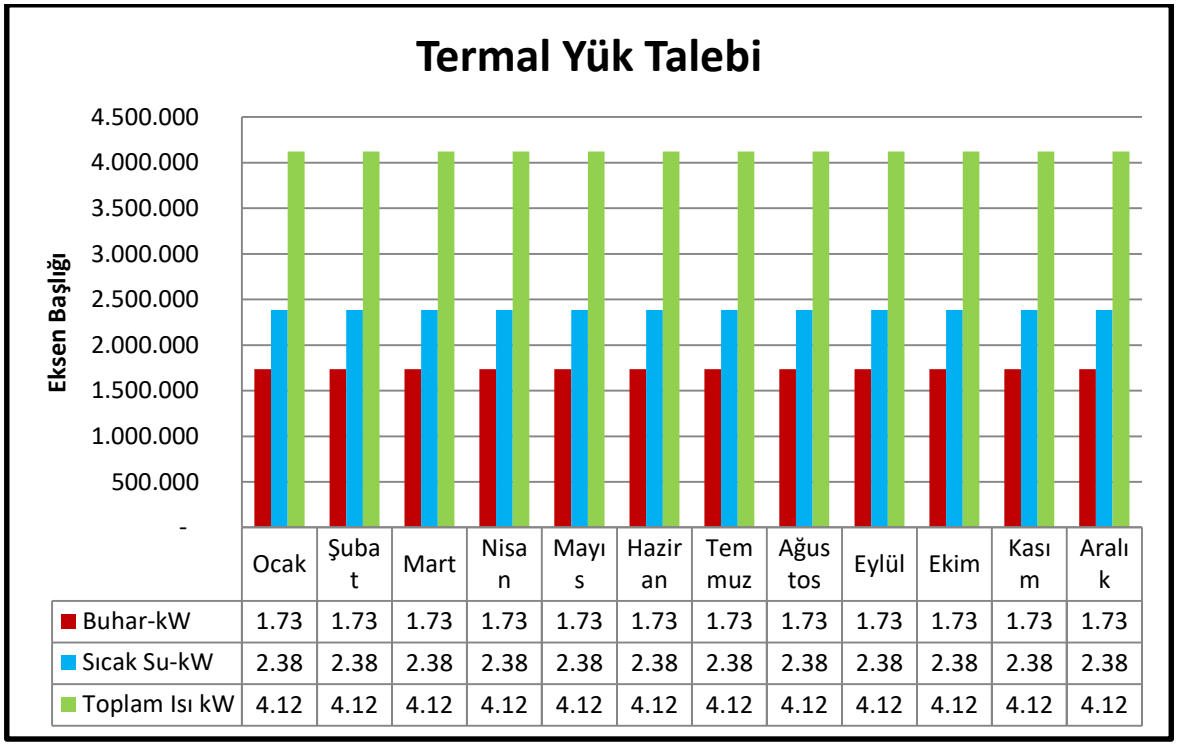
Sıhhi cihaz	Daireler	Stadyum	Hastane	Otel	Fabrika	İdari	Yerleşim	Okullar	Yurt
Özel tuvalet ve tuvalet	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Umumi tuvalet ve tuvalet	5	10	8	10	15	8	0	15	10
Küvet	20	30	20	20	30	0	20	0	30
Duş	80	250	80	80	250	0	80	250	225
Mutfak lavabo	10	0	20	20	0	20	10	20	20
Ev sulu lavabo	5	0	10	10	0	10	5	10	10
Bulaşık makinesi	20	0	50-150	50-200	20-100	0	20	20-150	20-150
Bulaşık makinesi lavabo	15	0	20	30	20	20	15	20	20
Çamaşır makinesi	20	0	30	30	0	0	20	0	100
Lavabo	75	0	150	150	0	0	75	0	30
Talep katsayısı	0.35	0.4	0.5	0.3	0.6	0.3	0.35	0.5	0.4
Kaynak depolama katsayısı	1.25	1	0.6	0.8	1	2	1.25	1	1

Çizelge 4.3. GPM değerini belirlenmesi için sıhhi cihazlar ait tüketim miktarı

Sıhhi Cihaz	Tüketim Miktarı	
	Dakikada Litre	Dakikada Galon
Küvet	15	4
Tepsi ile batırın	15	4
Bulaşık makinesi	10	2.75
İçme suyu	3	0.75
Lavabo	15	4
Tuvalet	7.5	2
Duş	11.5	3
Termostatik vanalı duş	11.5	3
Hortum başlığı valfi	19	5
Mutfak lavabo	9.5	2.5
Kamu mutfak lavabosu	11.5	3
Flaşlı Balık Valu	57	15
Flaş tanklı tuvalet	11.5	3
Flaşlı duvar tuvaleti	95	25
Entegre tuvalet	23	6

CCHP sisteminde üretilen ısı, tesisin ihtiyaç duyduğu ısı miktarın tümüyle karşılamalıdır. Bu sebeple CCHP sisteminin doğru kapasitede seçmek ve ısı talebinin elektriğe oranını bilmek gerekir. Soğuk ve sıcak mevsimlerde ısı talebi farkından dolayı, mevcut çalışmada CCHP sistemi tarafından tüketilen sıcak suyun ısı talebi hesaplanırken, soğuk mevsimlerde yerden ısıtma için ısı talebi bir yedek kazan ile sağlanmaktadır.

Şekil 4.6’da seçilen tez çalışmasında aylık buhar ve sıcak su tüketim ölçüleri kWh biriminden verilmektedir.



Şekil 4.6. Aylık termal yük talebi kW cinsinden

Çizelge 4.4. Örnek fabrikanın aylık termal yük talebi (kWh)

Ay	Buhar-kW	Sıcak Su-kW	Toplam Isı kW
Ocak	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Şubat	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Mart	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Nisan	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Mayıs	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Haziran	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Temmuz	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Ağustos	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Eylül	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Ekim	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Kasım	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Aralık	1.736.804	2.384.554	4.121.358
Toplam	20.841.649,92	28.614.643,20	49.456.293

Çizelge 4.4'de ki verilere göre örnek seçilen fabrika yıllık buhar talebi 20.841.649,92 kWh ve sıcak su talebi yıllık 28.614.643,20 kWh ve toplam termal yük talebi ise 49.456.293 kWh olarak ölçülmüştür.

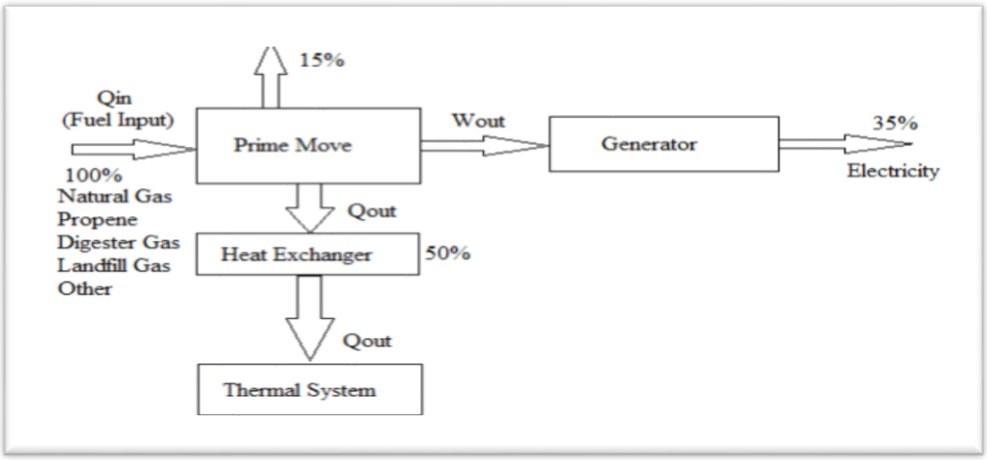
4.2. Tedarik Sistemleri

CCHP sistemleri için ana taşıyıcı sistemin seçimi, çeşitli teknik ve teknik olmayan konulara dikkat edilmesini gerektirir. Proses seçiminde sıklıkla gündeme gelen teknik sorunlar arasında performans değerleri, ünite için gerekli ısı-güç oranı, toplam güç çıkışı ve düşük gürültü gibi belirli yerel sorunlar dikkate alınır. Süreç seçiminde rol oynayan diğer konular ise birimdeki personelin cihazların kullanımı ve becerileridir, ancak nihai karar ekonomik konular dikkate alınarak verilir.

4.2.1. En uygun ana taşıyıcıların ve yakıt tipinin belirlenmesi:

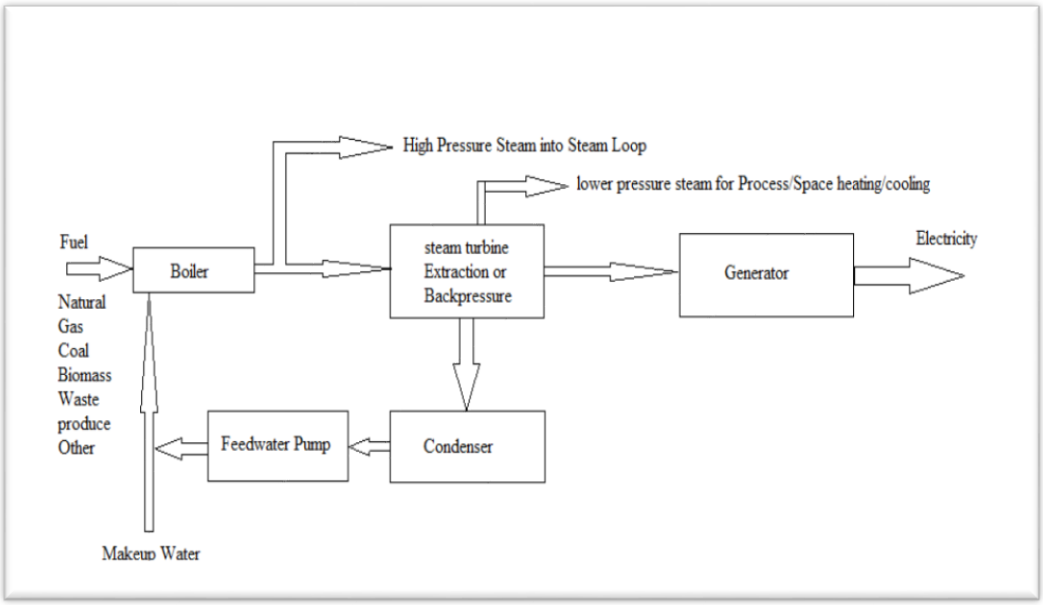
Örnek seçilen CCHP sistemi fabrikada iki şekilde kullanılmaktadır:

- Doğrudan ateşlendirmeli (Direct fired): Bu şekilde yanma ile elektrik üretirler. Bu yöntemde elektrik üretim verimliliğinin %35 olduğu göz önüne alındığında, boşa harcanan enerjinin geri dönüşümü ısı oluşumuna neden olmaktadır. Bu yöntemde, türbinler ve pistonlu motorlar birincil jeneratörler olarak kullanılır. Şekil 4.'de doğrudan ateşlendirme yöntemin örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Doğrudan ateşlendirme sistemin blok şeması

- Dolaylı ateşleme (Indirect fired): Bu yöntemde, yanma, merkezi ısıtma sisteminde kullanım için kullanılan ve buhar türbininin bir ana taşıyıcı olarak devreye alınmasında kullanılan buhar kazanında buhar üretilir. Buhar ve türbinden çıkan egzoz gazı da geri kazanılabilir ve merkezi ısıtma sisteminde kullanılabilir. Aşağıdaki şekilde bu yöntemin bir örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Dolaylı ateşlendirme sistemin blok şeması

Belirtildiği, pistonlu motorlar, gaz türbinleri ve buhar türbinleri CCHP sistemlerde ana taşıyıcı olarak kullanımı için yaygın seçeneklerdir. Önemli olan, bu jeneratörlerin farklı durumlarda uygun kullanımlarını belirlemektir. Çizelge 4.5'in doldurularak irdelenmesi, kullanılan ürün tipini tanımlamak için iyi bir metottur. Fabrika tarafından kullanılan ısı yükünün elektrik yüküne oranını (T/P oranı) hesaplamak için Çizelge 4.5'teki bilgiler kullanılır. Bu oranın Çizelge 4.6'da yerleştirilmesiyle, uygun jeneratör tipi belirlenir.

Çizelge 4.5. Jeneratörlerin farklı durumlarda uygun kullanımlarını belirleme çizelgesi

1. Termal Kullanımı Belirleyin			
a	Faturaların son 12 ayında kullanılan Therm sayısını toplayın	Toplam Therms	Therms
b	Termal Btu'yu elde etmek için toplam termal değeri 100.000 ile çarpın:	Satın Alınan Toplam Termal Enerji	Btu
c	Kazan/Ekipman verimliliği ile satın alınan toplam termal enerjiyi çarpın (tipik olarak 0,8)	Teslim Edilen/Kullanılan Toplam Termal Enerji	Btu
a	Faturaların son 12 ayında kullanılan kWh sayısını toplayın	Toplam kWh	kWh
b	Btu'yu elde etmek için toplam kWh'yi 3413 ile çarpın:	Toplam Electric	Btu
a	Toplam Termal'i (Btu) toplam Elektrik'e (Btu) bölün	T/P Ration	

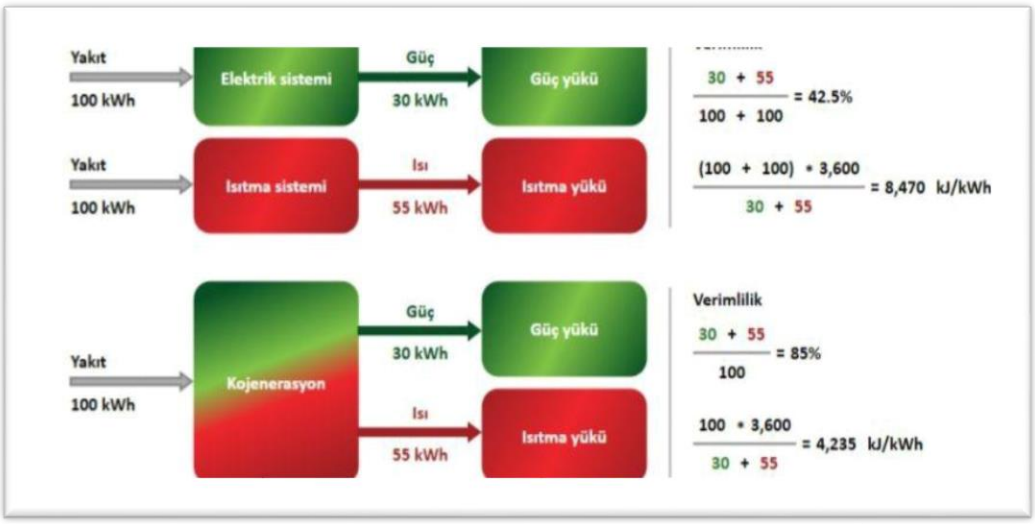
Çizelge 4.6. CCHP sistemlerinde kullanılan jeneratörün T/P oranı

CCHP sistemlerinde kullanım için uygun jeneratör	T/P Ratio
Pistonlu motor	1/5 – 0/ 5
Gaz türbini	1-10
Buhar türbini	3-20

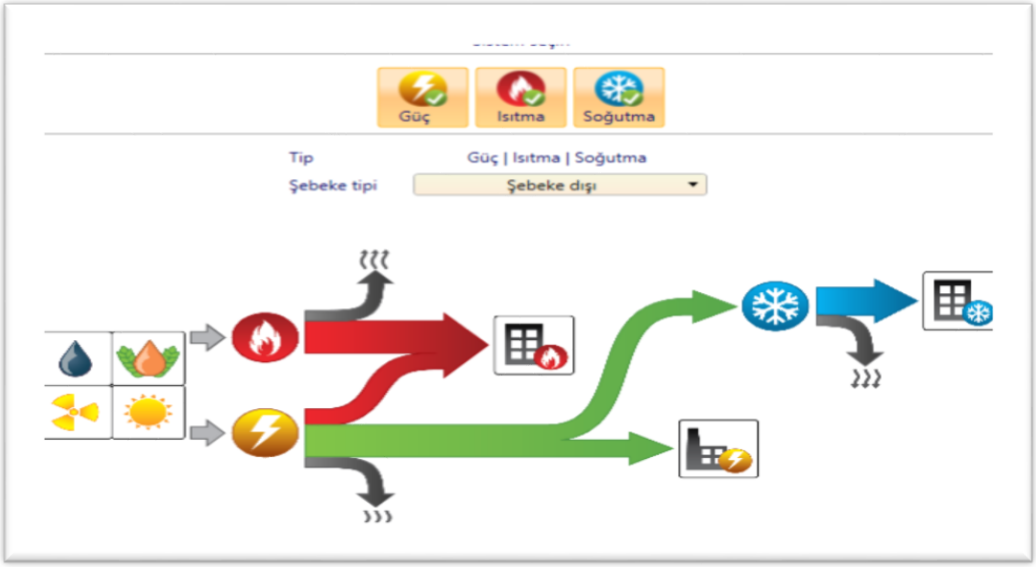
4.2.2. CCHP sisteminin verimliliğini hesaplaması ve konvansiyonel sistemle karşılaştırılması

CCHP sistemlerin verimliliğini hesaplamak için bu tez çalışmasında iki farklı uygulama RET Screen Expert (genel anlamda) ve Thermoflow'da (daha ayrıntılı olarak) iki program kullanılmıştır. Amaç, sonuçları birbiriyle karşılaştırarak CCHP sistemleri için en gerçekçi performansı bulmaktı.

RET Screen Expert uygulama üzerinde yapılan verimlilik analizi Şekil 4.9'da ve sistem seçimi de Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.9. RET Screen Expert uygulama ile yapılan verimlilik analizi



Şekil 4.10. RET Screen Expert uygulama ile yapılan sistem seçimi

CCHP sistemi için elektrik enerji üretim verimliliğinin %30 olduğu göz önüne alındığında, 100 birim giriş enerjisinden 30 birim elektrik ve 55 birim termal enerji üretilmektedir. Bu sayılar hem elektrik hem de termal olarak CCHP sisteminin çıktısı olarak kabul edilir. Birçok CCHP sisteminin, çeşidinden türünden dolayı daha yüksek verime sahip olduğu unutulmamalıdır. CCHP sisteminin genel termodinamik etkinliği aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\gamma 0 = \frac{P + T}{F} \qquad (4.1)$$

$\gamma 0 = CHP\ sisteminde\ genel\ termodinamik\ verimidir.$

P= Elektrik gücünü göstermektedir.

T= Isı veya ısı enerjisi miktarıdır.

F= Yakıt giriş göstergesidir (tümü aynı birimlere dayanarak).

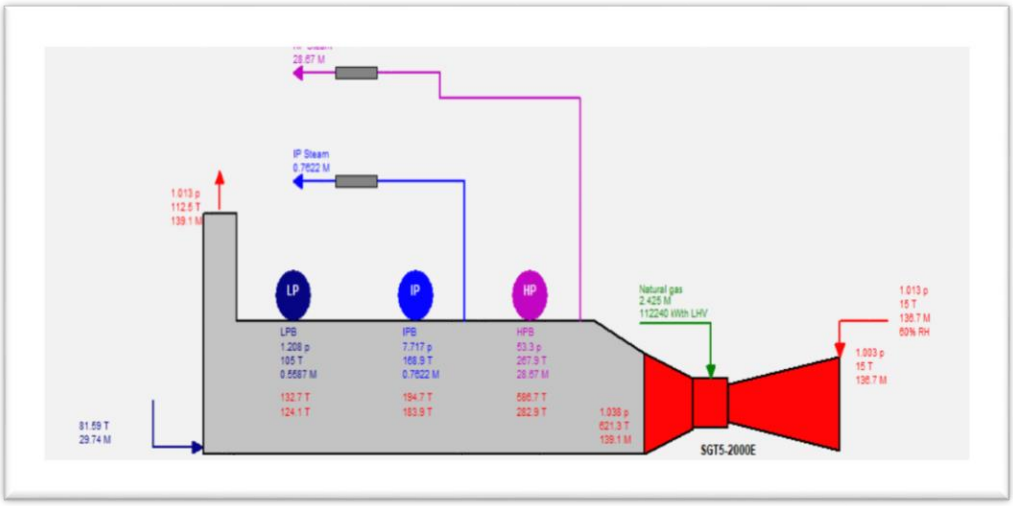
Mevcut çalışma da CCHP sistemin genel verimi:

$$\gamma 0 = \frac{P + T}{F} = \frac{30 + 55}{100} = 85\%$$

olumlu değerlendirilebilir.

Thermoflow uygulama üzerinde yapılan verimlilik analizi ise

Şekil 4.11'de verilmektedir:



Şekil 4.11. CHP sistemin Thermoflow üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları

PLANT EFFICIENCIES			
PURPA efficiency	CHP (Total) efficiency	Power gen. eff. on	Canadian Class 43
%	%	chargeable energy, %	Heat Rate, kJ/kWh
50.40	84.90	61.60	4644

Şekil 4.12. Thermoflow uygulaması üzerinde yapılan verimlilik analizi

İki uygulamanın (RET Screen Expert ve Thermoflow) sonuçlarını kıyaslayarak, CCHP sistemlerin verimleri %85 ile %84,90 arasında değişmektedir. Başka bir değişle GT sistemlerin verimliliği %25-40 ile kıyasladığımız zamanda, yaklaşık %45-60 arasında artış olduğu görünmektedir. Ancak geleneksel sistemlerde, ısı ve elektrik gereksinimleri ayrı bir elektrik santrali ve bir kazan tarafından karşılanmaktadır. Yukarıdaki örnekte %55 termal enerji üretimi ve %30 elektrik enerjisi her 100 birimli sistem için giriş enerjisi miktarının genel olarak 200 olduğu kabul edilir. Böylece geleneksel sistemler için genel termodinamik verimi aşağıda ki gibi hesaplanır:

$$\gamma 0 = \frac{P + T}{F} = \frac{30 + 55}{100 + 100} = 42{,}5\%$$

4.2.3. Yakıt analizi

CCHP sistemlerinin geleneksel üretim sistemleri ile kıyaslayıp, para ve yakıt tasarrufunu belirlemek için, çıkış gücünün 8 MW olduğu kabul edilmiştir. Bu genellikle büyük bir fabrikada mevcut olan güç miktarıdır. Yakıt girişlerini belirlemek için, tüm veriler tek bir birime dönüştürülmelidir. Isı çıkışı miktarı ise aşıdaki gibi hesaplanmıştır:

Isı çıkışı miktarı: $T = \frac{55}{30} \times 8MW = 14{,}67MW \times 3{,}41 = 193\ \text{lt}, 4\ Mbtu/hr$

Bu birim, su sıcaklığı yaklaşık 2.39 °C olduğunda, 1 pound suyu (0.48 lt) 1 derece Fahrenhayt'a (17,22 ^{o}C) kadar ısıtmak için gereken enerji miktarına eşittir.

Hesaplamalarda uluslararası Btu birimi kullanıldığından değişim değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Isı değişim çizelgesi BTU cinsinden

Bir varil (42 galon) ham petrol	5.800.000 BTU
Bir galon mazot	124.000 BTU
Bir galon ısı yağı	139.000 BTU
Bir galon dizel yakıt	139.000 BTU
Bir adet yerli petrol yakıt varil	6.287.000 BTU
Bir metreküp doğal gaz ayağı	1.026 BTU
Bir galon propan	91.000 BTU
Bir ton kömür	20.681.000 BTU
Bir kWh	3.412 BTU

Güç çıkışı miktarı: $P = 8MW \times 3{,}41 = 27{,}28\ Mbtu/hr$

Yakıt girişleri hem CCHP sistemler için, hem de geleneksel sistemler için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$(\text{Yakıt})_{CCHP} = \frac{P+T}{\gamma 0} = \frac{27{,}28+193{,}4}{0{,}85} = 259{,}7\ \text{MBtu/hr}$$

$$(\text{Yakıt})_{conv} = \frac{P+T}{\gamma 0} = \frac{27{,}28+193{,}4}{0{,}425} = 519{,}3\ \text{MBtu/hr}$$

Yakıt tasarruf miktarı, yukarıdaki değerler arasındaki farktan gelir:

(Yakıt Tasarrufu) = $(\text{Yakıt})_{CONV}$ - $(\text{Yakıt})_{CCHP}$ = 519,3-259,7= 259,6 MBtu /hr

Ekonomi analiz için bu tesis yılda 5000 saat çalışırsa, yıllık yakıt tasarrufu 1.298.000 MBtu olacaktır. Yakıt fiyatı MBtu başına 2 Euro ise, bu taktirde tasarruf yılda 2.596.000Euro olacaktır.

4.2.4 Örnek alınan fabrikanın ekonomik analizi

CCHP sistemlerini kurmanın ilk maliyeti geleneksel sistemlerin maliyetinden daha yüksektir ve bu maliyet CCHP kapasitesiyle ilgilidir bu nedenle sermaye getirisini kısaltmak ve

optimum performans sağlamak amacıyla uygun CCHP kapasitesinin seçilmesi gerekir. Bu bölümde, CCHP sisteminin kurulum ve işletme maliyetini en aza indirmek için CCHP sisteminin optimum kapasitesi, tesisin elektrik ve doğalgaz tüketimi ile ilgili gerçek veriler ile bakım maliyetleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılacaktır. k bakım maliyetlerine sahiptir.

Çizelge 4.8'de. örnek fabrikanın aylık ve saatlik elektrik tüketim miktarı fabrikanın aylık ve saatlik elektrik tüketim miktarı verilmiştir. CCHP sisteminin kurulması ve uygulanması için ideal bir sistemin özellikleri arasında ısı ve elektrik enerjisi yük modelleri, istikrarlı ve sabit termal ve işlem çalışma saatlerinin uzunluğu kaçınılmazdır. CCHP üretim sisteminin en yaygın türbin seçimleri gaz türbini, pistonlu motor ve mikro türbinler olabilir. Gaz türbinleri, çıkış gücü üretmek için yüksek güvenilirlik, yüksek enerji ısısı ve düşük yatırım maliyetine sahiptir ve aynı zamanda düşük yüklerde kalıcı olarak çalışabilir. Bu sistemler farklı yakıtlar kullanabilir ve hatta bir ünite birden fazla yakıtla çalışabilir ancak ünite yanıcıysa, kullanılan gaz basıncı yüksek olmalıdır. Bu sistemlerin diğer dezavantajları sınırlı üretim kapasiteleri ve uzun revizyon ihtiyacıdır. Bu motorlardaki pistonlu motorlar, yanma sonucu oluşan ısının bir kısmını mekanik harekete dönüştürür ve bir jeneratör kullanarak bir elektrik gücü üretir. Bu motorlar ayrıca düşük basınçlı gazları çalıştırma, birkaç tip yakıtla bir üniteyi çalıştırma gibi avantajlara sahiptir. Mikro türbinler; türbin, kompresör ve jeneratör içeren yüksek hızlı güç üretim sistemleridir ve geleneksel pistonlu motorlardan daha küçüktür ve daha düşük bakım maliyetlerine sahiptir.

Çizelge 4.8. Örnek fabrikanın aylık ve saatlik elektrik tüketim miktarı

Gün	Ay	Elektrik [kWh]	Saatlik-kW
31	OCAK	4.695.599,00	7.525,00
28	ŞUBAT	4.734.966,00	7.588,09
31	MART	5.102.460,00	8.177,02
30	NİSAN	4.703.046,80	7.536,93
31	MAYIS	4.748.360,00	7.609,55
30	HAZİRAN	4.200.098,40	6.730,93
31	TEMMUZ	4.667.016,00	7.479,19
31	AĞUSTOS	4.906.646,00	7.863,21
30	EYLÜL	5.412.122,00	8.833,53
31	EKİM	4.547.086,00	7.287,00
30	KASIM	4.751.740,02	7.614,97
31	ARALIK	4.751.740,02	7.614,97

Teknoloji seçimi

Çizelge 4.8 verilere ve fabrikanın çalışma saatlerine uygun elektrik üretim motoru seçilmelidir. Fabrikanın bir ay boyunca çalışma gün sayısı 26 gün (Pazarlar hariç) olup aylık tüketimleri ay çalışma gününe (26) bölünmektedir ve saatlik veri için de elde edilen veri saatlik çalışmaya (24 Saat) bölünmektedir. Saatlik tüketimler Gaz motorunun seçilmesi için en önemli etkendir ve motor iç tüketimlerinin de olacağı düşünüldüğünden fabrika pik tüketimleri de dikkate alınarak motor ya da motor grupları seçilmelidir.

Bu etkenleri göz ününe alarak tez çalışmasında seçilen fabrika için en uygun CCHP sistemin motor seçimi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: 3 adet gaz motoru ile toplam 8,7 MW kapasiteli bir tesis tasarlanmıştır, motorların iç tüketimleri düşüldüğünde yaklaşık 8,5MW kapasiteye ulaşılacaktır. Fabrika tüketim saatlik ortalaması 7,6MW olduğu için seçilen motorlar ile %90 yükte çalışma sağlanabilir.

Çizelge 4.9'da motor seçim çizelgesi özet olarak verilmektedir.

Çizelge 4.9. Örnek seçilen fabrikanın motor seçim çizelgesi

Gaz motoru	Motor Seçimi	Gücü
1 Adet	3.356,00	kW
1 Adet	3.356,00	kW
1 Adet	2.000,00	kW
Toplam	8.712,00	kW
İç Tüketim Düşülmüş	8.494,20	kW
%90 Yükte	7.644,78	kW

Örnek alınmış fabrikanın verilerini hesaplama sonucunda bu fabrika için 3 adet gaz motoru hesaplanmış ve seçilmiştir. .

Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere 2 adet 3.356 kW'lık ve 1 adet 2.000 kW'lık olmak üzere toplamda 8.712 kW'lık motor gücü seçilmiştir ve seçilen motorlar için doğalgaz tüketim miktarı ise Eş. ((4.2) ile hesaplanarak Çizelge 4.10'da verilmektedir:

$$\text{Saatlik Gaz Tüketim Miktarı} = \frac{\text{Motor Gücü}}{0.425 \times (8250 \div 860)} \quad (4.2)$$

42,5: Motorların elektriksel verimleri farklılık gösterebilmektedir. Seçilen örneklerdeki motorlar için saha koşullarındaki elektriksel verim %42,5 alınmıştır.

8250: Yakıtın 1 m^3'ünün yakılması ile elde edilen ısıya o yakıtın ısıl değeri denir ve Kcal ile ölçülür. Doğalgazda bu oran 8250Kcal'dir.

1 kW – 860 Kcal

Kcal: Atmosfer basıncında 1 gram suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan enerji miktarıdır ve Kcal ise 1000 kalori demektir. (1 Kcal = 1000 cal)

Çizelge 4.10. Örnek seçilen fabrikanın gaz tüketim değerleri

Adet	Motor Gücü	Birim	Saatlik Gaz Tüketim	Birim
1 Adet	3.356,00	kW	823.15	m^3
1 Adet	3.356,00	kW	823.15	m^3
1 Adet	2.000,00	kW	490.55	m^3
Toplam	8,712.00	kW	2,136.85	m^3

Çizelge 4.10'a göre seçilmiş üç gaz motorun doğalgaz tüketim miktarı saatlik 2,136.85 m^3 ve aylık ise 1.333.393m^3 olarak belirlenmiştir ve bu verilere dayanarak bu tez çalışmanda tasarlanan CCHP cihazı, yıllık olarak 16.000.710,8 m^3 doğalgaz tüketecektir.

Seçilmiş 3 adet gaz motorları hem doymuş buhar hem sıcak su ve hem de ısıl güç üretimine sahipler. 3,3MW motor için saatlik 1,8ton ve 2MW motordan ise 1,1ton doymuş buhar üretilmektedir. Her üç motordan da 70-90 derece arasında sıcak su elde dilmektedir. Isıl güç 3,3MW motorlar için saatlik 1583 kW, 2MW motor için saatlik 1080 kW olup toplam 2663 kW ısıl gül üretilmektedir. Belirtilen verilere göre üç motordan yüzde 90 yüklenme durumunda elde edebileceğimiz ısıl güçler oluşturulmuştur (1 Ton Doymuş buhar için alınan kW değeri 658'dir). Fabrikanın kalan ısıl güç talebi de mevcut kazanlardan elde edecektir. Örnek tesiste soğutma talebi bulunmamaktadır, ancak soğutma talebi tesiste bulunsaydı; motor ceket suyumuzun enerjisini Absorbsiyonlu Chiller cihazı vasıtası ile ortalama 7-12 derecelik soğuk su enerjisine dönüştürebilirdi. Sıcak su enerjisinin (90-70 Derece) kullanılamadığında ve chiller cihazlarının olduğu durumlarda bu sıcak su enerjisini soğutma enerjisine çevrilerek kullanılmaktadır. Absorbsiyonlu Chiller cihazının en önemli avantajı, ceket su enerjisinin yüzde 70'ini soğutma enerjisine çevirmektir yani bu cihazın verimliliği yüzde 70'dir.

Çizelge 4.11'de örnek fabrikanın aylık sıcak su ve soğutma miktarları kW biriminde gösterilmektedir:

Çizelge 4.11. Örnek fabrikanın aylık sıcak su ve soğutma miktarı kW cinsinden

Ay	Sıcak Su-kW	Soğutma Miktarı-kW
Ocak	2.384.554	1.669.188
Şubat	2.384.554	1.669.188
Mart	2.384.554	1.669.188
Nisan	2.384.554	1.669.188
Mayıs	2.384.554	1.669.188
Haziran	2.384.554	1.669.188
Temmuz	2.384.554	1.669.188
Ağustos	2.384.554	1.669.188
Eylül	2.384.554	1.669.188
Ekim	2.384.554	1.669.188
Kasım	2.384.554	1.669.188
Aralık	2.384.554	1.669.188

COP: Tesisin kullanmış olduğu chiller cihazının 1 birim enerji ile kaç birim soğutma elde ettiği orana COP oranı denir. Bu tesis için COP oranını 3 kabul edilmiştir.

Ekonomik analiz

Santralin tüm teknik detaylarını ve kavramsal tasarımını netleştirdikten sonra, proje maliyetlerini, gelirlerini, standart mühendislik ekonomisi yöntemiyle hesaplaması ve projenin ekonomik fizibilitesini incelemek gerekir. Enerji santrali uygulama ve inşaatının ekonomik analizi, yatırım maliyetleri, bakım ve onarım, işletme sermayesi ve tesisin ömrü boyunca yıllık gelirin analizini, bugünkü değerin hesaplanmasını, sermaye ve benzeri getiri oranını ve benzerini içermelidir.

Toplam yatırım maliyeti

Örnek fabrika için tasarlanmış cihazların toplam yatırım maliyeti Çizelge 4.12 de ki gibidir:

Çizelge 4.12. Örnek tesisin toplam yatırım maliyeti € cinsinden

Miktar	Açıklama(Cihaz/işlevi)	Euro
1 Adet	3356 kW Gaz Motoru	775.000,00
1 Adet	3356 kW Gaz Motoru	775.000,00
1 Adet	2000 kW Gaz Motoru	500.000,00
-	Mekanik Entegrasyon	450.000,00
-	Elektrik Entegrasyon	350.000,00
-	İnşaat	50.000,00
-	Doğalgaz	50.000,00
-	Diğer Giderler	50.000,00
-	Toplam	3.000.000,00

Toplam gider maliyeti:

Toplam gider maliyeti temelde iki değişkenin toplamı ile hesaplanmaktadır:

- Toplam bakım maliyeti,
- Toplam doğalgaz maliyetidir.

Toplam bakım maliyeti

Bir personel için sigorta ve dâhil masraf 7500TL alınmıştır. Sigorta vb. giderler için tesis genelinde yıllık 180.000 € gider öngörülmüştür. Bakım maliyeti saatlik bakım maliyeti (11.09 Euro) ve çalışma saatinin (24×26×12=7488) çarpımı ile hesaplanmıştır (11,09×7488=83.077,68). Motorlar için de yağ değişimi 1800 saatte bir olmak üzere, yağ değişimi 350 Euro, yağ tüketimi 350 Euro, antifriz de yılda 5 varil bir motor için düşünülüp hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Toplam bakım maliyeti € cinsinden

Açıklama	Giderler (Euro)
Personel Gideri/Yıllık	55.384,62
Sigorta vb. giderler	27.692,31
Bakım Gideri	83.077,68
Yağ Değişim	21.840,00
Yağ Tüketim	12.600,00
Antifriz	5.250,00
Toplam Bakım Maliyeti	205.844,60

Toplam doğalgaz maliyeti

Mevcut proses doğalgaz fiyatı örnek tesisin tasarım tarihi itibariyle 1,62 m^3/TL'dir bu yüzden her ay tüketim miktarını 1,62 ile çarpılırsa aylık tüketim fiyatı elde edilebilir ve aylık maliyet fiyatını toplayıp 6,5 (1 Euro=6,5 TL) ile çarpılırsa doğalgaz toplam maliyet fiyatını Euro olarak elde edebiliriz.

Çizelge 4.14. Toplam doğalgaz maliyeti

Ay	Aylık m^3 Tüketim	Aylık Tüketim TL	Aylık Tüketim Euro
Ocak	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Şubat	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Mart	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Nisan	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Mayıs	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Haziran	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Temmuz	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Ağustos	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Eylül	1.333.393	2.253.433	346.682,07

Çizelge 4.15. (devam) Toplam doğalgaz maliyeti

Ekim	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Kasım	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Aralık	1.333.393	2.253.433	346.682,07
Toplam	16.000.710,8	27.041.201,2	4.160.184,8

Toplam Gider Maliyeti = Toplam bakım maliyeti + Toplam doğalgaz maliyeti (4.3)

Toplam Gider Maliyeti = 205.844,60 + 4.160.184,8 = 4.366.029,41 Euro bulunmuştur.

Yıllık gelir maliyeti

Yıllık gelir maliyeti iki değişkenin toplamı ile hesaplanmaktadır:

- Yıllık ısı enerjisi geliri,
- Yıllık elektrik geliridir.

Yıllık ısı enerjisi geliri;

Örnek fabrikanın yıllık ısı enerji geliri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Yıllık ısı enerji geliri} = \frac{\text{Toplam Isı kW} \times \text{1 kW ısıl güç Maliyeti} - \text{TL/m}^3}{6,5} \quad (4.3)$$

$$\text{1kW ısıl güç maliyeti - TL/m}^3 = \frac{1,62}{(8250 \div 860) \times 0,9} = 0,18764$$

$$\text{Yıllık Isıl güç Kazancı – TL} = \frac{49,456,293 \times 0.18764}{6,5} = 1,427,661.38 \text{ Euro}$$

Mevcut süreç doğalgaz fiyatı 1,62 m^3/TL ve fabrikada mevcut kazan verimi %90 olarak ölçülmüştür.

Yıllık elektrik geliri

Yıllık elektrik geliri, toplam enerji üretim ile 1kW ortalama elektrik bedelin çarpımı ile elde edilmektedir.

Çizelge 4.16. Toplam enerji üretimi

Gün	Ay	ELEKTRİK [kWh]
31	OCAK	4,695,599.00
28	ŞUBAT	4,734,966.00
31	MART	5,102,460.00
30	NİSAN	4,703,046.80
31	MAYIS	4,748,360.00
30	HAZİRAN	4,200,098.40
31	TEMMUZ	4,667,016.00
31	AĞUSTOS	4,906,646.00
30	EYLÜL	5,412,122.00
31	EKİM	4,547,086.00
30	KASIM	4,751,740.02
31	ARALIK	4,751,740.02
	Toplam	57,220,880.24

Çizelge 4.17. Toplam enerji bedeli

PTF+YEKDEM	0,3744
DAĞITIM	0,101703
ENERJİ FONU (%1)	0,003744
TÜKETİM VERGİSİ (%1)	0,003744
TOPLAM (TL/kWh)	0,483591

PTF: Piyasa Takas Fiyatı

YEKDEM: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

Yıllık Elektrik Gelir = toplam enerji üretim × toplam enerji bedeli (4.4)

Yıllık Elektrik Gelir = $\frac{57.220.880,24 \times 0,483591}{6,5}$= 4.257.154,26 Euro

Yıllık Gelir Maliyeti = Yıllık Isı Enerjisi Gelir + Yıllık Elektrik Gelir (4.5)

Yıllık Gelir Maliyeti = 1.427.661,38 + 4.257.154,26 = 5.684.815,65 Euro

olacaktır.

Yıllık net değer:

Örnek fabrikanın yıllık net değeri, yıllık gelir maliyeti ve yıllık gider maliyeti değişkenlerin çıkarılmasından elde edilir.

Yıllık Net Değer = Yıllık Gelir Maliyeti - Yıllık Gider Maliyeti (4.6)

Yıllık Net Değer = 5,684,815.65 – 4.366.029,41= 1.318.786,24 Euro bulunmuştur.

Yatırımın geri dönüşü

Örnek alınmış fabrikanın yatırımın geri dönüşümü, toplam maliyet ve toplam gelirin bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Yatırımın geri dönüşü= $\frac{\text{Maliyet}}{\text{Toplam gelir}}$ (4.7)

Yatırımın geri dönüşü = $\frac{3.000.000,00}{1.318.786,24} = 2,27$ yıl olacaktır.

4.2.5. Gürültü kirliliği

CCHP sistemlerinde ses üretimi bağlantı yüzeylerde ve bacaların çıkışında olmaktadır ve toplam ses üretimi genellikle metre başına 100 desibel aralığında olduğu kabul edilir. Ancak endüstriyel bölgelerde yerel (perakende) üretim sistemlerinde ses üretimi 65-75 desibel aralığında sınırlandırılmıştır. Ses gürültüyü kabul edilebilir bir seviyeye getirebilmek için baca çıkışında susturucu kullanılması tavsiye edilir. Ayrıca bazı özel durumlarda gürültünün çok düşük seviyede olması gerekiyorsa, özel ses yalıtımı kullanılması ses seviyesini 60

metrede 30 desibele kadar indirebilir [66]. Ses kirliliğini düşürmek yatırım maliyetinde artışa ve verimde biraz düşüklüğe neden olsa da çoğu kez kaçınılmazdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

CCHP sistemleri sadece enerji verimliliği açısından değerlendirilmemelidir. Aynı zamanda ekonomik açısından geleneksel tesislere göre çok daha ekonomiktirler. Bu sistem diğer enerji santrallerine kıyasla yaklaşık %85-90 arasında verimliliğe sahiptir ve aynı zamanda elektrik, ısı, buhar, sıcak su, soğutma ve ısıtma sistemine sahiptir. CCHP sistemleri fosil elektrik üretim santrallerine göre çok ekonomik olan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Tez çalışmasında tasarlanan sistemin bulunduğu fabrikada sadece ısı üretimi için yıllık 3.698.646,34 Euro, doğal gaz maliyeti ve elektrik tüketim faturası ise 4.257.154,26 Euro harcama yapıldığı görülmüştür. Sadece enerjiye harcanan miktar 7.955.803,6 Euro ile eşittir. Ancak CCHP sistemleri 3.000.000 Euro bir sermaye ile yıllık giderleri yıllık gelire dönüştürülebilir. Bu durumda bir CCHP sistemi tasarımı ve kurulumunun yatırım maliyetlerini 2,27 yıllık bir süre içinde geri döneceğini göstermektedir. 2,27 yıllık süre sonunda sermaye (gelir) üreticisi olarak devreye girmiş olacaktır ve bakım, onarım ve yakıt maliyetleri harici ekonomik yön boyunca gelir sağlayacaktır. CCHP sistemi yerel (perakende) üretim sistemi ve yüksek bir elektrik üretim tesis olarak belirlenir, bu sebepten öncelikle yüksek güçlü elektrik tüketim tesislerinde kullanılmaktadır. Büyük merkezi elektrik santrallerine kıyasla iletim kayıpların çoğu ortadan kalkar, elektrik güç dağıtım kayıpları azalır ve toplam elektrik şebekesinden büyük oranda yükü azaltır. Elektrik şebekesinin kapasitesinin aşılması önlenir, yakıt tüketimini azaltır böylece büyük tesislerde üretilen harmoniklerin ve enjekte edilen reaktif gücün sıfıra yaklaşması sağlanır. Bu durumda ayrıca elektrik şebekesine yüklenen ek maliyetin düşmesi anlamına gelmektedir. Ülkenin kalkınma planına da katkıda bulunmaktadır. CCHP sistemlerin de çoğu kez çok düşük sera gazı emisyon üretme avantajına sahip doğal gaz yakıtı kullanılmaktadır. CCHP sistemi ile baca (egzoz) çıkışından ısı oranı ise %10-15 arasına düşürmektedir ve bu değer diğer enerji santrallerinde yüzde 40'tan fazladır. Genel olarak CCHP sistemlerinde soğutma sistemleri, şeker fabrikası gibi büyük alanda buhar üretimi, içilecek su üretimi vb. yerlerde kullanıldığında en düşük verimliliği %85 civarında olacaktır. Bu durum CCHP sistemlerinin en büyük avantaj olarak tanımlanmaktadır.

İleriki çalışmalarda, gerek doğal gaz hatları gerekse de ülkenin artan enerji taleplerini karşılamak anlamında mikrogrid ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegreli CCHP sistemleri tasarımı artan öneme sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Sheverini, P. (2015). *Doğalgaz çevrim santrallerinde enerji üretiminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-8.

2. İnternet: Fosil yakıt teşvikleri ve halk sağlığı. URL: https://env-health.org/IMG/pdf/briefing_ff_subsidies_and_health_turkish_final_version.pdf. Son erişim tarihi:12.07.2021.

3. Sözen, E. , Gündüz, G., Aydemir, D., ve Güngör, E. (2017). Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi. *Journal of Bartin Faculty of Forestry*, 19 (1), 148-160.

4. Reinert, N. (2012). *Combined heat and power-technology review and analysis for a residential building*. Master's thesis, The University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee, 22-25.

5. Miry, M., Beyati, G., ve Zerbekhsh.M.H. (2004). Introduction to Common Electricity and Heat Production Systems. *Ministry of Energy - Energy Efficiency Organization of Iran*, Farshiveh Printing Company, Tahran, 30.

6. İnternet: Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon Buhar Sistemleri. URL: https://www.scribd.com/document/354559339/EndustriyelSistemlerdeOptimizasyon-Buhar-Sistemleri. Son erişim tarihi: 12.07.2021

7. İnternet: Combined Heat and Power Technologies Applied Studies of Ptions İncluding Micro Turbines. URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-mb_2472.pdf. Son erişim tarihi: 12.07.2021.

8. İnternet: The European Educational Tool on Cogeneration. URL: https://www.academia.edu/35089944/The_European_Educational_Tool_on_Cogeneration. Son erişim tarihi: 12.07.2021.

9. İnternet: Extraction Steam Turbine. URL: https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-fully-condensing-and-back-pressure-steam-turbines. Son erişim tarihi: 29.08.2019.

10. İnternet: The European Educational Tool on Cogeneration. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.618.8470&rep=rep1&type=pdf. Son erişim tarihi: 20.07.2021.

11. Paul, O. (2015). CHP Industrial Bottoming and Topping Cycle with Energy Information Administration Survey Data. *U.S. Energy Information Administration*, 1-19.

12. İnternet: Electrical Engineer. URL:https://poweren.ir/%D9%86%DB%8C%D8%B1%D9%88%DA%AF%D8%A7%D9%87%D8%B3%DB%8C%DA%A9%D9%84%D8%AA%D8%B1%DA%A9%DB%8C%D8%A8%DB%8C-%DA%86%DB%8C%D8%B3%D8%AA.html. Son erişim tarihi: 30.08.2019.

13. İnternet: Electrical İnnovators. URL:https://noabargh.ir/blog/articles/%D8%A7%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%B9-%D9%86%DB%8C%D8%B1%D9%88%DA%AF%D8%A7%D9%87-%D9%82%D8%B3%D9%85%D8%AA-%D8%AF%D9%88%D9%85. Son erişim tarihi: 01.09.2019.

14. İnternet: Bornika. URL:https://www.bornika.ir/Fact/Detail/183/%D9%86%DB%8C%D8%B1%D9%88%DA%AF%D8%A7%D9%87-%D8%B3%DB%8C%DA%A9%D9%84-%D8%AA%D8%B1%DA%A9%DB%8C%D8%A8%DB%8C. Son erişim tarihi: İnternet:01.09.2019.

15. Packman. (2014). Combined Cycle Power Plant. *Compiled by Pakman Research Department*, 1-2.

16. Hamed, M. (2012). Gas Turbines Description and Principles of Work Used in the Oil İndustry and Power Plant, *Engineer-Iran*, Spow power plan blogfa, Tehran, 81-84.

17. Elahe, D. (2014). *Gas turbines*. Master thesis, Sharif University of Technology, Tehran, İran.

18. Shana, N. (2015). Application of Gas Turbines in Oil and Gas İndustry. *Petron Energy İnformation Network*, 1, 1-4.

19. Wua, Y., Zhangb, H. ve Zuoa, L. (2018). Thermoelectric energy harvesting for the gas turbine sensing and monitoring system, *Journal of Energy Conversion and Management*, 157, 216-223.

20. Catalog, C, T. (2015). Technology Characterization-Reciprocating Internal Combustion Engines. *U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership*, 2, 3-4.

21. Nezam, F. (2013). Project Documentation of the CHP System. *Vice President for Strategic Planning and Oversight*, 18-20.

22. Matthew, T. G., Glynn, M. ve Jason, W. (2017). Combined Heat and Power. *Water Environment Federation RBC Bioenergy Technology Subcommittee*, 1-24.

23. İnternet: Combustion Engine for Power Generation: Introduction. URL: https://www.wartsila.com/energy/learn-more/technical-comparisons/combustion-engine-for-power-generation-introduction Son erişim tarihi:20.07.2021.

24. Hosseini, S.M. (2018). *Thermodynamics course seminar 2 - Sterling Engine.* Iran University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 1-14.

25. Satba. (2007). What is a Fuel Cell. *Ministry of Energy Renewable Energy and Electricity Efficiency*. 11(2). 1-4.

26. EG&G Technical Services. (2004). *Fuel Cell Handbook* (Seventh Edition). Morgantown: West Virginia, 5-12.

27. Ahmadpour, A. ve Kalbasi, M., (2014). *Investigation of the performance of different types of fuel cells in the production of clean energy*. Fourth International Conference on New Approaches to Energy Conservation, Tehran, 1-6.

28. Riazi, S. H., (2005). Types of fuel cells and its application, Vaziri (Shomiz), Gisom Book Comprehensive Company, Tehran, 5-6.

29. Telex, T, N. (2018). Introduction of Fuel Bridges and Their Advantages and Disadvantages, *Transport Analytical News Database*. News code: 86973,1-3.

30. Shafiee, M. (2015). Implementation of Synchronous Generator Excitation Static System, *Ministry of Science, Research and Technology of Khorasan Higher Education Institute*, 1-19.

31. Madadi, M. A. ve Birjandi, A. Y. M. (2013). *AC Electric Machines*, Chapter Two:Transformers. Iran Textbook Publishing Company, General Office for Supervision of Publication and Distribution of Educational Materials, Iran Textbook Publishing Company, Tehran, 65-70.

32. Teknik, M. (2016). Asenkron: Performans, Avantajlar ve Dezavantajlar. *Rayan Sanat Company*. 3-4.

33. Madadi, M. A. ve Birjandi, A. Y. M. (2013). *AC Electric Machines*, Chapter Two:Transformers. Iran Textbook Publishing Company, General Office for Supervision of Publication and Distribution of Educational Materials, Iran Textbook Publishing Company, Tehran, 65-75.

34. Madadi, M. A. ve Birjandi, A. Y. M. (2013). *AC Electric Machines*, Chapter 6. Iran Textbook Publishing Company, General Office for Supervision of Publication and Distribution of Educational Materials, Iran Textbook Publishing Company, Tehran, 70.

35. Dehkordi, H. G., Ahmadian. M. ve Khedrzadeh, M. (2013). *Special Protection Scheme in Power Systems.* 7th Specialized Conference on Protection and Control of Power Systems, Tahran, 1-8.

36. Demirbaş, Ş. ve Bayhan, S. (2009). Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(3). 461-468.

37. Torabi, M. (2019). Electrical Protection Units and Systems. *Industry Month*. 4(5). 14-15.

38. İnternet: Bergh, N. (2017). Voltage and Frequency Control and Network Effects. URL:https://elicaelectric.com/blog. Son erişim tarihi 01.01.2021.

39. Golestani, E. ve Batahi, M. T. (2006). *Study of Transient Stability of Azerbaijan Power Ggrid by Designing Appropriate Controllers and Adjusting AVR and Governor Parameters of Ardabil Power Plant*. Ninth Iranian Electrical Engineering Student Conference, Tehran, 1-6.

40. Ashkan, A. (2020). Measurement Error. *Faradres Magazine*. 15, 1-5.

41. İnternet: Akropars. (2017). URL: https://akropars.com. Son erişim tarihi: 10.12.2019.

42. Electrical, E. J. (2019). Relays in High Pressure Power Systems. *Electrical Educational Journal*, 5(4), 1-7.

43. Norouzi, M. ve Atai, A. (2010). *Optimizing energy consumption in a commercial-office building in tehran with the right choice of chiller and cooling tower to cool the center*. Iran's First International Conference On Chillers and Cooling Towers, Tehran, 1-3.

44. Petromechanica, P. E. (2017). Heat Pumps ve Geothermal Energy. *New Energy Organization in Iran*, 4(7), 1-23.

45. Kaboudi, D., Rashidzadeh, H., Habibzadeh, V. ve Kaboudi, K. (2009). *Use of absorbing heat pumps in air supply reciprocating channels*. The First International Conference on Heating, Cooling and Air Conditioning in Iran, Tehran, 1-8.

46. Chamra, L. M. ve Mago, P. J. (2009). *Micro-CHP Power Generation for Residential and Small Commercial Buildings*. Nova Science Publishers, New York, 1-14.

47. İnternet: Catalog of CHP Technologies. URL: https://www.epa.gov/chp/catalog-chp-technologies. Son erişim tarihi:20.07.2021.

48. İnternet: About Companies and Products. URL: http://farazayeghzarrin.com/. Son erişim tarihi: 20.11.2019.

49. Hassanzadeh, S., Kia, H. K. ve Zolghadr, M. (2016). *Qom university of technology co-generation power plant-environmental feasibility study*. 31st Iranian Electricity Conference, Tehran, 1-7.

50. Mabna. (2018). Mabna Group Introduction. *Mabna report on the energy of tomorrow, Tehran*, 1-7.

51. Mansouri, A. M. ve Khoshkho, R. H. (2013). *Feasibility study of co-generating systems of electricity, heat and cold based on primary propulsion of gas engine with different strategies for residential apartments*. Fourth Conference on Thermal Power Plants Industry, Tehran. 1-7.

52. Innocent, N. ve Chimezie, N. (2019). Principles of costing and cost analysis as a tool for production costs control: a case study of nigerian companies. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 2(3), 225-229.

53. Haslinda, N., Rosliza, A. M., Juni, M. H., ve Faisal, I. (2017). Designing and Conducting Cost-Effectiveness Analysis Studies in Healthcare. *International Journal of Public Health and Clinical Sciences*, 4(5), 62-76.

54. Hoch, J. S. (2005). Understanding Cost-utility Analysis in Health Care. *Article in University of Toronto Medical Journal*, 83(1), 126-130.

55. Shahrzadi, L., Al-Hawaiji, F. Bab., ve Rizi, H. A. (2013). Cost-Benefit Analysis: An İndicator for Economic Evaluation of Libraries and İnformation Centers. *Health Information Management*, 10(2), 1-16.

56. Mikesell, J. L. (1991). *Fiscal Administration: Analysis and Application for The Public Sector*. Wadsworth Cengage Learning, 45-53.

57. Jory, S. R., Benamraoui, A., Boojihawon, D. R., ve Madichie, N. O. (2016). Net present value analysis and the wealth creation process: a case illustration. *The Accounting Educators Journal*, 26(1), 85-99.

58. İnternet: Samsun Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı Projesi, URL: https://www.eib.org/attachments/pipeline/20090684_eia_tr.pdf. Son erişim tarihi: 20.07.2021.

59. Zamfır, M., Manea, M. D., ve Ionescu, L. (2016). Return on investment – indicator for measuring the profitability of invested capital. *Valahian Journal of Economic Studies*, 7(2), 1-8.

60. Üçüncü, K. (2016). Mühendislik ekonomisi kısım 2 örnek problemler ders notu, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 1-59.

61. Iranian, N.S.O. (2014). Return and measuring internal rate of adjusted internal rate of return for investments in building and building systems. *Iranian National Standardization Organization*, Tehran, 1-32.

62. Magni, C. A. (2013) The Internal-Rate-of-Return Approach and The AIRR Paradigm: A Refutation and A Corroboration. *Department of Economics Marco Biagi University of Modena and Reggio Emilia*, 58(2), 6-14.

63. Khaki, A. M., Mousavi, S. R., ve Arjroudi, R. (2016). Calculation of reduction of operating costs in economic evaluation of road improvement (Case Study: Fasa-Zahedshahr Main Road). *Journal of Amirkabir Civil Engineering*, 49(1), 165-173.

64. İnternet: International Energy Agency. (2019). URL: https://www.iea.org/chp/data/globalchpdhcdata-currentbaseline. Son erişim tarihi: 09.10.2019.

65. Hashemi, F., ve Heidari, S. (2011). Investigation of Climatic Function of Winter Yard in Cold Areas Case Study: Ardabil City. *Article taken from the master's thesis of the Faculty of Architecture*, 6(2), 139-155.

66. Energy Ministry. (2009). Comprehensive Guide to the Simultaneous Production of Electricity and Heat. *Office of Productivity Improvement and Electricity and Energy Economy of the Ministry of Energy*, 31-37.



GAZİ GELECEKTİR...