

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**TURİSTİK BİR TESİSİN KOJENERASYON SİSTEMİNE  
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Doğuş Ferit UYDUR**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**  
**Makine Mühendisliği Programı**

**Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

**ŞUBAT 2022**

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**TURİSTİK BİR TESİSİN KOJENERASYON SİSTEMİNE  
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Doğuş Ferit UYDUR**

**191222003**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Makine Mühendisliği Programı**

**Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

**ŞUBAT 2022**



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 191222003 numaralı öğrencisi **Doğuş Ferit UYDUR**'un tez çalışması, 25/02/2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

1) Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. İbrahim ATMACA

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Utku CANCI MATUR

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans “Turistik Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi ve Termoeconomik Analizi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (25/02/2022).

Doğuş Ferit UYDUR



## ÖNSÖZ

Mühendislik alanında yaşanan gelişmeler ile beraber elektrikli araçlar da başta olmak üzere teknolojik ürünlerin kullanım alanı genişlemekte olup beraberinden risk oluşturacak derecede enerji ihtiyacı oluşturmaktadır. Nükleer enerji sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri ve diğer yakıtlar ile sürekli enerji ihtiyacının karşılanmasına ek olarak tüketicilerin belirli oranlarda bireysel ya da anlaşmalar ile ticari elektrik üretimi mümkün olmaktadır.

Kojenerasyon sistemleri aynı enerji kaynağından güç ve ısıyı beraber sağlayan sistemlerdir. Bu çalışmada İstanbul ilindeki 3.200 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip, 88 yatak kapasiteli bir otele kurulan mevcut sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak kojenerasyon sistemi olmayan bu otelin elektrik ve doğalgaz maliyet analizi yapılarak ısıtma ve elektrik için bir kojenerasyon sistemine dönüştürülmesi durumu tasarlanmıştır. Alternatif durum ile geri kazanım süresi ve enerji tasarrufu tahmini değil gerçek tüketimler ile hesaplanmıştır. Bu doğrultuda fizibilite ve yatırım maliyetlerinde kesin sonuçlara varılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın araştırılması, hazırlanması vb. süreçlerde desteklerini esirgemeyen hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman bana destek vererek yanımda olduklarını gösteren sevgili eşim Feride DALĞIÇ UYDUR'a, ablam Münibe UYDUR'a ve bu çalışmayı yapmama imkan tanıyan lisans ve yüksek lisans eğitimimde görev olan saygıdeğer tüm Makine Mühendisi hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2022

Doğuş Ferit UYDUR

Makine Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR VE SİMGELER</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kojenerasyon Sistemlerin Genel Tanımı .....	1
1.2 Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihi.....	2
1.3 Türkiye’de Güncel Enerji Durumu ve Kojenerasyon Kullanımı Potansiyeli.....	3
1.4 Bina ve Hizmet Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma.....	7
1.5 Sanayi ve Teknoloji Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma.....	8
1.6 Enerji Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma .....	9
1.7 Tarım Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma .....	9
1.8 Dünya’da Güncel Enerji Durumu ve Kojenerasyon Kullanımı Potansiyeli.....	10
1.9 Kojenerasyon Sistemlerinin Üstünlükleri ve Tercih Sebepleri .....	12
<b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI</b> .....	<b>14</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>18</b>
3.1 Buhar Türbinleri .....	18
3.2 Gaz Türbinleri .....	19
3.3 Gaz Motorları .....	20
3.4 Mikro Kojenerasyon.....	23
3.4.1 İçten yanmalı motorlar .....	24
3.4.2 Dıştan yanmalı motorlar .....	25
3.4.3 Yakıt pili bazlı sistemler .....	25
3.4.4 Mikro gaz türbinleri .....	26
3.4.5 Mikro buhar türbinleri .....	26
3.5 Termodinamiğin 1. Kanunu ve Kojenerasyon Sistemleri .....	27

3.5.1 Kütlenin korunumu .....	28
3.5.2 Enerjinin korunumu .....	28
3.6 Otto Çevrimi - Buji Ateşlemeli Motorların İdeal Çevrimi .....	29
3.7 Kullanılan Yakıt Türleri .....	30
3.7.1 Doğalgaz .....	30
3.7.2. LPG .....	33
3.7.3 Propan .....	34
3.7.4 Motorin (Dizel) .....	34
3.7.5 Biyogaz .....	34
3.8 İstanbul İli Dış Ortam Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi .....	34
<b>4. BULGULAR VE KAYNAK ÖZETİ .....</b>	<b>36</b>
4.1 Mevcut İklimlendirme Sistemi .....	36
4.1.1 Mevcut ısıtma ve soğutma kapasitesi .....	37
4.1.2 Mevcut sistemin verimlilik oranları .....	39
4.2 Tesisin Elektrik Sarfiyat Analizi .....	40
4.3 Mevcut Isıtma Sistemi ve Sıcak Su İhtiyacının Belirlenmesi .....	42
4.3.1 Kapalı havuz ısıtma yükü hesabı .....	42
4.3.2 Kullanım sıcak su hesabı .....	43
4.3.3 Hamam döşeme ve duvarlar ısı kaybı hesabı .....	45
4.3.4 Kapalı yüzme havuzu etrafı spa zemini ısı kaybı hesabı .....	45
4.4 Kojenerasyon Sistem Kapasitesinin Belirlenmesi .....	46
4.5 Kojenerasyon Sistem Soğutması ve Boyler Isıtması İçin Sıcak Su Analizi .....	50
4.5.1 Otto çevrimine göre çalışması durumunda klasik sistem verimi hesabı .....	53
4.6 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi .....	56
4.6.1 Kojenerasyon sistemi baca gazı termodinamik analizi .....	56
4.6.2 Kojenerasyon sistemi soğutma suyu devresi termodinamik analizi .....	57
4.7 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Elektriksel ve Termodinamik Verimi .....	58
4.7.1 Kojenerasyon sistemin elektriksel verimi .....	59
4.7.2 Kojenerasyon sistemin atık ısı kazanı verimi .....	59
4.7.3 Kojenerasyon sistemin soğutma suyu verimi .....	59
4.7.4 Kojenerasyon sisteminin genel verimi .....	60
4.8 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Birincil Enerji Kaynağı Tasarrufu .....	61
4.9 Seçilen Kojenerasyon Sistemin Özellikleri .....	62
<b>5. AMORTİSMAN SÜRESİ HESABI VE SİSTEM PROJELENDİRMESİ .....</b>	<b>64</b>

5.1 Enerji Sarfiyatlarının Güncel Maliyeti .....	64
5.1.1 Elektrik tüketimi için birim fiyat .....	64
5.1.2 Doğalgaz tüketimi için birim fiyat .....	64
5.2 Bakım Onarım Genel Giderleri .....	65
5.2.1 Motor yağlama tüketimi hesabı .....	65
5.2.2 Kojenerasyon sistem iç elektrik tüketimi.....	66
5.2.3 Parça değişimi ve genel periyodik bakım gideri.....	66
5.3 Sistem Elektrik Enerjisi Kazancı Analizi .....	66
5.4 Sistem Isı Enerjisi Kazanımı Analizi ve Net Aylık Kazanç Hesabı.....	67
5.5 Amortisman Süresinin Hesabı .....	68
5.6 Uygulamanın 3 Boyutlu Projelendirilmesi RevitMep.....	70
<b>6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>75</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>88</b>

## KISALTMALAR VE SİMGELER

<b>LPG</b>	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
<b>LNG</b>	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
<b>VRF</b>	: Variable Refrigerant Flow (Değişken Debili Soğutucu Akışkan)
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
<b>CHP</b>	: Combined Heat and Power (Kombine Güç ve Enerji)
<b>TEDAŞ</b>	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
<b>COP</b>	: Performans Katsayısı
<b>EER</b>	: Enerji Verimlilik Oranı
<b>E</b>	: Ortalama Elektrik Enerjisi İhtiyacı (kWh)
<b>P</b>	: Elektriksel Güç (kW)
<b>V</b>	: Hacim
<b>2D</b>	: 2 Boyutlu Modelleme
<b>3D</b>	: 3 Boyutlu Modelleme
<b>BEKT</b>	: Birincil Enerji Kaynağı Tasarruf Oranı
<b>USD</b>	: Para Birimi (\$)
<b>Rpm</b>	: Dakikadaki Devir Sayısı(devir/dakika)
<b>T</b>	: Sıcaklık Birimi
<b>s</b>	: Entropi (kJ/kgK)
<b>m</b>	: Kütleli Debi (kg/s)
<b>Sm<sup>3</sup></b>	:15 °C ve 1 Atmosfer (1,01325 bar) Koşullarındaki Gaz Hacmi

<b>m<sup>3</sup> /yıl</b>	: 1 Yıllık Metre Küp
<b>m</b>	: Kütle
<b>P</b>	: Basınç
<b>E</b>	: Enerji
<b>W</b>	: İş
<b>Q<sub>ç</sub></b>	: Çevrimden Ortama Verilen Isı (kj/kg)
<b>Q<sub>g</sub></b>	: Çevrime Verilen Isı (kj/kg)
<b>C<sub>p</sub></b>	: Su Özgöl Isısı (1 kCal/kg°C)
<b>C<sub>n</sub></b>	: Egzoz Gazının Ortalama Özgöl Isı Değeri ( $\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$ )
<b>lt/h</b>	: Saatlik Litre Miktarı
<b>kWh</b>	: Kilowatt Saat
<b>kWh/gün</b>	: Günlük Kilowatt Saat Miktarı
<b>kcal/gün</b>	: Günlük Kilo kalori Miktarı
<b>η</b>	: Verim
<b>η<sub>otto</sub></b>	: Otto Motorunun Verimi
<b>η<sub>e</sub></b>	: Kojenerasyon Sistemin Elektriksel Verimi
<b>η<sub>b</sub></b>	: Kojenerasyon Sistemin Baca Gazı Atık Isı Kazanı Verimi
<b>η<sub>s</sub></b>	: Kojenerasyon Sistemin Soğutma Suyu Devresi Verimi
<b>r</b>	: Sıkıştırma Oranı
<b>m<sub>e</sub></b>	: Atık Isı Kazanından Çıkan Egzoz Gazı Debisi (kg/h)
<b>H</b>	: Kojenerasyon Sistemin Saatlik Yakıt Tüketimi

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> : 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	7
<b>Çizelge 1.2</b> : 2020 Yılı Dünya Enerjisinin İstatistiksel Görünümü.....	11
<b>Çizelge 3.1</b> : Sektörlere Göre Doğal Gaz Tüketim Miktarları (milyon Sm <sup>3</sup> ).....	31
<b>Çizelge 3.2</b> : Yıllara Göre Doğal Gaz Piyasası Genel Görünümü (milyon Sm <sup>3</sup> ).....	31
<b>Çizelge 3.3</b> : 2019 yılında Dağıtım ve Tedarik Şirketlerinin Konut ve Sanayi Tüketicilerine Sattıkları Doğal Gazın Ortalama Birim Fiyatları (TL/Sm <sup>3</sup> ).....	33
<b>Çizelge 3.4</b> : Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstanbul İli Yıllık Sıcaklık İstatistiği.....	35
<b>Çizelge 4.1</b> : VRF Sistemlerinin Kapasiteleri ve Mahallerin Toplam Isıtma-Soğutma Yükleri (kW) .....	38
<b>Çizelge 4.2</b> : Zamanlı Tarifeye Göre 12 Aylık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)....	40
<b>Çizelge 4.3</b> : Farklı Kullanma Amaçlarına Göre Önerilen Havuz Suyu Sıcaklıkları	42
<b>Çizelge 4.4</b> : Kapalı Havuz Isı Kaybı ve Isı Kazancı Değerleri .....	43
<b>Çizelge 4.5</b> : Sıcak Su Tüketim Miktarları 60 °C Sıcaklıkta - Yüksek Konfor Seviyesi .....	43
<b>Çizelge 4.6</b> : Eş Zaman Faktörü ve Depolama Katsayıları.....	44
<b>Çizelge 4.7</b> : Uygulama Yapılan Otele Ait Sıcak Sulu Sistemler Isıtma İhtiyacı Tablosu .....	46
<b>Çizelge 4.8</b> : Gündüz Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri.....	47
<b>Çizelge 4.9</b> : Puant Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri .....	48
<b>Çizelge 4.10</b> : Gece Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri .....	49
<b>Çizelge 5.1</b> : Kojenerasyon Sistem Kurulması Sonrası Elektrik Enerjisi Üretim- Tüketim ve Genel Kazanç Hesabı .....	67
<b>Çizelge 5.2</b> : Kojenerasyon Sistem Kurulması Sonrası Sıcak Su Enerjisi Kazanımı ve Sistemin Toplam Yıllık Kazanç Hesabı .....	68
<b>Çizelge 5.3</b> : Kojenerasyon Sistem Amortisman Süresi Hesabı.....	69

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Kojenerasyon ve Geleneksel Sistemler İle Enerji Üretimlerinin Sankey Diyagram İle Karşılaştırılması .....	2
Şekil 1.2 : 2019 Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW) .....	4
Şekil 1.3 : 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	5
Şekil 3.1 : Gaz Türbinli Kombine Çevrim Şeması ve T-s Diyagramı.....	19
Şekil 3.2 : Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Prensi Şeması.....	21
Şekil 3.3 : Mikro Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtların Dağılımları ...	23
Şekil 3.4 : Mikro Kojenerasyon Sistemlerin Sınıflandırılması.....	24
Şekil 3.5 : İçten Yanmalı Motor Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi.....	24
Şekil 3.6 : Yakıt Pili Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 3.7 : Gaz Türbini Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi..	26
Şekil 3.8 : Buhar Türbini Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi .....	27
Şekil 3.9 : (a) Otto Çevrimi P-V Diyagramı (b) Otto Çevrimi T-S Diyagramı.....	29
Şekil 4.1 : Zamanlı Tarifeye Göre Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh).....	41
Şekil 4.2 : Kazan Dairesi ve Kojenerasyon Sistem Şeması.....	51
Şekil 4.3 : Otto Çevriminin Isıl Veriminin Sıkıştırma Oranı ile Değişimi .....	53
Şekil 4.4 : Kojenerasyon Sistemden Elde Edilen Toplam Isı Enerjisi .....	58
Şekil 4.5 : Kojenerasyon Sisteminde Yanma İşlemi Sonucu Enerji Dönüşümü .....	60
Şekil 5.1 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kesit Görünüşü ve Mekanik Alanların Yerleşimleri.....	70
Şekil 5.2 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kojenerasyon Yerleşimi Çatı Kat Planı.....	71
Şekil 5.3 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kazan Dairesi ve Kolektör Yerleşimleri 1. Kat Planı.....	71
Şekil 5.4 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kazan Dairesi ve Kolektör Yerleşimleri Kesit Görünüşü.....	72

# TURİSTİK BİR TESİSİN KOJENERASYON SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ

## ÖZET

Kojenerasyon sistemleri aynı enerji kaynağından güç ve ısıyı beraber sağlayan sistemlerdir. Bu çalışmada İstanbul ilindeki 3.200 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip, 88 yatak kapasiteli bir otele kurulan mevcut sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak kojenerasyon sistemi olmayan bu otelin elektrik ve doğalgaz maliyet analizi yapılarak ısıtma ve elektrik için bir kojenerasyon sistemine dönüştürülmesi durumu tasarlanmıştır. Alternatif durum ile geri kazanım süresi ve enerji tasarrufu tahmini değil gerçek tüketimler ile hesaplanmıştır. Bu doğrultuda fizibilite ve yatırım maliyetlerinde kesin sonuçlara varılması amaçlanmıştır.

Enerji üretimi için önem arz eden yakıt türleri detaylı olarak açıklanarak güncel kullanım durumları değerlendirilmiştir. Ayrıca kojenerasyon sistemlerinin Türkiye ve Dünyadaki kullanım sıklığı, teknik elemanları ve sıkça kullanılan türleri araştırılarak seçilen sistemin termo-ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışma sonucunda otel için 71 kWe enerji üretebilen 109 kW ısı güce sahip sistem seçilmesi uygun bulunmuştur. Genel yatırım maliyetleri 140.000 USD olarak tespit edilmiş ve kojenerasyon sistemin yaklaşık 5 yılda kazanç sağlamaya başlayarak kendini amorte edeceği sonucuna varılmıştır.

Tez çalışmasında termoekonomik analizi yapılan tesisin uygulama ve proje aşamasında doğru şekilde analiz edilmesi ve uygulanabilirliğinin kontrolü için RevitMEP ile 3D mekanik dizaynı yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji tüketimi, fayda-maliyet analizi, kojenerasyon, termo-ekonomi, 3D mekanik dizayn.

# **TRANSFORMATION OF A TOURISTIC FACILITY TO COGENERATION SYSTEM AND THERMOECONOMIC ANALYSIS**

## **ABSTRACT**

Cogeneration is a process where electrical and thermal energy is produced simultaneously. In this study, economical analysis of the current system to be built in a 88 bed capacity private otel that occupies a 3.200 m<sup>2</sup> of covered area in Istanbul. Unlike other studies, this hotel which does not have a cogeneration system, has been designed anew with electricity and gas cost analysis to transform electricity and natural gas into a cogeneration system for heating and electricity. Alternative case, recovery time and energy saving are calculated with real consumption, not estimated. For this purpose, it is aimed to reach exact results in feasibility and investment costs.

Uses that are important in terms of energy have been evaluated by explaining them up-to-date. In addition, the frequency of use of cogeneration systems in Turkey and the world, technical components and the thermo-economic evaluation of the selected system was made by researching the frequently used types.

As a result of the study, it was found appropriate to choose a system with a thermal power of 109 kW, which can produce 71 kWe of energy for the hotel. The overall investment costs have been determined as 140,000 USD and it has been concluded that the cogeneration system will pay for itself in approximately 5 years by starting to earn.

In the thesis study, a 3D mechanical design was made with RevitMEP in order to analyze the facility, whose thermoeconomic analysis was performed, correctly during the application and project phase and to control its applicability.

**Key Words:** Energy consumption, cost-benefit analysis, cogeneration, thermo-economic, 3D mechanical design.

## 1. GİRİŞ

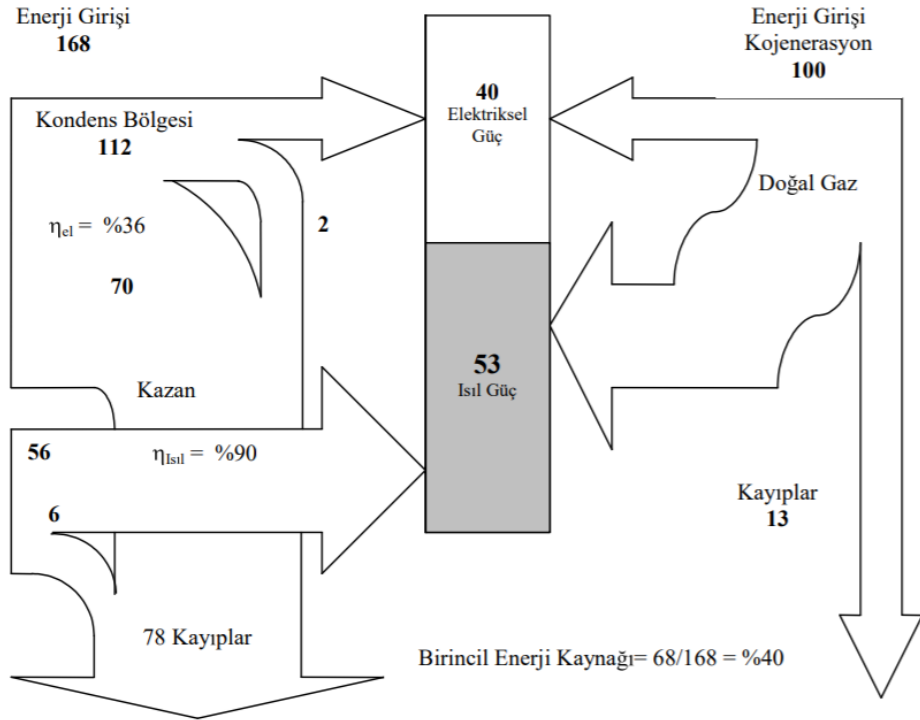
### 1.1 Kojenerasyon Sistemlerin Genel Tanımı

Kojenerasyon sistemleri klasik enerji santrallerinin yanı sıra yalnızca elektrik değil sıcak su ve buharın elde edilerek kullanıldığı birleşik ısı güç sistemleridir. Sistemin çalışmasında pilot tesisin enerji talebine göre gaz motoru, gaz türbini ya da buhar türbini seçimi mümkün olmaktadır. Elektrik ve ısıtma ihtiyaçları dünya genelinde birincil ihtiyaç grubunu oluşturmaktadır. Klasik çevrim ile yalnızca elektrik üretimi yapan termik santrallerin verimleri %30-%40 seviyesini geçmemekteyken kojenerasyon sistemlerinde ikili üretim yapılarak elektrik enerjisi elde edilmesinin yanında sıcak su ya da buhar elde edilmesi ile toplam verim %80-90 seviyelerine ulaşmaktadır.

Kojenerasyon sistemlerinde geri kazanılan atık ısının ısıtma amacına ilave olarak buhar soğurmalı soğutucular yardımıyla soğutma amaçlı yararlanılması esasına dayanan sistem ise “Trijenerasyon Sistemi” olarak adlandırılmaktadır.

Birleşik ısı güç sistemine kapasiteye göre tayin edilen absorpsiyonlu chiller dahil edilerek trijenerasyon sistemlerden faydalanılmaktadır. Ülkemiz ve dünyada trijenerasyon uygulamaları mevcut ve kullanımdadır.

Bölgesel ısıtma için kullanılan sistemler çoğunlukla iki devreden oluşmaktadır. Isı merkezinde üretilen ısının bloklara taşındığı devre birincil(primer) devredir. Blokların her birinin kendi içinde ısı dağıtımını yapan devreleri ise ikincil(sekonder) devre olarak adlandırılmıştır. Isının transferi için iki çözüm kullanılmıştır. İlk yöntemde primer devre ve sekonder devre arasında projelendirilen ısı değiştirici vasıtası ile ısı geçişi sağlanmaktadır. Doğrudan sistem olarak anılan ikinci yöntemde ise primer devre akışkanı bir pompa yardımı ile sekonder devrede dolaştırılır[1].



**Şekil 1.1 : Kojenerasyon ve Geleneksel Sistemler İle Enerji Üretimlerinin Sankey Diyagram İle Karşılaştırılması**

**Kaynak:** Işık, E., İnallı, M.: “Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler”, Mühendis ve Makine – Cilt: 46, Say:550, 23-25.

Şekil 1.1'de kojenerasyon sistemlerin ve geleneksel ısıtma sistemlerinin enerji üretiminin karşılaştırılması bir Sankey diyagramında görülmektedir. Diyagram incelendiğinde; ısıl güç ihtiyacı 53 birim, elektriksel güç ihtiyacı 40 birim olan örnek bir tesisin bu ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için; geleneksel sistemlerde 168 birim enerjiye ihtiyaç duyulurken, kojenerasyon sistemlerinin kullanılması durumunda 100 birim enerji yeterlidir.

## 1.2 Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihi

Kojenerasyon sistemlerinin tarihine bakıldığında 1750 yılında teknolojiye yön verecek olan sanayi devrimi üretimle beraber kentleşmeye neden olmuştur. Isının belli bir üretim merkezinde üretilip bölgesel ısıtma amaçlı dağıtımının gerçekleştirilmesi gerekliliği bu dönemlerde önem kazanmıştır.

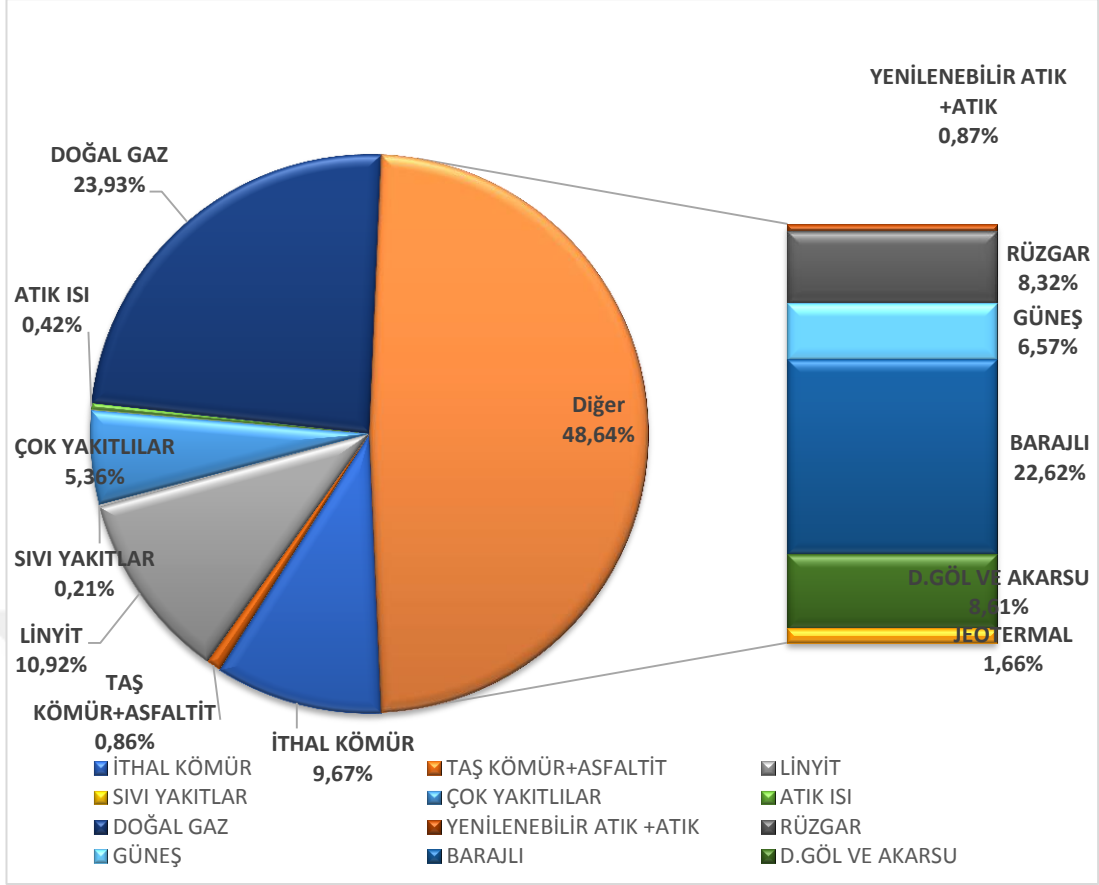
Toplumun ihtiyaçları doğrultusunda 1877 yılında ABD'nin New York eyaletinde ilk bölgesel ısıtma sistemi kurulmuştur.

1926 yılına gelindiğinde ise kaynaklara göre Albert Einstein ve öğrencisi Leó Szilárd tarafından “Einstein refrigerator” olarak adlandırılan çalışma geliştirilerek patenti 1930 yılında alınmıştır[2].

19. yüzyılın son çeyreği itibari ile Almanya, İsveç, Danimarka, Fransa, Hollanda, Norveç, İsviçre, Belçika, Avusturya, İngiltere, Rusya ve Polonya gibi birçok Avrupa ülkesinde bölgesel ısıtma sistemleri kurulmuştur. Dünya savaşlarının sona ermesinin ardından Avrupa’da öncü olan yeniden yapılanma süreci içerisinde bölgesel ısıtma projelerine daha çok önem verilmiştir. Hayata geçirilen projelerde İskandinav ülkeleri dünya lideri durumundadır ve gelişimleri süreklilik göstermektedir[1].

### **1.3 Türkiye’de Güncel Enerji Durumu ve Kojenerasyon Kullanımı Potansiyeli**

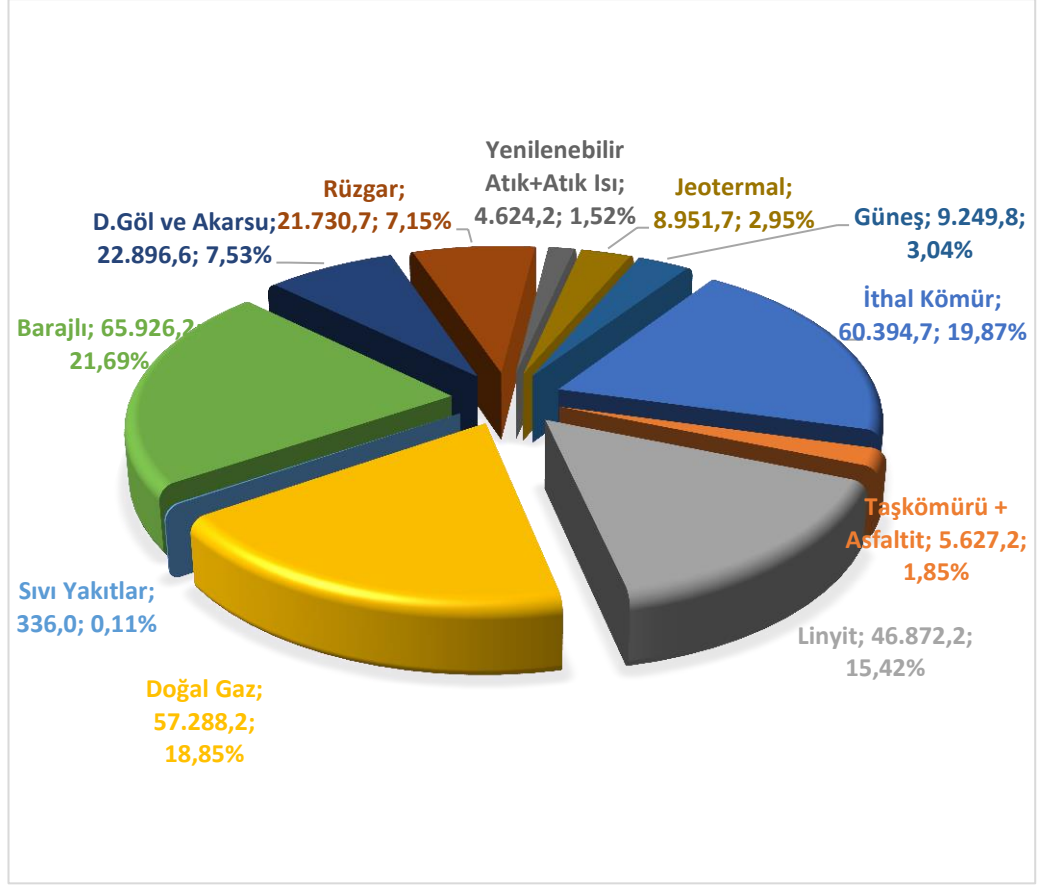
Türkiye’de projelendirilen ve işletmeye alınan kojenerasyon sistemler ile sanayilerin, konutların ve ticarethanelerin elektrik ihtiyacı sağlanmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde 1984 yılına kadar elektrik üretimi, elektrik iletimi ve dağıtım hizmetleri mevcut dönemde ki ismi ile Türkiye Elektrik Kurumu tarafından kontrol edilmektedir. 1984 yılında çıkartılan 3096 sayılı kanun ile Cumhuriyetin kuruluşundan beri üretilen elektriğin kamu kuruluşlarının yanı sıra, özel sektör tarafından üretilmesine imkan verilmiştir. Otoprodüktör olarak adlandırılan, kendisine ait endüstriyel tesisin elektriğini üreterek fazlasını da şebekeye, yani TEDAŞ’a satan tüzel kişilik, ilgili yasa ile faaliyete başlamıştır. Ülkemizin ilk otoprodüktör kojenerasyon santrali, 1992 yılında 3,7MW kurulu güce sahip Typhoon gaz türbini ile Yalova Elyaf fabrikasında faaliyete başlamıştır. Türkiye’deki kojenerasyon sistemlerinin devlet hastaneleri uygulamasına bakıldığında ilk lisanssız elektrik üretimi Manisa Turgutlu devlet hastanesinde trijenerasyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir[3].



**Şekil 1.2 : 2019 Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW)**

**Kaynak:** TEİAŞ – Türkiye Elektrik Üretim - İletim 2019 Yılı İstatistikleri

TEİAŞ Türkiye 2019 kurulu güç raporuna göre hazırlanan şekil 1.2 incelenmesi ile yapılan yatırımlar ve devlet teşviki sayesinde verimli çevreci üretimin ön plana çıktığı yorumlanmaktadır. %21,69 elektrik enerjisi eldesi ile barajlar 2019 yılında ülkemize yüksek katkı sağlamıştır[4].



**Şekil 1.3 : 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı**

**Kaynak:** TEİAŞ – Türkiye Elektrik Üretim - İletim 2019 Yılı İstatistikleri

Veriler incelendiğinde literatür de bir çok çalışma yapılan ve günümüzde de iyileştirmeler üzerine çalışmalar yapılan güneş enerjili üretim tesisleri elektrik arzının karşılanmasında ciddi bir rol üstlenmektedir. Özellikle Almanya başta olmak üzere nükleer enerjiden elektrik üreten avrupalı ülkelerin günümüzde yatırımlarını güneş enerjilerine çevirmeleri global anlamda faydalı elektrik elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ülkemizde de devlet teşvikleri ile özellikle iç anadolu ve doğu bölgelerinde güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretimi son yıllarda ilk sıralara çıkmayı başarmıştır. Güneş enerjili sistemler için geniş ve verimsiz arazilere ihtiyaç duyulması ve özellikle batı illeri ve marmara bölgesinde çatı güneş enerjisi sistemlerinin yaygın olmaması bu bölgelerin güneş enerjisinden faydalanması noktasında yetersiz kalmaktadır.

Şekil 1.3'te yer alan 2019 TEİAŞ raporunda 9.249,8 GWh elektrik enerjisi üretimi güneşten faydalanılarak elde edilmiştir. Özellikle verimsiz tarım arazileri için yatırımcıların teşvik edilmesi önem arz etmektedir.

Kömür ve linyit kaynaklar ile üretim çizelge 1.1'den görüleceği üzere sanayi devriminden bugüne başta Avrupa olmak üzere lider enerji üretim kaynağı olmuş ancak zamanla yerini yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer enerji ve doğalgaz yakıtlara bırakmıştır[4].

Ülkemizde ise yerli ve ithal kömürün bulunabilirliği, kurulmuş mevcut enerji üretim santrallerinin kömür kaynağı ile kullanımı nedeni ile toplam üretimde halen ilk sıradadır. Karbon emisyonu ve çevre zararları açısından kömür kaynaklarının kullanımını günümüzde tartışılmaktadır.

İlgili tez çalışmasının da içeriğinde yer alan doğalgaz ise enerji üretiminde halen liderliğini korumaktadır. Uzun yıllardır altyapıların yenilenmesi ve ülkemizde içinde bulunduğu ana akım doğal gaz projesi sayesinde doğalgazın kolay ulaşılabilir konut ve endüstriyel uygulamaların yaygın olması listenin ilk sırasında yer almasında önemli bir faktördür.

BP 2020 Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporu'ndan yaptığı derlemeye göre, dünya üzerinde toplam 198,8 trilyon metreküp kanıtlanmış doğalgaz rezervi bulunuyor. Dünya genelinde 38 trilyon metreküple Rusya; en fazla rezerve sahip ülkedir. Elektrik üretimi için doğalgaz kaynaklara bu dönemde yönelmek istenmesinin bir nedeni de 2020 yılında Zonguldak açıklarında keşfedilen ve 2023 yılında kullanıma sunulması planlanan 320 milyar m<sup>3</sup>'lük rezervdir. Ülkeler arası rekabeti arttırıp birim maliyetlerin tüketici açısından faydalı olacak şekilde daha uygun fiyatlara gerilemesi yapılacak olan kojenerasyon yatırımlarının geri ödeme sürelerinin ekonomik analizlerinde kısa sürelerde karşılık bulacaktır. Aynı zamanda karbon emisyonu anlamında yakıt kaynağı olarak doğalgaz kullanımını uzun yıllardır yapılan çalışmalar ile kendine yer bulmuş ve kabul edilir seviyededir[5].

**Çizelge 1.1 : 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı**

<b>KAYNAK</b>	<b>ÜRETİM (GWh)</b>	<b>KATKISI (%)</b>
<b>İthal Kömür</b>	60.394,7	19,87
<b>Taşkömürü + Asfaltit</b>	5.627,2	1,85
<b>Linyit</b>	46.872,2	15,42
<b>Doğal Gaz</b>	57.288,2	18,85
<b>Sıvı Yakıtlar</b>	336,0	0,11
<b>Barajlı</b>	65.926,2	21,69
<b>D.Göl ve Akarsu</b>	22.896,6	7,53
<b>Rüzgar</b>	21.730,7	7,15
<b>Yenilenebilir Atık+Atık Isı</b>	4.624,2	1,52
<b>Jeotermal</b>	8.951,7	2,95
<b>Güneş</b>	9.249,8	3,04
<b>TOPLAM</b>	<b>303.897,6</b>	<b>100,00</b>

**Kaynak:** TEİAŞ – Türkiye Elektrik Üretim - İletim 2019 Yılı İstatistikleri

2017-2023 yılları arasında hayata geçirilen “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı” ile 10.9 milyar dolar yatırım yapılması hedeflenmektedir, yapılacak olan yatırımlar ile 30.2 milyar dolar tasarruf edilmesinin yanı sıra CO<sub>2</sub> salınımı 66.6 milyon ton azaltılacaktır.

#### **1.4 Bina ve Hizmet Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma**

Mevcut ve yeni projelendirilecek olan toplu konutlar ile büyük ölçekli yerleşim birimlerinde, bölgesel ve merkezi sistemli ısıtma sistemlerine geçiş yapılarak hem enerji tasarrufu sağlanması hem de yenilenebilir enerjinin ısıtma/soğutma kullanım oranının artırılması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalar ile beraber kojenerasyon sistemlerinin binalar için kullanımının artırılması, gerekli yasal prosedürlerin yürürlüğe alınması ve karbon salımı daha düşük çevre dostu olarak ifade edilen binaların teşvik edilmesi de amaçlanmaktadır[6].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sorumluluğunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maliye Bakanlığı, EPDK kuruluşları ile yapılacak olan çalışmalarla yürütülmesi planlanan faaliyetler:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımı için olası engeller azaltılarak idari süreçler daha pratik hale getirilecektir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirli büyüklükte olan yeni binalarda kullanılmasına yönelik ekonomik uygulanabilirlik çalışmaları doğrultusunda asgari limitler tanımlanacaktır.
- Dolaylı veya doğrudan destek modelleri tanımlanarak mevcut binaların kojenerasyon sistemleri, ısı pompası ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının yaygınlaşması planlanacaktır.
- Kojenerasyon sistemlerinin işletiminde verimin sağlanması amacıyla kontrol araçları geliştirilecektir.
- Sonraki yıllarda destek verilecek miktarların optimize edilmesi için ilgili yıl verilen desteklerin etkilerinin yıllık bazda izlenecektir.
- Tüm ilgili maddelerin operasyonlarının takibi kojenerasyonun ve yenilenebilir enerjinin faydalarına yönelik farkındalığı artırma programları ile desteklenecektir.

### **1.5 Sanayi ve Teknoloji Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma**

Isıl enerji ihtiyacı 20 MW'ın üzerinde olan yeni kurulması planlanan ya da büyük çaplı bakım ve yenileme geçirecek olan endüstriyel işletmelerde kojenerasyon sistemleri uygulanmasına yönelik fizibilite yapmak zorunlu hale getirilerek, kojenerasyon sistemlerinin uygulanmasının teşvik edilmesi ve böylece yerinde üretim sistemlerinin kullanılmasıyla iletim ve dağıtımdan kaynaklanan kayıpların asgari düzeye çekilmesi amaçlanmaktadır[6].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sorumluluğunda Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, EPDK, Sektör Sivil Toplum Kuruluşları ile yapılacak olan çalışmalarla yürütülmesi planlanan faaliyetler:

- Isıl enerji ihtiyacı 20 MW'ın üzerinde olan yeni kurulması planlanan ya da büyük çaplı bakım ve yenileme geçirecek olan endüstriyel işletmelerde kojenerasyon sistemleri uygulanmasına yönelik fizibilite yapmak zorunlu hale getirilmesi için mevzuat düzenlemesi gerçekleştirilecektir.
- Uygulamaların özendirilerek kullanım sıklığının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılacaktır.

## **1.6 Enerji Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma**

Yüksek verimliliğe sahip kojenerasyon, trijenerasyon ve bölgesel ısıtma-soğutma sistemleri için potansiyelin belirlenerek ilgili potansiyelin uygulanabilmesine ilişkin ulusal düzeyde bir analiz/fizibilite çalışması yapılması amaçlanmaktadır[6].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sorumluluğunda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Belediyeler, Toplu Konut İdaresi Başkanlığı ile yapılacak olan çalışmalarla yürütülmesi planlanan faaliyetler:

- Ülkemizde mevcut durumda kullanılan bölgesel ısıtma-soğutma sistemlerinin altyapısı ortaya konulacaktır.
- Isıtma ve soğutma talebinin gelecekteki 10 yıl için öngörülmesi bölgesel planlamalar dikkate alınarak yapılacaktır.
- Kojenerasyon sistemler ve trijenerasyon sistemlerinin endüstriyel yapılarda uygulanması için fizibilite yapılması amacıyla mevzuat üzerinde çalışılacaktır.
- Sanayi kuruluşları ve elektrik üretim tesislerinde atık ısı potansiyeli belirlenecektir. Bu kaynakların kademeli olarak değerlendirilmesi yoluyla ekonomiye kazandırılmasına yönelik planlar güncel hale getirilecektir.
- Yenilenebilir kaynak esaslı kojenerasyon potansiyeli araştırılacaktır.

Isı satışı planlaması, ısı giderlerinin paylaşılması için gereken altyapı oluşturulacaktır. Isı ölçümünün ve satışının standartlarına yönelik düzenlemeler yapılacaktır. Isı satışına imkan sağlayacak ısı piyasası oluşturulması ve teşviği için mevzuat çalışması yapılacaktır. Kojenerasyon, trijenerasyon, ısıtma ve soğutma tedariği kaynakları için yararlılık-maliyet analizleri yapılarak sonuçlarda elde edilen en faydalı örnek uygulamalar paylaşılacaktır.

## **1.7 Tarım Sektöründe Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma**

Tarımsal üretimin desteklenmesi, ürünlerin hazır hale getirilmesi, kurutulma işlemleri, depolanma, soğutulma işlemleri ve sevkiyatı aşamalarında yapılacak olan fizibilitenin sonuçları dikkate alınarak enerji verimliliği kaynaklı projelere destek sağlanması amaçlanmaktadır[6].

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı sorumluluğunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu ile yapılacak olan çalışmalarla yürütülmesi planlanan faaliyetler:

- Verimlilik yükseltici proje destek sistemi enerji verimliliği için tanımlanacaktır.
- Seralarda, hayvansal üretim tesislerinde ve ürün depolama alanlarında; ısı kayıplarının önüne geçilmesi, atık ısının geri kazanımı, enerji verimliliği olan ısıtma-soğutma-havalandırma uygulamalarıyla enerji tüketiminin azaltılması kojenerasyon veya trijenerasyon uygulamalarıyla maliyet ve teknik olarak uygun bulunduğu durumlarda desteklenecektir.

Ülkemizde 2019 yılında 38 farklı projede kullanılmak üzere lisanslı ve lisanssız kombine elektrik üretim tesisleri devreye alınarak elektrik üretimine başlanmıştır. Hastane, fabrika vb. çeşitli alanlarda faaliyete alınan kojenerasyon ve trijenerasyon santrallerinin toplam kurulu gücü 119,9 MW olmuştur.

### **1.8 Dünya’da Güncel Enerji Durumu ve Kojenerasyon Kullanımı Potansiyeli**

Kojenerasyon sistemlerinin özellikle bölgesel ısıtma amaçlı kullanımları 20. yüzyılın ilk çeyreğinde Almanya, Danimarka, İsveç, Fransa, Hollanda, Avusturya, Norveç, İsviçre, Belçika, İngiltere, Rusya ve Polonya gibi birçok Avrupa ülkesinde kullanımdadır. Bölgesel ısıtma da en büyüklerden birisi olan Moskova bölgesel ısıtma sisteminin, boru şebekesinin uzunluğu 600 km'yi aşmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde ikinci Dünya Savaşı sonrasında Avrupa'da bölgesel ısıtma sistemlerine yeniden yapılanma aşamasında büyük önem verilmiştir[1].

BP firmasının dünya çapında 2019 yılı toplam enerji üretim raporunda en fazla nüfusa sahip ülkeler olan Hindistan ve Çin'in Amerika ve Asya kıtalarında yer alan tüm ülkelerin toplam elektrik üretiminden daha fazla sarfiyata sahip oldukları görülmektedir. Çizelge 1.2 ile kıtalar ve ülkelere göre enerji ihtiyaçları listelenmiştir[5].

**Çizelge 1.2 : 2020 Yılı Dünya Enerjisinin İstatistiksel Görünümü**

Terawatt-hours	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Growth rate per annum		Share 2019
												2019	2008-18	
Canada	613.9	607.0	638.3	636.5	655.7	647.6	659.3	663.0	664.5	652.3	<b>660.4</b>	1.2%	0.3%	2.4%
Mexico	267.8	275.6	292.1	296.4	297.1	303.3	310.3	320.3	329.1	349.3	<b>364.0</b>	4.2%	2.6%	1.3%
US	4206.5	4394.3	4363.4	4310.6	4330.3	4363.3	4348.7	4347.9	4302.5	4457.4	<b>4401.3</b>	-1.3%	0.2%	16.3%
<b>Total North America</b>	<b>5088.2</b>	<b>5276.8</b>	<b>5293.8</b>	<b>5243.5</b>	<b>5283.1</b>	<b>5314.2</b>	<b>5318.4</b>	<b>5331.2</b>	<b>5296.1</b>	<b>5459.0</b>	<b>5425.7</b>	<b>-0.6%</b>	<b>0.3%</b>	<b>20.1%</b>
Argentina	122.3	126.0	129.5	136.0	139.4	138.6	145.4	147.2	145.6	146.8	<b>139.9</b>	-4.7%	1.9%	0.5%
Brazil	466.2	515.8	531.8	552.5	570.8	590.5	581.2	578.9	589.3	601.4	<b>625.6</b>	4.0%	2.7%	2.3%
Chile	59.7	61.3	65.2	69.7	73.0	71.6	74.5	77.7	78.6	82.3	<b>83.9</b>	1.9%	3.3%	0.3%
Colombia	63.2	64.7	66.2	67.7	69.8	72.7	75.0	74.4	75.1	78.3	<b>75.2</b>	-3.9%	2.5%	0.3%
Ecuador	18.3	19.5	20.5	22.8	23.3	24.3	26.0	27.3	28.0	29.7	<b>32.9</b>	10.7%	4.8%	0.1%
Peru	32.9	35.9	38.8	41.0	43.3	45.5	48.3	51.7	52.7	54.9	<b>57.3</b>	4.4%	5.4%	0.2%
Trinidad & Tobago	7.8	8.5	8.8	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.0	10.6	<b>11.1</b>	5.1%	3.2%	*
Venezuela	124.8	116.7	122.9	127.9	130.0	128.3	123.8	113.8	109.4	105.1	<b>84.9</b>	-19.3%	-1.3%	0.3%
Other S. & Cent. America	187.7	192.0	197.4	204.6	208.5	205.9	212.4	224.8	218.2	222.0	<b>218.6</b>	-1.5%	1.7%	0.8%
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>1082.9</b>	<b>1140.4</b>	<b>1181.1</b>	<b>1231.4</b>	<b>1267.7</b>	<b>1287.5</b>	<b>1296.9</b>	<b>1306.6</b>	<b>1308.0</b>	<b>1331.0</b>	<b>1329.3</b>	<b>-0.1%</b>	<b>2.2%</b>	<b>4.9%</b>
Austria	69.1	71.1	65.9	72.4	68.0	65.1	64.9	67.9	70.7	68.0	<b>73.4</b>	8.0%	0.2%	0.3%
Belgium	91.2	95.2	90.2	82.9	83.5	72.6	69.8	85.7	86.6	74.9	<b>93.6</b>	24.9%	-1.2%	0.3%
Czech Republic	82.3	85.9	87.6	87.6	87.1	86.0	83.9	83.3	87.0	88.0	<b>87.0</b>	-1.2%	0.5%	0.3%
Finland	72.5	81.1	73.7	70.5	71.4	68.2	68.8	68.8	67.1	70.2	<b>68.7</b>	-2.1%	-1.0%	0.3%
France	535.9	569.3	565.0	564.5	573.8	564.2	570.3	556.2	554.1	574.2	<b>555.4</b>	-2.3%	*	2.1%
Germany	595.6	633.1	613.1	630.1	638.7	627.8	648.1	650.7	653.7	643.5	<b>612.4</b>	-4.8%	*	2.3%
Greece	61.4	57.4	59.4	61.0	57.2	50.5	51.9	54.4	55.3	53.3	<b>50.2</b>	-5.8%	-1.8%	0.2%
Hungary	35.9	37.4	36.0	34.6	30.3	29.4	30.4	31.9	32.9	32.0	<b>33.9</b>	6.0%	-2.2%	0.1%
Italy	292.6	302.1	302.6	299.3	289.8	279.8	283.0	289.8	295.8	289.7	<b>283.8</b>	-2.0%	-1.0%	1.1%
Netherlands	113.5	118.1	113.0	102.5	100.9	103.4	110.1	115.2	117.3	114.5	<b>121.0</b>	5.7%	0.6%	0.4%
Norway	131.8	123.6	127.6	147.7	134.0	142.0	144.5	149.0	149.4	147.1	<b>134.8</b>	-8.3%	0.3%	0.5%
Poland	151.7	157.7	163.5	162.1	164.6	159.1	164.9	166.6	170.5	170.0	<b>163.9</b>	-3.6%	0.9%	0.6%
Portugal	50.2	54.1	52.5	46.6	51.7	52.8	52.4	60.3	59.4	59.6	<b>53.7</b>	-10.0%	2.6%	0.2%
Romania	58.0	61.0	62.2	59.0	58.9	63.3	66.3	65.1	64.3	64.8	<b>59.5</b>	-8.2%	*	0.2%
Spain	296.3	300.4	291.8	297.6	285.3	278.8	281.0	274.6	275.6	274.5	<b>275.8</b>	0.5%	-1.3%	1.0%
Sweden	136.7	148.3	151.2	166.3	153.2	153.7	162.1	156.1	164.3	163.4	<b>169.8</b>	3.9%	0.9%	0.6%
Switzerland	68.3	68.0	64.8	70.0	70.4	72.0	67.9	63.3	63.3	69.4	<b>68.3</b>	-1.6%	0.1%	0.3%
Turkey	194.8	211.2	229.4	239.5	240.2	252.0	261.8	274.4	297.3	304.8	<b>308.5</b>	1.2%	4.4%	1.1%
Ukraine	173.6	188.8	194.9	198.9	194.4	182.8	163.7	164.6	156.0	159.9	<b>154.5</b>	-3.4%	-1.8%	0.6%
United Kingdom	376.8	382.1	368.0	363.9	358.3	338.1	338.9	339.2	338.2	332.9	<b>323.7</b>	-2.8%	-1.5%	1.2%
Other Europe	306.5	320.0	307.1	295.4	309.2	297.2	298.2	305.9	303.5	312.7	<b>301.5</b>	-3.6%	0.1%	1.1%
<b>Total Europe</b>	<b>3894.7</b>	<b>4065.8</b>	<b>4019.4</b>	<b>4052.4</b>	<b>4020.6</b>	<b>3938.5</b>	<b>3982.9</b>	<b>4023.1</b>	<b>4062.2</b>	<b>4067.2</b>	<b>3993.3</b>	<b>-1.8%</b>	<b>-0.1%</b>	<b>14.8%</b>
Azerbaijan	18.9	18.7	20.3	23.0	23.4	24.7	24.7	25.0	24.3	25.2	<b>26.3</b>	4.4%	1.5%	0.1%
Belarus	30.4	34.9	32.2	30.8	31.5	34.7	34.2	33.6	34.5	38.9	<b>40.4</b>	3.8%	1.1%	0.1%
Kazakhstan	78.7	82.6	86.6	90.6	92.6	94.6	91.6	94.6	103.1	107.3	<b>108.4</b>	1.0%	2.9%	0.4%
Russian Federation	993.1	1038.0	1054.9	1069.3	1059.1	1064.2	1067.5	1091.0	1091.2	1109.2	<b>1118.1</b>	0.8%	0.6%	4.1%
Turkmenistan	16.0	16.7	17.2	17.8	18.9	20.1	21.5	22.6	22.8	24.2	<b>25.7</b>	6.3%	4.9%	0.1%
Uzbekistan	50.1	51.9	52.8	53.0	54.9	55.4	57.3	59.1	60.8	62.9	<b>62.9</b>	*	2.3%	0.2%
Other CIS	39.1	41.1	44.6	46.0	43.3	44.1	44.0	43.5	46.3	48.6	<b>49.2</b>	1.1%	2.0%	0.2%
<b>Total CIS</b>	<b>1226.2</b>	<b>1284.0</b>	<b>1308.5</b>	<b>1330.4</b>	<b>1323.7</b>	<b>1337.9</b>	<b>1340.9</b>	<b>1369.3</b>	<b>1383.0</b>	<b>1416.3</b>	<b>1431.0</b>	<b>1.0%</b>	<b>1.0%</b>	<b>5.3%</b>

**Çizelge 1.2 : 2020 Yılı Dünya Enerjisinin İstatistiksel Görünümü (Devamı)**

Iran	221.8	235.7	235.6	248.8	258.9	273.5	279.5	280.1	305.2	314.4	<b>318.7</b>	1.4%	4.1%	1.2%
Iraq	41.3	41.7	42.2	47.8	62.1	71.2	75.3	86.3	93.6	99.9	<b>131.5</b>	31.6%	11.0%	0.5%
Israel	55.3	58.5	59.3	63.0	61.4	61.3	64.3	67.3	67.6	69.0	<b>71.8</b>	4.1%	2.1%	0.3%
Kuwait	53.2	57.1	57.5	62.7	61.0	65.1	68.3	70.1	72.9	74.2	<b>75.0</b>	1.1%	3.7%	0.3%
Oman	18.4	19.8	21.9	25.0	26.2	29.1	32.8	34.2	36.1	37.7	<b>37.4</b>	-0.7%	8.9%	0.1%
Qatar	24.2	28.1	30.7	34.8	34.7	38.7	41.5	42.3	45.6	47.9	<b>48.6</b>	1.4%	8.3%	0.2%
Saudi Arabia	217.3	240.1	250.1	271.7	284.1	311.8	338.5	345.6	355.2	359.2	<b>357.4</b>	-0.5%	5.8%	1.3%
United Arab Emirates	85.7	93.9	99.1	106.2	110.0	116.5	127.4	129.6	134.6	136.0	<b>138.1</b>	1.5%	5.4%	0.5%
Other Middle East	90.7	98.7	93.4	88.3	83.7	83.5	81.6	82.0	86.4	85.8	<b>86.1</b>	0.4%	-0.1%	0.3%
<b>Total Middle East</b>	<b>807.9</b>	<b>873.7</b>	<b>889.7</b>	<b>948.2</b>	<b>982.0</b>	<b>1050.9</b>	<b>1109.0</b>	<b>1143.6</b>	<b>1197.0</b>	<b>1224.1</b>	<b>1264.7</b>	<b>3.3%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.7%</b>
Algeria	43.1	45.7	53.1	57.4	59.9	64.2	68.8	71.0	76.0	76.7	<b>81.3</b>	6.0%	6.7%	0.3%
Egypt	134.3	144.4	149.6	162.8	165.1	171.2	181.8	188.2	193.2	199.4	<b>200.6</b>	0.6%	4.5%	0.7%
Morocco	21.7	23.7	25.4	27.7	28.1	29.3	30.3	30.7	31.6	34.4	<b>40.1</b>	16.6%	5.1%	0.1%
South Africa	249.6	259.6	262.5	257.9	256.1	254.8	250.1	252.7	255.1	256.3	<b>252.6</b>	-1.5%	-0.1%	0.9%
Other Africa	178.5	198.1	198.5	214.8	234.2	247.9	256.3	259.8	272.1	279.0	<b>295.6</b>	6.0%	5.0%	1.1%
<b>Total Africa</b>	<b>627.1</b>	<b>671.6</b>	<b>689.0</b>	<b>720.6</b>	<b>743.4</b>	<b>767.4</b>	<b>787.4</b>	<b>802.5</b>	<b>828.1</b>	<b>845.8</b>	<b>870.1</b>	<b>2.9%</b>	<b>3.2%</b>	<b>3.2%</b>
Australia	249.9	251.0	256.3	250.7	249.6	247.6	255.2	258.5	259.1	263.1	<b>265.1</b>	0.8%	0.7%	1.0%
Bangladesh	37.2	40.8	44.2	48.7	54.4	57.4	61.8	70.0	73.4	81.1	<b>89.7</b>	10.6%	9.0%	0.3%
China	3714.7	4207.2	4713.0	4987.6	5431.6	5794.5	5814.6	6133.2	6604.4	7166.1	<b>7503.4</b>	4.7%	7.4%	27.8%
China Hong Kong SAR	38.7	38.4	39.1	38.8	39.2	39.9	38.0	38.3	37.0	36.6	<b>36.9</b>	0.9%	-0.4%	0.1%
India	879.7	937.5	1034.0	1091.8	1146.1	1262.2	1317.3	1401.7	1473.8	1551.4	<b>1558.7</b>	0.5%	6.5%	5.8%
Indonesia	156.8	169.8	183.4	200.3	216.2	228.6	234.0	247.9	254.6	267.1	<b>279.1</b>	4.5%	6.0%	1.0%
Japan	1114.0	1156.0	1104.2	1106.9	1087.8	1062.7	1030.1	1030.3	1042.6	1056.2	<b>1036.3</b>	-1.9%	-1.1%	3.8%
Malaysia	116.1	125.0	127.1	134.1	141.0	147.5	150.1	156.7	160.6	167.3	<b>171.0</b>	2.2%	3.9%	0.6%
New Zealand	43.4	44.9	44.4	44.2	43.3	43.5	44.2	43.7	44.2	44.2	<b>44.6</b>	0.8%	0.1%	0.2%
Pakistan	98.8	99.4	100.6	99.5	101.8	106.2	106.7	120.0	122.5	136.0	<b>136.3</b>	0.2%	3.9%	0.5%
Philippines	61.9	67.7	69.2	72.9	75.3	77.3	82.4	90.8	94.4	99.8	<b>105.8</b>	6.1%	5.1%	0.4%

Ülkemiz nüfus yoğunluğuna kıyasla Avrupa ülkeleri sıralamasında üst sıralarda yer alabilmek için dışa bağımlılığından tamamen kurtulmalı ve yerinde enerji üretim sistemlerine teşvik ve yatırımlar hususunda çalışmalar desteklenmeye devam edilmelidir. Özellikle 2019 itibariyle pandemi nedeni ile hastane, otel ve bireysel konutların işyerlerine kıyasla daha çok kullanılmak zorunda olduğu dönemde konut, hastane vb. tesislerin yerinde enerji üretimlerinin hayati önem arz edeceği gözlemlenmiştir. Dünya çapında yapılan kentsel dönüşüm çalışmalarında ülkemizde de bölgesel konut, site, şehir hastaneleri ve otellerin enerji ihtiyacının karşılanması anlamında üretim,iletim,dağıtım hattının müsaade edilebilir miktarlarda yerinde elde edilmesi kojenerasyon sistemlerin tercih edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Dünyanın içinde bulunduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarına karşı uluslararası ortak bir tutum oluşturmak amacı ile Kyoto Protokolü 1997 yılında imzalanmıştır. Protokolü imzalayan ülkelerin güncel sera gazı emisyonlarının 1990 yılında ki emisyonlarını referans alarak 2008-2012 yılları arasında %5 ve üzerinde düşürmeleri gerekmektedir. İklim değişikliği çerçeve sözleşmesi için ülkemizin referans senaryo yardımı ile hesaplanan 2020 yılı karbondioksit eşdeğer salınımı 605 milyon tona ulaşacaktır. Turizm sektörü ele alındığında ise enerji sektörüne ilave olarak önemli miktarda enerjinin ve doğal kaynakların taşımacılık şirketleri, seyahat acenteleri, tarım, gıda, restoran gibi kuruluşlarda faydalandığı görülmektedir[7].

### **1.9 Kojenerasyon Sistemlerinin Üstünlükleri ve Tercih Sebepleri**

Kojenerasyon sistemlerinin tercih edilmesinin en önemli sebebi elektriğin yerinde üretilmesi ve ani voltaj düşüşlerinin yaşanmamasıdır. Kojenerasyon sistemine sahip olan tesisler kendi enerjilerini üretebildikleri için dışa bağımlılıkları yalnızca periyodik bakım onarım zamanlarında gerekli olmaktadır. Enerji nakil hattından doğabilecek frekans ve voltaj farklılıkları ile karşılaşılmamaktadır. Ülkenin artan elektrik talebinin karşılanması için devletin devletin kurmak zorunda olacağı ilave tesisleri finanse etmesindeki zorlukları da minimize etmektedir. Mühendislik teknolojisinde özellikle otomotiv alanında hibrit ve tamamen elektrikli araçlara olan geçiş nedeni gelecek yıllarda benzin istasyonları yoğunluğu yerini elektrikli şarj istasyonlarına bırakacaktır.

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin tercih edilmesinin diğerk başlıca sebepleri sıralanacak olursa:

- Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin çalışma esasına göre atık egzoz gazından faydalandığı için enerji geri kazanımı ve CO<sub>2</sub> emisyonu göze alındığında hem ekonomik hem de çevreci yatırımlardır.
- Şebeke kullanımında ödenmesi gerekli olan; elektrik devrelerinde, akımla gerilimin aynı fazda olmaması sebebiyle kaybedilen enerji miktarı (reaktif enerji) ceza bedeline ve reaktif güç kompanzasyonuna gerek kalmamaktadır.
- Sera gazı salınımının azaltılması ve enerji tasarrufu sağlanmasının yanı sıra, kojenerasyon tesislerinde enerjinin tüketildiği bölgede üretilmesi enerji arzının güvenliğinin arttırılması ve kayıp-kaçak miktarlarının düşürülmesinde ülkemiz için ulusal açıdan öneme sahiptir.
- Sistemde yer alan transfer panosu noktası üzerinden gerekli durumlarda şebekeden elektrik alışı mümkün olduğundan, herhangi bir arıza veya bakım durumunda, elektrik kesintisi görülmemektedir.
- Özellikle sıcak iklime sahip Akdeniz ve Ege bölgelerinde trijenerasyon uygulaması, yalnızca kojenerasyon uygulamasına kıyasla daha avantajlıdır. Soğutma amacı ile atık ısıdan yararlanılmaması durumunda sistem toplam verimi yaz aylarında düşerek, yalnızca elektrik üretimi ön plana çıkacaktır.
- Kojenerasyon sistemlerinin yakıt türleri genel olarak incelendiğinde biyogaz, doğalgaz, fuel-oil ve biyo- yakıt ile çalışabilme imkanlarına sahiptir.
- Elektrik üretiminin dönemsel ya da saatlik olarak tüketimi karşılamadığı durumlarda şebekeden elektrik temin edilerek tesisin ihtiyacı olan toplam enerji miktarı karşılanabilmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

“Türkiye’de Gaz Motorlu Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sanralleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi” başlıklı çalışmada Türkiye’nin enerji piyasasında gün geçtikçe güçlenmekte olan kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin mevzuatları, ülkemizde ki güncel gaz motorlu kojenerasyon sistemlerin durumları ele alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda konvensiyonel sistemlere kıyasla içten yanmalı gaz motorlarının kullanılmasının hızlı senkronizasyon kabiliyetine sahip olduğu, kısmi yük altında çalışma esnekliğinin ve yük takip kabiliyetinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ülkemizdeki güncel mevzuatların incelenmesi sonucunda ise elektrik satışı yapılmasının zorunluluğu kalkmış olduğundan yerinde üretilip, üretildiği kadar harcanması prensibi ile lisanssız elektrik üretiminin işletmelerde kurulmasına olanak tanındığı vurgulanmıştır[8].

“Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi” başlıklı çalışmada mevcut konvensiyonel yöntemle güç üreten bir tesisin bölgesel ısıtma amacı ile kojenerasyon sistemine dönüştürülmesi durumu tasarlanarak, bu durumun ekonomik ve termodinamik olası sonuçları incelenmiştir. Çalışma sonucunda çevresel faktörler, enerji üretimi ve tüketimi, ekonomiklik gibi konularda analiz yapılmıştır. Tesisin kojenerasyon sistemine dönüştürülmesi durumunda yaklaşık 540.000 nüfuslu bir yerleşim alanının ısıtılması mümkün olmakta ve bir yıl içerisinde yatırım maliyetlerinin geri kazanılacağı sonucuna varılmıştır[9].

“Dizel Motorlu Kojenerasyon Sistemlerinin Emisyon Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, bir dizel motorlu kojenerasyon sistemi için emisyon özellikleri ve ekserji analizi ele alınmış; çevresel faktörler ve ekserji konuları kapsamında incelenmiştir. Egzoz emisyonunun çalışma kapsamında değerlendirilmesi; yakıt sarfiyatının azaltılması analiz metodu ve ekserji verimliliği temel alınarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda işletilmekte olan bir tesiste aktif olan kojenerasyon sisteme ait egzoz emisyon özelliklerinin incelenmesi yapılarak, işletmede kullanılan egzoz gazını arıtma amacı ile çalışan azot oksit (DeNOx) ve kükürt oksit (DeSOx) arıtma ünitelerine ait çalışma şartları anlatılmıştır.

Sonuçlarda, dizel yakıtlı kojenerasyon uygulaması kullanımının konvansiyonel güç ve buhar üretilen sistemlere kıyasla, kullanılan yakıt ve istenmeyen emisyon miktarlarında önemli azaltmalar sağladığı ve oldukça avantajlı olduğunu göstermiştir[10].

“Kojenerasyon Tesislerinin Termoekonomik Optimizasyonu” başlıklı çalışmada farklı bir yaklaşım ile kojenerasyon sistemine ait maksimum II. kanun veriminin ya da minimum güç üretebilme maliyetinin sağlandığı çalışma şartları aranmıştır. Çalışma kapsamında çevrimlerin farklılık gösteren yakıt-hava miktarları ve kompresörlerin sıkıştırma oranlarına göre termoekonomik analizi yapılarak oluşturulan performans eğrileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada ele alınan dört adet çevrimin termoekonomik optimizasyon analizi sınırlandırılmış buhar debisi ve güç (30 MW ve 14 kg/s buhar) için, belirli miktar güç (30 MW) için ve güç-debi miktarında sınırlama yapılmadan, satın alma durumu için sistem maliyetinin maliyet denklemlerine, maliyet gücüne göre olacak şekilde farklılık gösteren altı duruma göre hesaplanmış ve kıyaslama yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan analizler ile hava yakıt ısıtmalı kojenerasyon çevriminin en yüksek verimi düşük maliyetle sağladığı vurgulanmıştır[11].

“Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği” konulu çalışmada konvansiyonel sistemlere kıyasla yerinde enerji ve ısı üretiminin yaygınlaşması için sistem seçiminde uygulama aşamasında planlanan doğru verilere göre analiz yapılması gerekliliği açıklanmıştır. Isıtma ihtiyacının olabirliğine ekonomik, iklimsel ve termodinamik faktörler göz önüne alınarak karar verilmesi gerektiği görülmektedir. Seçim yaparken dikkat edilecek diğer bir husus kojenerasyon sisteminin kullanım oranıdır. İşletmede elektrik ve ısının ayrı olarak yapılan tüketimleri bu tüketimlere yapılan harcamalar sistemin dönüştürülmesi durumunda yapılacak ilave işler, bakım giderleri vb. masraflarında göz önünde bulundurularak ekonomik uygulanabilirliğinin fizibilite hesap metodları ile doğru şekilde tayin edilmesi ülkemizde olabilecek enerji krizi için işletmelerde doğru kapasitede doğru geri kazanım sürelerinde kojenerasyon sistemleri kurulmasında etki oluşturacaktır[12].

“Konut Yapılar İçin Mikro Buharlı CCHP Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi” çalışmasında binaların enerji gereksinimlerini sağlamak için mikro buhar türbininde çalışan birleşik güç ısıtma ve soğutma sistem tanıtılmıştır.

Yapılan analizde 4000 m<sup>2</sup> alana sahip konut tipi yapılarda soğutma yükü, ısıtma yükü ve kullanım sıcak suyu üzerinde çalışma hazırlanmıştır.

Çalışmada en büyük ekserji yıkımının yaz ve kış aylarının her ikisinde de buhar jeneratöründe olduğu görülmektedir. Yaz aylarında CCHP sistem daima enerji tasarrufu sağlamaktadır. En düşük yakıt enerjisi tasarrufu oranına soğutma yükü 100 kW altında olduğunda ulaşılmaktadır. Kış aylarında ise öğleden sonra 13:00-17:00 saatleri arasında gerekli ısıtma yükü 150 kW altında olduğunda CCHP sistem ayrı olarak enerji elde edilen sistemlere göre daha fazla enerji harcar. Yakıt enerji tasarruf oranı yazın %69'dan fazla, kışın ise %25'e ulaşmaktadır. Optimizasyon sonuçlarına göre yaz ve kış sezonları için genel verimlilik değeri %22,82 ve %62,15 arasındadır. Sonuçta bu değerlere karşılık gelen yakıt enerji tasarruf oranı sırasıyla %68,21 ve %26,64 olarak hesaplanmıştır[13].

“Kojenerasyon Sistemleri ve Uygulamalı Ekonomik Analizi: Hastane Örneği” çalışmasında 22.000 m<sup>2</sup> alana sahip özel bir hastane pilot tesis olarak seçilmiş, hastane binasının çalışma koşulları, genel enerji tüketimi toplamı ve kojenerasyon sistem seçiminde seçim kriterini oluşturan elektrik/ısı oranı analizi yapılmıştır. Elektrik tüketim değerinin yıllık toplamının ısıtma ihtiyacından fazla olması nedeni ile motor tipi tahrik ünitesine sahip kojenerasyon sistemi seçiminin uygun olacağı vurgulanmıştır. Hastane çalışma şartlarına ve tüketim değerlerine göre üç farklı durum ele alınarak 600 kW, 800 kW, 1200 kW kapasiteler için hem enerji değerlerinin karşılanması durumu hem de ilk yatırım maliyetleri ve geri ödeme sürelerinin en uygun değerleri hesaplanmıştır. 24 saat çalışmakta olan sağlık tesisleri için kojenerasyon uygulaması kullanımının ekonomik olarak faydalı olduğu sonucuna varılmıştır ve geri ödeme süresinin 2,1 yıl civarında olacağı hesaplanmıştır[14].

“Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi” başlıklı çalışma kojenerasyon sistem seçiminde çok önemli bir kriter olan yakıt seçimi üzerine yapılmıştır. 1991-2003 yıllarında piyasa koşullarında yer alan yakıt fiyatları analiz edilerek 2003-2023 yılları için farklı dönemlere göre yakıt fiyatları tahmininde bulunulmuştur. 2007 yılından itibaren doğalgaz, linyit, ithal kömür, fuel-oil, motorin ve LPG sıralamasının sabit kalarak en uygun yakıtın doğalgaz olduğu ve bu sıralamada yer alan yakıtlar arasındaki farkın yıllar geçtikçe artış göstereceği sonucuna varılmıştır.

LPG ve motorine ait birim fiyatların yüksek olması nedeni ile kojenerasyon sistemlerde kullanılmayacağı görülmüştür. Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik hesaplamalarının analizinde seçilen yakıt fiyatının değişimi hesaplamayı zorlaştırmaktadır.

İlave olarak sadece yakıt-elektrik üretimi döngüsü ile konvansiyonel sistemlerin gerisinde kaldığı mutlaka açığa çıkacak ısı enerjisinden de faydalanılarak kojenerasyon sistemlerin kullanılabilirliğinin bu şekilde sağlanacağı sonucuna varılmıştır[15].



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Buhar Türbinleri

Çalışma sıcaklığı ve basıncı oldukça yüksek olan, sistemde su buharının kullanıldığı, çalışma prensibi olarak dönme hareketiyle mekanik enerjiye dönüşümün akış işi ile sağlandığı sistemlerdir. Buhar türbinleri enerji santrallerinde ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fosil yakıtlar olarak bilinen nükleer, doğalgaz ve kömür gibi yakıtların yakılması ile sisteme alınan su yüksek derece sıcaklıklarda ısıtılarak buhar haline dönüştürülmektedir. Sistemde kızgın buharın elde edilmesi sonrasında izoleli boru sistemlerinden türbinin kanatlarının olduğu kısma girer. Hareket ettirme verimliliği oldukça yüksek olan basınçlı buhar türbin kanatlarını döndürerek mekanik enerji elde edilir. Türbinden elde edilen mekanik enerji çoğunlukla, türbine bir dişli kutusu vasıtasıyla bağlanmış olan generatör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilerek kullanılmaktadır. Termodinamik olarak incelendiğinde Rankine çevrimiyle çalışan bu makineler megawattlar düzeyinde yüksek enerji üretebilmektedirler.

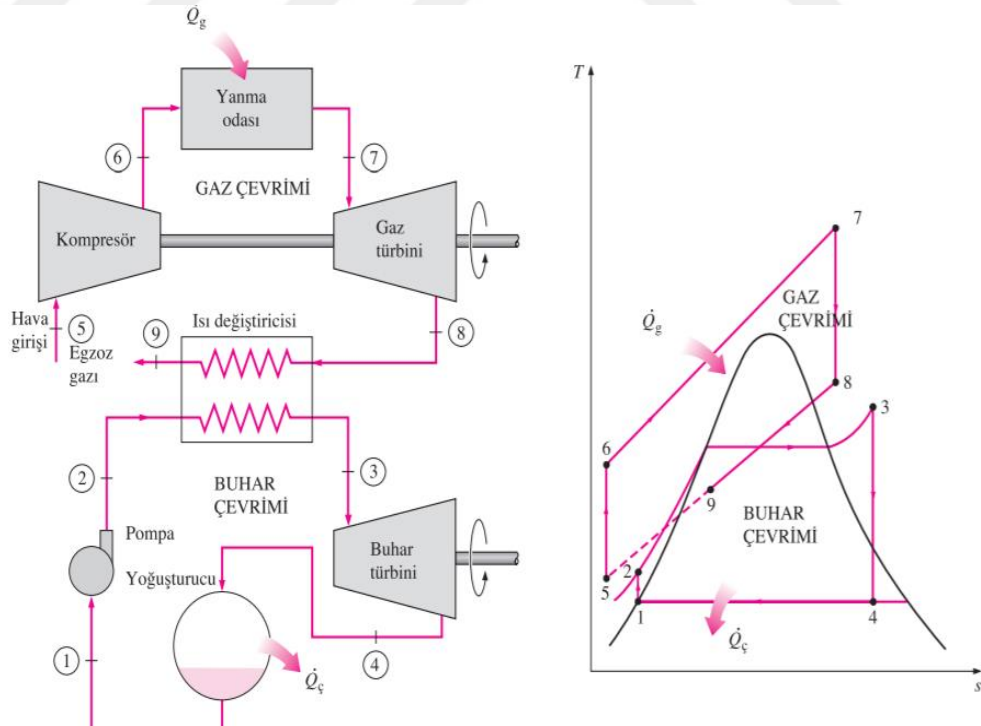
Buhar ve gaz türbinlerinin temel farkları ise şöyledir:

- Buhar türbinlerinin kullanıldığı kojenerasyon sistemlerde kanatların döndürülmesi için su buharı kullanılmaktayken gaz türbinlerinli kojenerasyon sistemlerde genleşmiş sıcak hava kullanılmaktadır.
- Buhar türbinlerinin dakikadaki devir sayısı genellikle 3000 d/d (rpm) düzeyindeyken gaz türbinlerinin devir sayısı daha fazla olup 8000- 9000 d/d'dir.
- Buhar türbinleri yaygın olarak kömür ve nükleer yakıtlı santrallerde kullanılırken gaz türbinlerinin kullanım alanlarına sıklıkla doğalgaz yakıtlı enerji santrallerinde rastlanmaktadır[16].

### 3.2 Gaz Türbinleri

Gaz türbininin görevi yakıt enerjisini mekanik enerjiye çevirmektir. Kojenerasyon sisteminin ana elemanı olan gaz türbininde 3 temel donanım yer almaktadır; kompresör, yanma odası ve türbin. Şekil 3.1’de yer alan çevrimde kompresör vasıtası ile ortamdan çekilen hava emilerek 6-12 bar’lık basınçla sıkıştırılırken aynı zamanda sıcaklığının yükselmesi sağlanır. Kompresör vasıtası ile sıkıştırılan sıcak hava yanma odasına geçerek nozullardan püskürtülen yakıt ile karışır ve yanma işleminin gerçekleşmesi sağlanır. Egzoz çıkış sıcaklıkları gaz türbinli sistemlerde 400-500 °C aralığındadır. Açığa çıkan gazlar türbinde atmosfer basıncına genişler.

Havayı sıkıştırarak yanma odasına sevk edilen yakıt-hava karışımının yanması sonucu açığa çıkan kinetik enerjinin bir kısmı ile kompresör çalıştırılırken geri kalanı ile mekanik mil çevrilir. Mil jeneratörü tahrik eder ve içten yanmalı makinenin elektrik üretimi gerçekleşir. Yüksek sıcaklığa sahip olan egzoz gazlarının atık ısı kazanında değerlendirilmesi ile elektrik elde edilmesinin yanı sıra yüksek verimlilikte ısı enerjisi elde edilebilmektedir. Gaz türbini çevriminin sürekli olması sayesinde çıkış mili üzerinden sabit bir tork alınması işlemi gerçekleştirilir [16-17].



Şekil 3.1 : Gaz Türbinli Kombine Çevrim Şeması ve T-s Diyagramı

Kaynak: Çengel, Y. ve A.Boles, M., 1996: Thermodynamics: An engineering approach s.l. : Mc Graw Hill

### 3.3 Gaz Motorları

Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri gaz türbinli sistemlere göre daha az sıcaklıkta ve kütlede atık ısı sağlamaları nedeni ile özellikle elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacına kıyasla daha fazla olduğu uygulamalarda enerji ve ekonomiklik göz önüne alındığında optimum çözüm olarak göze çarpmaktadır.

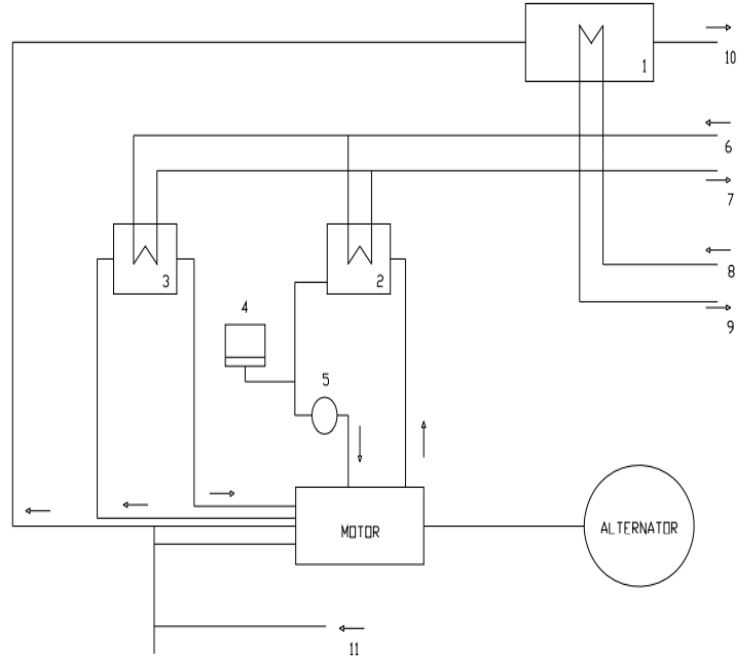
Gaz motorlarında kazanılan atık ısının yaklaşık 1/3 oranı egzoz gazından kazanılırken, 2/3'ü de motorun soğutma sistemlerinden geri kazanılmaktadır. Tek modülde 100kW dan 3MW seviyelerine kadar çalışan motorlar mevcut olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santraller 10 MW seviyelerine ulaşabilmektedir[18].

Pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıt enerjisinin;

- %35-40'lık bir kısmının mekanik güce,
- %30-35'lik bir kısmının motor gömlek ısısına,
- %25-30'luk bir kısmının egzoz ısısına
- %7-10'luk bir kısmın da kayıp enerjiye radyasyon enerjisi şeklinde dönüşümü gerçekleşmektedir.

İçten yanmalı motorların kullanımları genellikle düşük ve orta güçte kojenerasyon sistemleri için uygun olmaktadır. 50 kW - 10 MW arasında olan kojenerasyon sistemler doğalgaz yakıt kullanan, 50kW - 50MW arası kojenerasyon sistemler dizel yakıt kullanan ve 2.5MW - 50MW arası kojenerasyon sistemler ağır yakıt kullanılan sistemler olarak ayrılırlar[10].

Atık ısı elde edilmesi gaz motorlarında gaz motorunun yağlama devresi, yanma sonucu oluşan egzoz gazları ve şarj havası ve silindir bloğu soğutma suyu devresi aracılığı ile sağlanmaktadır. Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin prensip şeması ve detayları Şekil 3.2 de görülmektedir.



**Şekil 3.2 : Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Prensi Şeması**

**Kaynak:** Coelho, M., Nash, F., Linsell, D., Barciela, J.P., Journal of Power and Energy, 217, 493–503, 2002.

1. Egzoz gazı eşanjörü
2. Silindir bloğu soğutma suyu devresi plaka tipi eşanjörü
3. Yağlama devresi soğutması ısı değiştiricisi
4. Genleşme tankı
5. Soğutma suyu pompası
6. Isıtma suyu girişi
7. Isıtma suyu çıkışı
8. Kızgın su veya buhar girişi
9. Kızgın su veya buhar çıkışı
10. Egzoz gazı çıkışı
11. Gaz girişi

Gaz motorlu kojenerasyon uygulamalarının önemli avantajları:

Hesaplanan elektrik tüketim ihtiyacının ısı tüketimine göre daha yüksek olduğu durumlarda, gaz motorlu kojenerasyonun %40'a varan elektrik çevrim verimi sayesinde seçilmesi uygun olan çözümdür. Gaz motorlarının bu özellikleri sayesinde elektrik ihtiyacı beraberinde, ısıtma ve soğutma amaçlı ısı enerjisine ihtiyacı olan hastaneler, oteller, alışveriş merkezleri, toplu konutlar, havaalanı, spor tesisleri, üniversitelerin kampüsleri gibi çok çeşitli uygulama alanlarında uygun çözüm sağlamaktadır.

Yapılan çalışma ve analizler sonucunda gaz türbinli ısı ve güç sistemlerinde elektrik çevrim veriminin artmasını neticesinde toplam çevrim veriminin önemli miktarda düştüğü görülmektedir. Gaz motorlarının kullanıldığı kojenerasyon sistemlerde ise toplam çevrim verimi kullanıcıların elektrik ve sıcak kullanım suyuna ihtiyaç duymaları nedeni ile toplamda %85-91 seviyelerine ulaşmaktadır.

Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin kısmi kapasitelerdeki yük verimlilikleri ve çok modüllü olarak dizayn edilebilmesi gaz motorlu sistemlerin en optimum CHP sistemi olarak öne çıkmasını sağlar. Günlük periyotlarda enerji sarfiyatının ve maliyetin düşük düzeyde gerçekleşmesine destek olmaktadır.

Gaz motorlu sistem seçiminde kapasitenin daha düşük olduğu tesisler göz önüne alındığında sistemin kısmi yükte çalışması gerektiğinde toplam verimin önemli miktarda etkilenmiyor olması ve çok modüllü uygulamada modüllerin ihtiyaç halinde sırası ile devreye girip çıkma imkanları, gaz motorlu sistemin elektrik ve ısı talebinde gün boyunca anlık talep değişikliklerini ve elektrik ısı oranı değişimlerinden etkilenmeden karşılmasına imkan vermektedir.

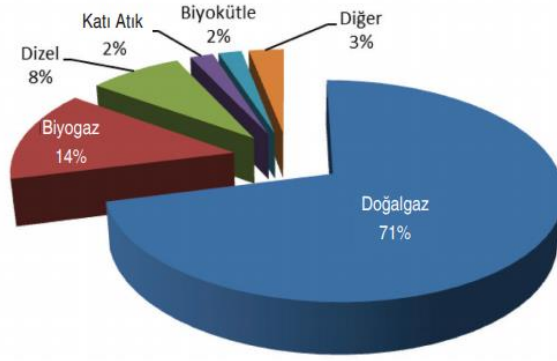
Gaz motorunun çalışma durumunda devreye alma ve devre dışı bırakma süreleri kullanıcılar için verimlilik sağlamanın yanı sıra önemli bir kolaylık sunar. Gaz motorlu kojenerasyon sistemin diğer sistemlerle kıyaslandığında daha az devre elemanına sahip olması ve tesis iç tüketimlerinin az olması sistemin kullanım ömrü boyunca yüksek bir verimle çalışmasını sağlamaktadır.

Gaz motorlarının yakıtları incelendiğinde, yakıt olarak doğal gaz bulunabilirlik ve ekonomiklik nedeni ile öne çıkmakla birlikte gaz motorlarında; çöplerin depolandığı alanlardan elde edilmekte olan çöplük gazları, arıtma tesislerinden elde edilen atık gazı, çöp depolama tesislerinden elde edilen çöplük gazı ve benzer şekilde biyogaz,

kok gazı ve muadili yakıtların da kullanım imkanı vardır. Doğal atıklardan elde edilen bu gaz türleri kojenerasyon sistemden elektrik ve ısı üretmek için herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın doğrudan kullanılabilir. Atık gazların doğrudan motorlarda yakılabilmesi neticesinde, öncelikle yakıp buhar üretmek, sonrasında bir buhar türbini çalıştırmak gibi ara işlemler gerekli olmayacaktır[19].

### 3.4 Mikro Kojenerasyon

Mikro kojenerasyon ya da mikro kombine güç ve ısı sistemleri , tek bir enerji kaynağı yardımı ile aynı anda elektriğin ve ısının üretildiği sistemler olarak tanımlanmaktadır. Mikro kojenerasyon sistemlerinde ısı kaynağı olarak genellikle gaz türbinli kojenerasyon sistemlerde olduğu gibi doğalgaz kaynağı kullanılır. Şekil 3.3'te mikro kombine ısı ve güç sistemlerinde kullanılmakta olan yakıtların dağılımı verilmiştir [20].



**Şekil 3.3 :** Mikro Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtların Dağılımları

**Kaynak:** Muccillo, M., Gimelli, A. 2014. Applied Thermal Engineering, vol. 71, no. 2, p. 760-770.

Kullanılan yakıtların dağılımları için verilen şekil incelendiğinde, %71'lik oran ile doğalgaz kaynağın en çok kullanılan enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Sistemin düşük güçlerde çalışması şehir içi yoğunluklu yerlerde doğalgazın iletim hatları sayesinde çok kolay temin edilmesi günümüzde en geçerli sebeplerden biridir. Yenilenebilir enerji kaynaklı biyogaz ise %14'lük kullanım ile önemli bir kullanım oranına sahiptir.

Mikro kojenerasyon sistemler teknoloji, uygulama ve tür gibi açılardan şekil 3.4'te görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.

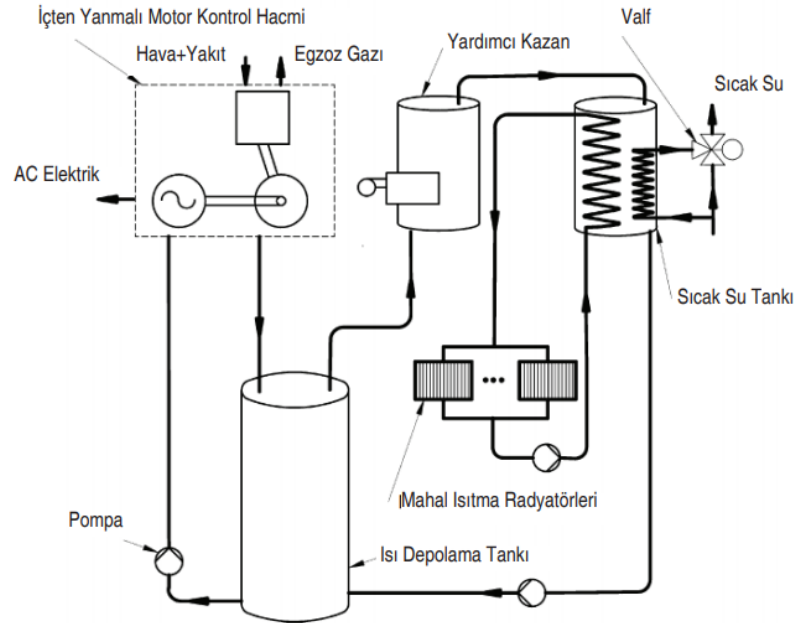


**Şekil 3.4 :** Mikro Kojenerasyon Sistemlerin Sınıflandırılması

**Kaynak:** Asaee, S. R., Ugursal, V. I., Beausoleil-Morrison, I. 2015. Applied Energy, vol. 140, p. 171-183

### 3.4.1 İçten yanmalı motorlar

Motor bazlı sınıflandırmada yer alan içten yanmalı (Otto veya Dizel motorları) motorlarda hava-yakıt karışımının silindir içerisinde buji aracılığıyla ya da kendiliğinden tutuşarak yanması neticesinde mekanik enerji elde edilir. İçten yanmalı sistemler kullanım sıklığına göre mikro kojenerasyon uygulamaları için en çok kullanılan teknolojilerden birisidir. Asaee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma sonucu sistem şematik gösterimi şekil 3.5’te verilmiştir.



**Şekil 3.5 :** İçten Yanmalı Motor Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi

**Kaynak:** Asaee, S. R., Ugursal, V. I., Beausoleil-Morrison, I. 2015. Applied Energy, vol. 140, p. 171-183

Çalışma prensibine göre yakıtın yanması ile birlikte piston hareket ederek mekanik güç elde edilmektedir. Üretilen mekanik güçten bir jeneratör aracılığıyla alternatif akım elde edilmektedir. Son işlemde egzozdan çıkan atık ısıdan evsel ısıtma amaçlı faydalanılır[21].

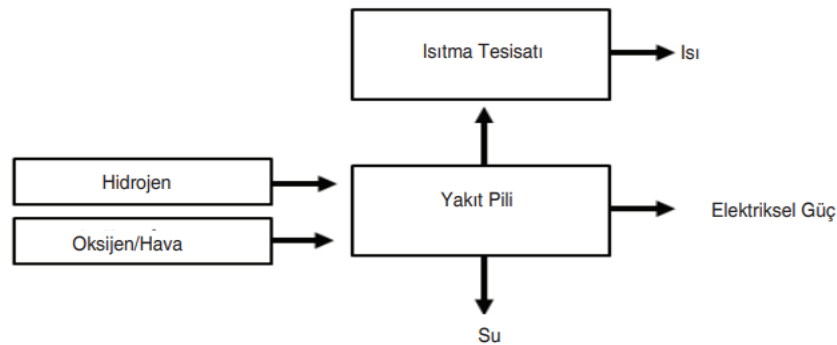
### 3.4.2 Dıştan yanmalı motorlar

Motor bazlı sınıflandırma yer alan dıştan yanmalı (Stirling, buhar motoru) motorlarda silindirin dışında oluşan ısı etkisi ile gazın hareketi sonucunda mekanik enerji elde edilmektedir. Mikro kojenerasyon sistemlerinde dıştan yanmalı motor esaslı yapılan çalışmalarda çoğunlukla Stirling motorları kullanılmıştır [22].

Stirling motorlarının boyut olarak küçük olmaları ve çalışmaları esnasında düşük sesli olmalarından dolayı özellikle konut vb. uygulamalarda uygun olduğu görülmektedir. Stirling motorlu mikro kojenerasyon sistemlerinde ısınma ihtiyacı olduğu sürece elektrik üretilir. Isıtma ihtiyacı olmadığı durumlarda veya elektrik arzı yetersiz kaldığı durumda elektrik doğrudan şebekeden alınmaktadır.

### 3.4.3 Yakıt pili bazlı sistemler

Mikro kojenerasyon sistemlerde kullanılan yakıt pillerinde, herhangi bir yanma işlemi ve hareketli parça yer almadan, elektrokimyasal bir süreç ile oksijen ve hidrojenden doğrudan elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemlerde genellikle düşük sıcaklık (yaklaşık 80 °C) polimer elektrolit membran yakıt pilleri ya da yüksek sıcaklık (yaklaşık 800-1000 °C) katı oksit yakıt pilleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemlerine ait şematik diyagram şekil 3.6'da gösterilmektedir[23].

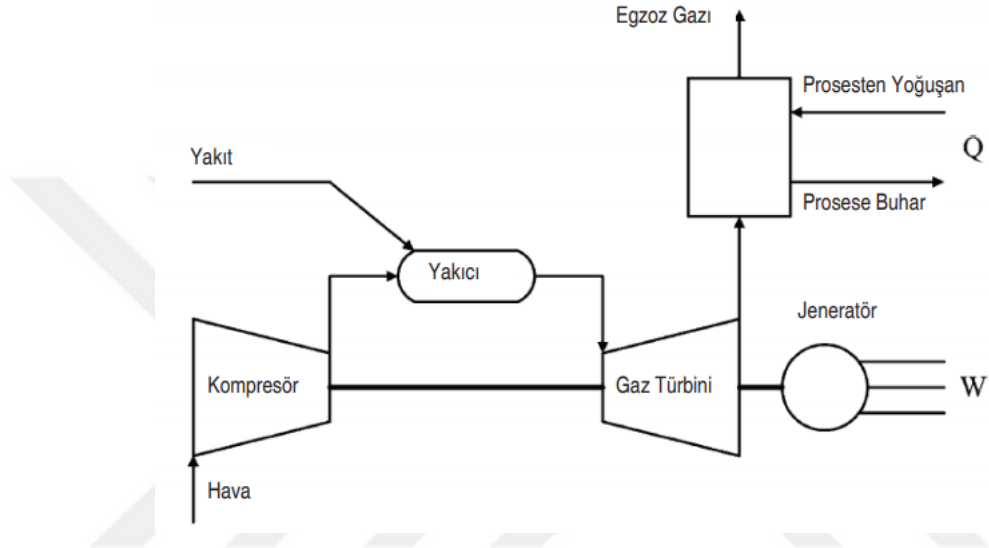


**Şekil 3.6 :** Yakıt Pili Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi

**Kaynak:** Marcoberardino, G. D., Roses, L., Manzolini, G. 2016 . Applied Energy, vol. 162, p. 231-244.

### 3.4.4 Mikro gaz türbinleri

Mikro gaz türbinleri, türbinlerde kullanılan mevcut teknolojinin daha küçük ölçeklerde geliştirilmiş halidir. Gaz türbinleri başlığında da değinildiği üzere gaz türbinlerinde buhar türbinlerinden farklı olarak proses te kızgın su buharı yerine yüksek basınç ve sıcaklıkta ki gaz kullanılmaktadır.Şekil 3.7’de görüldüğü üzere yanma odasında yanma işlemi sonrası açığa çıkan gazın doğrudan türbine girmesiyle mekanik enerji elde edilir.



**Şekil 3.7 :** Gaz Türbini Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi

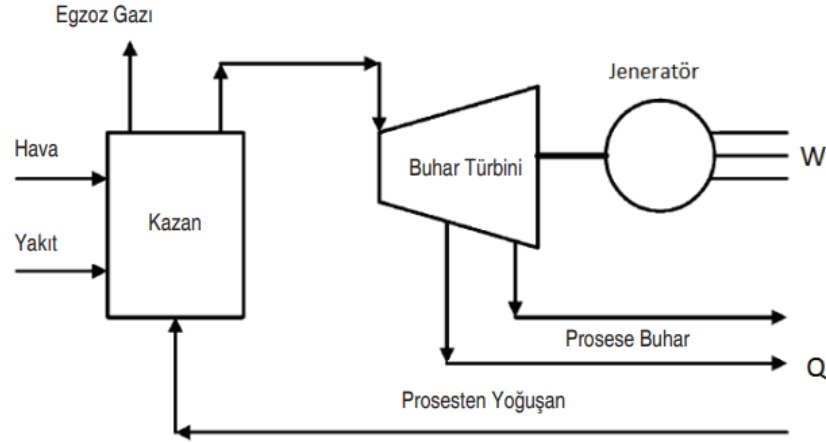
**Kaynak:** Nikpey, H., Assadi, M., Breuhaus, P., Mørkved, P. T. 2014. Applied Energy, vol. 117, p. 30-41.

Mikro gaz türbinleri, diğer mikro kojenerasyon teknolojileriyle karşılaştırıldığında küçük ölçekli enerji eldesinde avantajlar sunmaktadır. Örnek olarak kompakt ebat ve birim güç başına düşük ağırlık maliyetlerin azalmasını sağlarken, hareketli parça miktarının daha az olması ise düşük gürültüye maruz kalınmasını sağlar. Yakıt olarak incelendiğinde mikro gaz türbinli sistemlerde genel olarak doğalgazla kullanılır; ancak dizel gibi sıvı yakıtlar kullanılarak da çalışabilirler. Literatürde mikro gaz türbinleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [24].

### 3.4.5 Mikro buhar türbinleri

Buhar türbinlerinde genel çalışma prensibi olarak, bir kazanda yüksek basınçta üretilen kızgın buhar türbinde genişler ve şekil 3.8’de gösterildiği üzere işlem sonucunda mekanik enerji elde edilir. Çalışma prensibi olarak çalışmada daha önce de belirtildiği gibi sistem Rankine Çevrimi’ne göre çalışmaktadır.

Mikro buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde uygulamada genellikle Organik Rankine Çevriminden faydalanılmaktadır. Sistemde buhar elde edilmesi öncelikli olduğundan Organik Rankine Çevriminde kullanılan organik sıvının kaynama sıcaklığı sudan daha düşüktür. Literatürde buhar türbinli mikro kojenerasyon sistemler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [25].



**Şekil 3.8 :** Buhar Türbini Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi

**Kaynak:** Mikielwicz, J. 2010. "Micro Heat and Power Plants Working in Organic Rankine Cycle," Polish Journal of Environmental Studies, vol. 19, p. 499-505.

### 3.5 Termodinamiğin 1. Kanunu ve Kojenerasyon Sistemleri

Yapılan çalışma kapsamında seçimi yapılacak olan kojenerasyon sistemin veriminin hesaplanması ve yorumlanması için enerji analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Termodinamiğin birinci kanununa göre enerji dönüşümü söz konusudur. Toplam enerjinin sabit kalması şartı ile termodinamiğin birinci kanununa göre enerjinin transfer olabileceği, başka forma geçişin mümkün olduğu ifade edilmektedir. Enerjinin korunumu olarak da nitelendirilebilen bu maddeye göre toplam enerji miktarının değişmemesi ile enerjinin hangi ünitelerde nasıl dönüşüme uğradığı hesaplanacaktır.

Sistemin analizinin yapılabilmesi için yapılan kabuller:

- ❖ Kojenerasyon sisteminin çalışma rejimi süreklidir.
- ❖ Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilecektir.
- ❖ Yanma olayı tam yanma olarak gerçekleşecektir.

### 3.5.1 Kütlenin korunumu

Sınırları belirlenen sistemde toplam kütle değişimlerinin dengede olması yani giren kütle ile sistemden çıkan kütlenin denkliği kütlenin korunumu olarak ifade edilmektedir.

Kararlı sistem şartlarında, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse ve yanma olayının kontrol hacminde gerçekleştiği göz önüne alınırsa kütlenin korunumu ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \sum \dot{m}_{\text{giren}} - \sum \dot{m}_{\text{çıkan}} \quad (3.1)$$

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = 0$$

$$\sum \dot{m}_{\text{giren}} - \sum \dot{m}_{\text{çıkan}} = 0$$

$$\sum \dot{m}_{\text{giren}} = \sum \dot{m}_{\text{çıkan}}$$

### 3.5.2 Enerjinin korunumu

Sistemde meydana gelen enerji geçişi ısı veya iş yoluyla gerçekleşir. Termodinamiğin birinci kanunun göre sistem enerji dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$Q - W = \Delta E \quad (3.2)$$

$\Delta E$  sistemde meydana gelen toplam enerji değişimi ifade etmektedir;

$$\Delta E = \Delta U + \Delta K + \Delta P \quad (3.3)$$

Sistemin koşulları göz önüne alınarak kapalı ve hareketsiz sistemler için kinetik ve potansiyel enerji değişimleri sırası ile  $\Delta K$ ,  $\Delta P$  ihmal edilirse;

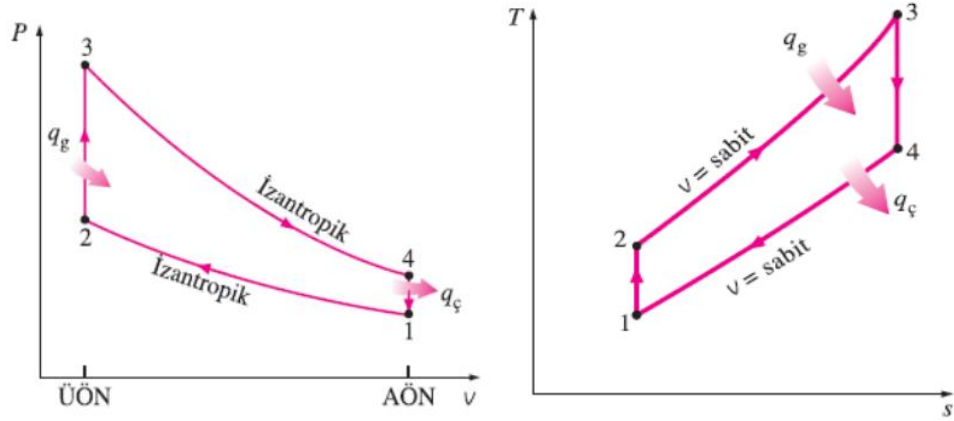
$$\Delta E = \Delta U$$

Denklem 3.2 yeniden düzenlenirse;

$$Q - W = \Delta U \text{ (kj)}$$

### 3.6 Otto Çevrimi - Buji Ateşlemeli Motorların İdeal Çevrimi

Kullanım sıklığına bakıldığında buji-ateşlemeli Otto çevrimi ve sıkıştırılmalı-ateşlemeli dizel çevrimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin mekanik parçaları aynı olmasına rağmen en önemli farkı, Otto çevriminde hava yakıt karışımının silindirlere gönderilmesi, dizel çevrimde ise ateşleme sıcaklığına kadar sıkıştırılan havanın, yakıtı ateşlemesidir [26].



**Şekil 3.9 :** (a) Otto Çevrimi P-V Diyagramı (b) Otto Çevrimi T-S Diyagramı

**Kaynak:** Çengel, Y. ve A.Boles, M., 1996: Thermodynamics: An engineering approach s.l. : Mc Graw Hill

Otto çevrimine ait P-V, T-S diyagramları şekil 3.9'da gösterilmiş olup çevrimin çalışma prensibi şu şekildedir[27]:

- 0-1 aralığında emme işleminde piston hareket ederken hava-yakıt karışımı silindir içerisine alınır,
- 1-2 aralığında emme valfi kapalıdır ve hava-yakıt karışımı izantropik olarak sıkıştırılır,
- 2-3 aralığında pistonun üst ölü noktaya ulaşması ile ateşleme yapılır ve sabit hacimde yakıt-hava karışımı yanmaya başlar,
- 3-4 aralığında piston aşağı yönlü hareket eder ve hacim genişler,
- 4-1 aralığında egzoz valfi açılır, silindir içerisindeki basınç atmosfer basıncına düşer ve ısının atılması işlemi gerçekleşir.

### 3.7 Kullanılan Yakıt Türleri

Mühendislik alanlarında tasarlanmış ve kullanılmakta olan diğer yakıt-yanma sistemlerde olduğu gibi kojenerasyon sistemlerde kullanılacak olan yakıtın türü, niteliği sistem verimine doğrudan etki etmektedir. Kojenerasyon sistemleri diğer sistemlere göre öne çıkaran bir diğer özellik kullanılabilir yakıt çeşitliliğidir. Yakıt seçimi aynı zamanda doğrudan tüketim maliyetleri üzerinde etkili olduğundan sistemin kar-zarar tablosu hazırlanırken ileriye dönük yakıt tüketim miktarının ve giderlerinin doğru tayin edilmesi önem arz etmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan yakıt türleri aşağıda sıralanmıştır:

- Doğalgaz
- LPG
- Propan
- Motorin
- Biyogaz
- Odun Gazı
- Fuel Oil
- Kök Gazı

#### 3.7.1 Doğalgaz

Tez çalışması kapsamında gaz motorlu kojenerasyon sistemi kullanılacağı için doğalgaz yakıt kullanılması uygun olmaktadır. Ticari olarak ele alındığında doğalgaz kullanımının gaz motorlu kojenerasyon sistemleri için açık ara lider olduğu görülmektedir. Yanma özelliği, depolanma gerekliliği olmaması, kolay temin edilmesi, karbon emisyonu ve çevre dostu olması gibi sebepler dikkate alındığında yakıt seçiminde doğalgaz ilk sırada yer almaktadır.

EPDK faaliyet raporunun yayınladığı çalışmaya göre sektörel olarak çevrim ve enerji sektörlerinin tartışmasız şekilde doğalgaz tüketiminde lider olduğu görülmektedir. Enerji dönüşümü, ulaşım, sanayi,hizmet ve konut sektörlerinde kullanım oranları yıllık olarak Çizelge 3.1’de yer almaktadır[28].

**Çizelge 3.1 : Sektörlere Göre Doğal Gaz Tüketim Miktarları (milyon Sm<sup>3</sup>)**

Sektör	2018	2019
<b>Dönüşüm/Çevrim Sektörü</b>	<b>18.191,64</b>	<b>11.258,00</b>
<b>Enerji Sektörü</b>	<b>1.735,04</b>	<b>1.986,82</b>
<b>Ulaşım Sektörü</b>	<b>430,5</b>	<b>411,06</b>
<b>Sanayi Sektörü</b>	<b>11.993,23</b>	<b>12.424,04</b>
<b>Hizmet Sektörü</b>	<b>3.995,64</b>	<b>4.606,06</b>
<b>Konut</b>	<b>12.625,17</b>	<b>14.396,42</b>
<b>Diğer Sektörler</b>	<b>232,93</b>	<b>203,10</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>49.204,14</b>	<b>45.285,50</b>

**Kaynak:** EPDK Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu

24.01.2019 tarih ve 8391 sayılı Kurul Kararı ile 52.133.229.503 Sm<sup>3</sup> olarak tahmin edilen ve çizelge 3.1’de kullanım alanları listelenmiş olan 2019 yılı ulusal doğal gaz tüketim miktarı %13,92 sapmayla, 45.285.498.424,37 Sm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 3.2 : Yıllara Göre Doğal Gaz Piyasası Genel Görünümü (milyon Sm<sup>3</sup>)**

	2016	2017	2018	2019	Değişim % (2018- 2019)
<b>İthalat</b>	46.352,17	55.249,95	50.282,05	45.211,47	-10,08
<b>Üretim</b>	367,28	354,15	428,17	473,87	10,67
<b>İhracat</b>	674,68	630,67	673,29	762,68	13,28
<b>Tüketim</b>	46.395,06	53.857,14	49.204,14	45.285,50	-7,96
<b>Dönem Sonu Stok</b>	1.700,25	2.948,37	3.167,23	3.095,44	-2,27

**Kaynak:** EPDK Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu

Çevre kirliliğinin önüne geçilmesi ve potansiyel hava kirliliğinin artışının azaltılması için mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının henüz tüketimi tamamen karşılayacak düzeyde olmaması nedeniyle Çizelge 3.2’de listelenen doğalgaz piyasası genel görünümünden de görüleceği üzere doğalgaz kullanımı sağlıklı ve ekonomik çözüm olmaktadır.

Kükürt oksit, kül parçaları ve yanmamış gazların doğrudan atmosfere karışması gibi etkenler doğalgaz kullanımı ile önlenmektedir.

Kazan borularının kısa sürede deforme olması geciktirilmekte, kazan bakımı ve işletmesi açısından kül, kurum vb. etkenler sistemde görülmemektedir. Çevresel olarak tehlike yaratan asit yağmurları ve yakıtların atığının bertaraf edilmesi(kül vb.) gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır. Doğalgazın diğer avantajları ise:

- Depolanma gerekliliği yoktur. Özellikle çalışma kapsamında yer alan otel vb. turistik tesislerin insan yoğunluğu olan şehirlerde yer alması bu tip yerlerde hem maddi olarak depolama alanı tesis edilmesinin mümkün olmaması hem de altyapısal olarak kullanımının yaygın olması avantajlıdır. Ancak altyapı yetersizliği, teknik sorunlar vb. nedeni ile ülkemizde bazı tesislerde doğalgaz atmosferik basınçta -163 °C'ye soğutulularak yoğunlaştırılır ve LNG olarak bilinen sıkıştırılmış doğalgaz formunda depolanır.
- Yanma işlemi sonrasında kül vb. taşınması gibi işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır.
- 7/24 arıza ve bakım ekiplerinin hazır olması ve bu sayede enerji üretiminde güvenli yakıt temini.

Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan tarafından yapılan açıklama ile Sakarya sahasının Tuna-1 bölgesinde gerçekleşen keşifte, toplam doğal gaz rezervi miktarının 405 milyar metreküp olduğu açıklanmıştır. Rusya başta olmak üzere ithal edilen doğalgazın keşfedilen gaz ile desteklenerek hem teminin kolay olması hem de tüketim fiyatlarının tüketici lehinde olacağı göz önüne alındığında doğalgaz ile enerji üretiminin tercih edilmeye devam edileceği öngörülmektedir. Dağıtım ve tedarik şirketlerinin konut ve sanayi tüketicilerine 2019 yılında sattıkları doğal gazın ortalama birim fiyatları ve bu ortalama birim fiyatları oluşturan kalemler Çizelge 3.3'te verilmektedir.

**Çizelge 3.3 : 2019 yılında Dağıtım ve Tedarik Şirketlerinin Konut ve Sanayi Tüketicilerine Sattıkları Doğal Gazın Ortalama Birim Fiyatları (TL/Sm<sup>3</sup>)**

		<b>Gaz Bedeli</b>	<b>Sistem Kullanım Bedeli</b>	<b>ÖTV Tutarı</b>	<b>KDV Tutarı</b>	<b>Toplam</b>
<b>2019</b>	<b>Konut</b>	0,890 014	0,228583*	0,023	0,205487	1,347084
<b>I.Yarıyıl</b>	<b>Sanayi</b>	1,351 527	0,141521**	0,023	0,272889	1,788937
<b>2019</b>	<b>Konut</b>	1,159 498	0,267610*	0,023	0,261019	1,711127
<b>II.Yarıyıl</b>	<b>Sanayi</b>	1,516 921	0,163925**	0,023	0,306692	2,010538

**Kaynak:** EPDK Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu

\* 0 – 100.000 Sm<sup>3</sup> tüketim kademesinde geçerli olan sistem kullanım bedellerinin ortalaması esas alınmıştır.

\*\* 100.001 – 1.000.000 Sm<sup>3</sup> tüketim kademesinde geçerli olan sistem kullanım bedellerinin ortalaması esas alınmıştır.

### **3.7.2. LPG**

LPG ülkemizde uzun yıllar boyunca kullanılmış olan konut ve ticari yakıt türüdür. Isınma, konut mutfakları vb. alanlarda yakıldığı zaman egzoz gazı ve karbon monoksit gibi çevreye zararlı gazları açığa çıkarmaması sebebi ile yaygın olarak tercih edilmektedir. Genellikle yer altından çıkarılan ham petrolün ayrıştırılması ile benzin, motorin, fuel-oil ile beraber elde edilmektedir. Doğalgazın ayrıştırılması ise diğer bir elde etme yöntemidir.

LPG kokusuz bir gazdır ancak doğalgazda olduğu gibi açık ortamlarda kaçak olduğunda fark edilmesi ile sonradan etil merkaptan ile kullanıcı tarafından fark edilecek bir kokuya sahip olması sağlanır.

Konutlarda tüplü olarak pişirme vb. alanların yanı sıra sıcak su elde edilmesinde, fabrika vb. üretim tesislerinde ve diğer yaygın alan olan otomobillerde otagaz olarak kullanılmaktadır. Standart benzinli üretilen motorlu taşıtlara uygun dönüşümlerin yapılması ile araçlarda benzine göre daha ekonomik ve çevreci olarak tüketilmektedir.

Ülkemizde özellikle nüfus yoğunluğunun düşük olduğu illerde doğalgaz alt yapısının henüz ulaşmamış olması nedeni ile yüksek tüketim oranına sahiptir. Ancak depolanması gerekliliği doğalgaza göre dezavantajlıdır.

### **3.7.3 Propan**

Propan hidrokarbonat olarak bilinen etan, etilen ve büten karışımıdır. Çok düşük metan sayısına sahiptir. Laboratuvar cihazlarında yanma testlerinde, itici gaz olarak, yakıt, ısınma-ısıtma uygulamalarında ve alevle kesme uygulamalarında kullanılır.

### **3.7.4 Motorin (Dizel)**

Motorin özellikle araç endüstrisinde kullanılan dizel motor yakıt türüdür. Diğer petrol türevi ürünlerden olan motorin ham petrolün damıtılması ile 200-380 °C kaynama aralığında elde edilir. Ticari işletmelerde ve konutlarda özellikle jeneratörlerde de sıklıkla kullanılmaktadır. Dizel yakıtlar genellikle fazla güce gerek duyan makina ve araçlarda yaygın kullanıma sahiptir. Oda sıcaklığında sıvı formdadır fakat LPG de olduğu gibi nakliye, depolama ve diğer emniyet husuları nedeni ile kojenerasyon sistemlerde kullanılmasında doğalgazdan sonra gelmektedir.

### **3.7.5 Biyogaz**

Organik atık maddelerin oksijen yokluğunda açığa çıkardıkları gazları ifade eden biyogazlar kojenerasyon sistemler için en uygun yakıtlardır. Özellikle Enerji Piyasası Denetleme Kurumunun teşvikleri ile çöplük gazı, lağım gazı ve organik atık gazlarından elde edilen biyogazların yakıt olarak kojenerasyon sistemlerde kullanılması hem atık gazların bertaraf edilmesine hem de düşük maliyet ile elektrik elde edilmesine imkan vermektedir. Biyogaz tesislerinin nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde çevresel etkenler göz önüne alındığında yeterli uygulamaya ulaşmamış olduğu görülmektedir. Yapılan teşviklerle elde edilecek olan elektrik enerjisinin şebekeye satılması mümkün olmaktadır.

## **3.8 İstanbul İli Dış Ortam Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi**

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden kojenerasyon uygulamasının seçiminin ve teknik uygulanabilirliğinin yapılacağı konum olan İstanbul ili için veriler Çizelge 3.4 yardımı ile analiz edilmiştir.

Mekanik dizayn esaslarında dış ortam koşullarının etkisi göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmakta, böylece tesis için uygun olan mekanik sistem uygulanmaktadır[29].

**Çizelge 3.4 : Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstanbul İli Yıllık Sıcaklık İstatistiği**

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu ( 1929 - 2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.9	7.9	10.0	13.7	18.7	23.4	25.8	26.0	22.5	17.4	13.4	9.2	16.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.3	11.6	14.4	19.1	23.9	28.5	30.9	31.3	27.5	21.7	17.5	12.8	20.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.1	5.0	6.5	9.6	14.5	19.3	21.6	22.1	18.7	14.1	10.3	6.3	12.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.2	4.4	6.1	8.3	10.2	10.9	10.1	8.1	5.5	3.6	2.5	6.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16.6	15.0	14.1	9.6	9.4	7.2	3.6	3.8	7.6	11.0	10.6	16.6	125.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	100.0	79.0	61.9	41.9	37.9	38.5	19.7	22.1	45.4	80.6	59.8	103.7	690.5

**Kaynak:** Meteoroloji Genel Müdürlüğü İllere Ait Mevsim Normalleri (1991-2020)

## 4. BULGULAR VE KAYNAK ÖZETİ

### 4.1 Mevcut İklimlendirme Sistemi

Tesisin bulunduğu konum nedeni ile diğer şehir otellerinde olduğu gibi kullanılabilir alan eksikliği bulunmaktadır. Bu nedenle sulu sistem olarak tabir edilen fan coil-kazan-chiller sistemi daha verimli ve ekonomik olmasına rağmen uygulanamamıştır. Mevcut sistem VRF (Variable Refrigerant Flow) olarak tasarlanmış olup mevsimsel olarak ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanması için heat pump sistem seçilmesi uygun görülmüştür.

VRF(Değişken Debili Soğutucu Akışkan) sistem seçiminin avantajları[30]:

- Düşük yer sarfiyatı sayesinde dış ünitelerin kolayca montajı sağlanması
- İklimlendirme sistemi için bina içinde veya çevresinde ilave bir teknik odaya gereksinim olmaması.
- Bağımsız alanların birbirinden bağımsız kontrol edilebilmesi.
- Merkezi kontrol sayesinde 64 iç üniteye kadar merkezi kumanda üzerinden takip edilme ve kontrol kolaylığı.
- İnverter kompresör teknolojisi ile değişebilen kapasitelerde enerji tasarrufu sağlanması.
- Hem iç ünitelerinde hem dış ünite de fan çalışması esnasında ortaya çıkan düşük ses seviyesi ve çevresel konfor.
- Düşük işletme maliyetleri ile kolay müdahale imkanı ve uzun ömürlü çalışma
- -20 °C' ye kadar düşük dış hava sıcaklıklarında ısıtma imkanı.
- Hava soğutmalı gruplarda COP/EER değerinin 4.0 civarında olması.
- Mevsim geçişlerinde yalnızca merkezi kumanda otomasyon kontrolü ile ısıtma soğutma modlarına kolaylıkla geçiş sağlanması.

VRF(Değişken Debili Soğutucu Akışkan) sistem seçiminin dezavantajları:

- Taze hava imkanlarının sınırlı olması
- Servis ihtiyacı halinde özel ekip gereksinimi
- Nem almanın kısıtlı olması

- İyi tasarım yapılmaması halinde kışın ısıtmama yazın soğutamama sorunları ve kapasite yetersizliği görülebilmesi

#### **4.1.1 Mevcut ısıtma ve soğutma kapasitesi**

Tez çalışması yapılan turistik tesis için VRF sistemlerinin adetleri, kapasiteleri vb. bilgiler Çizelge 4.1’de listelenmiş olup sistemin kullanıldığı mahaller aşağıda listelenmiştir:

- Oda katları misafir odaları
- Oda katları klima santrali iklimlendirmesi
- Genel mekanlar taze hava ihtiyacı ve iklimlendirilmesi
- Toplantı odaları ve çalışma ofisleri
- Fitness
- Kapalı yüzme havuzu çevresi ve Spa alanı
- Restaurant

**Çizelge 4.1 : VRF Sistemlerinin Kapasiteleri ve Mahallerin Toplam Isıtma-Soğutma Yükleri (kW)**

OTEL KULLANIM ALANLARI VE SEÇİLEN CHAZ KAPASİTELERİ	İKLİMLENDİRİLEN MAHAL	TOPLAM SOĞUTMA DUVULUR+GİZLİ (kW)	ISITMA YÜKÜ	TİP	İÇ ÜNİTE ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW)	DİŞ ÜNİTE ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW) SOĞUTMA MODU	DİŞ ÜNİTE ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW) ISITMA MODU	İÇ ÜNİTE ADET	SİSTEM ÇALIŞMA TÜRÜ
ÇATI KATI	MUTFAK VRF ENDÜSTRİYEL MUTFAKLAR İÇİN	7.10	7.60	Endüstriyel Mutluk Tipi	Dış Ünite Bestemeli	2.21	2.23	1	H.P.
	RESTAURANT	28.40	32.00	Gizli Tavan Tipi	0.48	6.88	7.34	4	H.P.
	<b>ÇATI REST. TOPLAM</b>	<b>35.50</b>	<b>39.60</b>		<b>1.92</b>	<b>9.09</b>	<b>9.57</b>	<b>5</b>	<b>H.P.</b>
4. KAT	401	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	402	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	403	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	404	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	405	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	406	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	407	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	408	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	409	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	410	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	411	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	412	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	413	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>38.20</b>	<b>43.10</b>		<b>0.88</b>	<b>11.69</b>	<b>11.13</b>	<b>13</b>	<b>H.P.</b>	
3. KAT	301	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	302	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	303	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	304	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	305	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	306	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	307	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	308	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	309	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	310	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	311	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	312	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	313	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>38.20</b>	<b>43.10</b>		<b>0.88</b>	<b>11.69</b>	<b>11.13</b>	<b>13</b>	<b>H.P.</b>	
2. KAT	201	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	202	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	203	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	204	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	205	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	206	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	207	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	208	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	209	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	210	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	211	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	212	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	213	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>38.20</b>	<b>43.10</b>		<b>0.88</b>	<b>11.69</b>	<b>11.13</b>	<b>13</b>	<b>H.P.</b>	
1. KAT	101	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	102	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	103	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	104	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	105	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	106	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	107	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	108	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
	109	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	110	3.6	4.0	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	111	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	112	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	113	2.2	2.5	Gizli Tavan Tipi	0.06			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>38.20</b>	<b>43.10</b>		<b>0.88</b>	<b>11.69</b>	<b>11.13</b>	<b>13</b>	<b>H.P.</b>	
ZEMİN KAT	CAFE-RESTAURANT	21.30	24.00	Gizli Tavan Tipi	0.30			3	H.P.
	LOBI	9.00	10.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			2	H.P.
	RESEPSİYON	4.50	5.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	DÜKKAN	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	DÜKKAN	4.50	5.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>44.90</b>	<b>50.30</b>		<b>1.27</b>	<b>13.55</b>	<b>12.50</b>	<b>8</b>	<b>H.P.</b>	
1.BODRUM KAT	TOPLANTI SALONU-1	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	TOPLANTI SALONU-2	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	FUAYE	4.50	5.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	TOPLANTI SALONU-3	5.60	6.30	Gizli Tavan Tipi	0.09			1	H.P.
	YÖNETİM OFİSİ	4.50	5.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	MUHASEBE OFİSİ	4.50	5.00	Kasetli Döşeme Tipi	0.08			1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>30.30</b>	<b>33.90</b>		<b>0.49</b>	<b>8.56</b>	<b>9.07</b>	<b>6</b>	<b>H.P.</b>	
2.BODRUM KAT	FİTNESS	7.10	8.00	Gizli Tavan Tipi	0.12			2	H.P.
	MASAJ ODASI-1	1.70	1.90	Gizli Tavan Tipi	0.05			1	H.P.
	MASAJ ODASI-2	1.70	1.90	Gizli Tavan Tipi	0.05			1	H.P.
	HAVUZ	7.10	8.00	Gizli Tavan Tipi	0.12			2	H.P.
	SPA KARŞILAMA	4.50	5.00	Gizli Tavan Tipi	0.07			1	H.P.
	BAYAN WC/SOYUNMA	1.70	1.90	Gizli Tavan Tipi	0.05			1	H.P.
	BAY WC/SOYUNMA	1.70	1.90	Gizli Tavan Tipi	0.05			1	H.P.
	<b>TOPLAM</b>	<b>25.50</b>	<b>28.60</b>		<b>0.75</b>	<b>6.88</b>	<b>7.34</b>	<b>9</b>	<b>H.P.</b>
%100 TAZE HAVALI YÜKSEK STATİK BASINÇLI KANALLI TAVAN TİPİ VRF	ZEMİN KAT TAZE HAVA YÜKÜ	28	26.5	% 100 Taze Havalı VRF	0.5	6.88	7.34	1	H.P.
	ÇATI KATI REST. TAZE HAVA YÜKÜ	22.4	21.2	% 100 Taze Havalı VRF	0.42	5.19	5.81	1	H.P.
	1.BODRUM KAT TAZE HAVA YÜKÜ	28	26.5	% 100 Taze Havalı VRF	0.5	6.88	7.34	1	H.P.
	2.BODRUM KAT TAZE HAVA YÜKÜ (HAVUZ)	28	26.5	% 100 Taze Havalı VRF	0.5	6.88	7.34	1	H.P.
	2.BODRUM KAT TAZE HAVA YÜKÜ (FİTNESS VE SPA ALANI)	22.4	21.2	% 100 Taze Havalı VRF	0.42	5.19	5.81	1	H.P.
<b>TOPLAM</b>	<b>128.8</b>	<b>121.9</b>		<b>2.34</b>	<b>31.02</b>	<b>33.64</b>	<b>5</b>	<b>H.P.</b>	
AHU-01	AHU KLİMA SANTRALİ SERPANTİN YÜKÜ	28.0	26.5	Taze Hava Klîma Santrali	4.4	6.88	7.34	1	H.P.
					<b>13.25</b>	<b>122.74</b>	<b>123.98</b>	<b>86</b>	<b>15</b>
	<b>GENEL TOPLAM YÜK: SOĞUTMA/ISITMA</b>	<b>445.80</b>	<b>473.20</b>			<b>135.99</b>	<b>137.23</b>		

#### 4.1.2 Mevcut sistemin verimlilik oranları

Otelde kullanılan VRF sistemin Enerji Verimlilik Oranı(EER):

$$EER(\text{Enerji Verimlilik Oranı}) = \frac{\text{Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)}}{\text{Harcanan Toplam Güç (kW)}} \quad (4.1)$$

Hazırlanan sistem soğutma kapasitelerinin olduğu çizelge 4.1'e göre tesiste soğutma için ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesi 445.80 kW olarak tespit edilmiştir. Hesaplanan evaporatör soğutma kapasitesi için VRF sisteme ait cihazların çalışma esnasında harcaması gereken güç 135.99 kW olmaktadır. İlgili verilere göre EER değeri hesaplanırsa:

$$EER(\text{Enerji Verimlilik Oranı}) = \frac{445.80 \text{ kW}}{135.99 \text{ kW}} = 3.28$$

Günümüz teknolojisi ile geliştirilen iklimlendirme cihazlarının EER oranları 3.0-4.0 EER değerleri arasında değerlere ulaşabilmektedir. Hesaplanan otel VRF sisteme ait EER değerine göre 1 birim enerji karşılığında 3.28 birim soğutma kapasitesi elde edilmesinin sağladığı ve sistemin yüksek verimli olduğu görülmektedir.

Otelde kullanılan VRF sistemin performans katsayısı(COP):

$$COP(\text{Performans Katsayısı}) = \frac{\text{Kondenser Isıtma Kapasitesi (kW)}}{\text{Harcanan Toplam Güç (kW)}} \quad (4.2)$$

Hazırlanan sistem ısıtma kapasitelerinin olduğu çizelge 4.1'e göre tesiste ısıtma için ihtiyaç duyulan ısıtma kapasitesi 473.20 kW olarak tespit edilmiştir. Hesaplanan kondenser ısıtma kapasitesi için VRF sisteme ait cihazların çalışma esnasında harcaması gereken güç 137.23 kW olmaktadır. İlgili verilere göre COP değeri hesaplanırsa:

$$COP(\text{Performans Katsayısı}) = \frac{473.20 \text{ kW}}{137.23 \text{ kW}} = 3.45$$

Hesaplanan EER değerinde olduğu gibi sistemin yüksek verimliliğe sahip olması neticesinde ısıtma durumundaki performans katsayısı değeri(COP) 3.45 olarak hesaplanmıştır[31].

## 4.2 Tesisin Elektrik Sarfiyat Analizi

Kojenerasyon sistem seçiminde esas alınacak birden çok kriter mevcuttur:

- İşletmede ihtiyaç duyulan ısı-elektrik ihtiyacının tüketim yapısı ve tüketilen ısı-elektriğin dengesi.
- Analizi yapılacak olan tesisin çalışma koşulları ve yıl içerisindeki çalışma zamanı.
- İşletmenin hizmet verebilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı miktarı.
- Kojenerasyon sistemin çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan birinci enerji kaynaklarının(doğalgaz, LPG, Fuel oil vb.) ulaşılabilirliği ve sistemde seçilen yakıtın ekonomik uygunluğu.

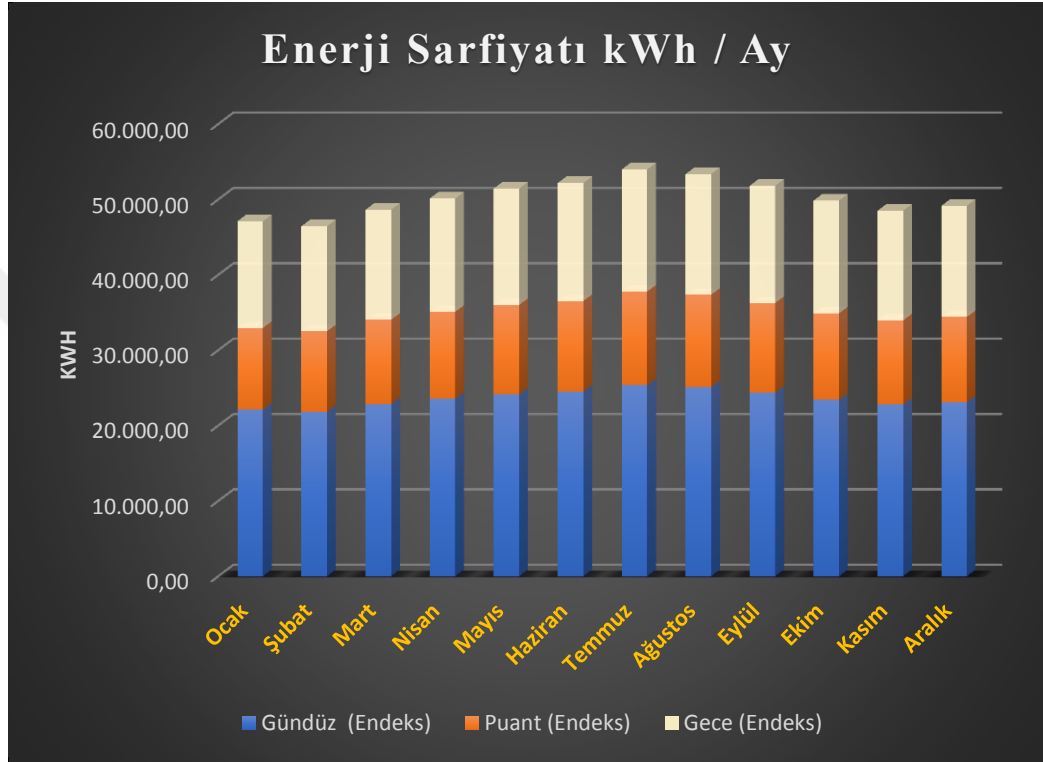
Listelenen kriterlerden ilk ikisi üzerinde dikkatlice durulması zorunludur. Termoeconomik olarak uygun bir kojenerasyon sistem seçiminin yapılabilmesi için imkan varsa yıllık, yok ise aylık ya da haftalık zaman dilimlerinde tüketilen değerlerin tespiti yapılmalıdır ve grafiksel olarak yorumlanabilmelidir[12].

**Çizelge 4.2 : Zamanlı Tarifeye Göre 12 Aylık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)**

Enerji Sarfiyatı kWh / Ay	Gündüz Tarifesi kWh (06:00-17:00)	Puant Tarifesi kWh (17:00-22:00)	Gece Tarifesi kWh (22:00-06:00)	Aylık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh/ay)
Ocak	22,142.21	10,835.55	14,133.33	47,111.09
Şubat	21,834.28	10,684.86	13,936.78	46,455.92
Mart	22,859.12	11,186.38	14,590.93	48,636.42
Nisan	23,556.77	11,527.78	15,036.24	50,120.80
Mayıs	24,177.45	11,831.52	15,432.41	51,441.38
Haziran	24,523.87	12,001.04	15,653.54	52,178.45
Temmuz	25,370.69	12,415.44	16,194.05	53,980.18
Ağustos	25,086.81	12,276.52	16,012.86	53,376.19
Eylül	24,350.66	11,916.28	15,542.98	51,809.92
Ekim	23,431.68	11,466.57	14,956.39	49,854.63
Kasım	22,796.57	11,155.77	14,551.00	48,503.34
Aralık	23,109.31	11,308.81	14,750.62	49,168.75

Tesisin şehir oteli olarak kullanımda olması; bulunduğu şehirin konumu ve niteliği gereği iş gezileri ve turistik geziler başta olmak üzere 12 ay kullanımda olduğu ve buna bağlı elektrik enerjisi tüketim değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Otel elektrik sarfiyatı ücretlendirmesinde tek fiyat üzerinden toplam kWh sarfiyatına göre faturalandırma yapılmaktadır. Ancak kojenerasyon sistem seçiminde uygun sistem seçimi yapılması için yıllık, aylık, haftalık ve günlük tüketimlere göre seçim yapılması sistemin yüksek verimle çalışması ve kapasitesinin doğru tayin edilmesi için önem arz etmektedir. Aylık toplam elektrik enerjisi tüketim değerleri grafiksel olarak Şekil 4.1 ile analiz edilmiştir.



**Şekil 4.1 : Zamanlı Tarifeye Göre Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)**

Gündüz tarifesini incelendiğinde 06:00-17:00 saatleri arasında genel mesai saatleri olmasının etkisi ile ofislerin, toplantı salonlarının ve misafir giriş-çıkış yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile bu saatler arasında toplam tüketimin yarısına yakın bir enerji tüketimi olduğunu sonucuna varılmaktadır.

Puant tarifesini 17:00-22:00 saatlerini kapsamakta olup bu saatlerde tüketimin genel aylık tüketim miktarının %20-%25 e yakın bir değerine karşılık geldiği görülmektedir. Otelin şehir oteli olmasından kaynaklı olarak mesai saatleri sonrası yoğunlaşan restaurant kullanımı ve spa-havuz kullanımları öne çıkmaktadır.

Gece tarifesini 22:00-06:00 saatlerini kapsamakta olup şekil 4.1 incelendiğinde aylık elektrik tüketiminin %30 - %35'e yakın bir değerine karşılık geldiği görülmektedir.

EPDK genelgesi gereğince doğalgaz yakıtlı kojenerasyon tesislerinin lisanssız olarak elektrik üretebilmesi için çalışma verimi en az %80 civarında olmak zorundadır[32].

### 4.3 Mevcut Isıtma Sistemi ve Sıcak Su İhtiyacının Belirlenmesi

Tesis İstanbul ilinde yer almakta olup ısıtma ihtiyaçları hesaplandığında 200 kW ısı güce ihtiyaç olduğu görülmüştür. Tez kapsamında projelendirilecek ve seçimi yapılacak olan kojenerasyon sistemin hesaplanacak ısı enerjisinin ön ısıtmada kullanılması yöntemi ile ısıtma sistemi için kullanılacak yakıt miktarından tasarruf edilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre ihtiyaç duyulan sıcak su enerjisi miktarları ve kullanım alanları Çizelge 4.7 ile analiz edilmiştir.

#### 4.3.1 Kapalı havuz ısıtma yükü hesabı

Çeşitli havuzlar için uygulamalarda hesaplama alınacak sıcaklık kullanım değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Havuz ısı kaybı hesaplanarak tesisin toplam sıcak su ihtiyacı analizine dahil edilecektir.

**Çizelge 4.3 :** Farklı Kullanma Amaçlarına Göre Önerilen Havuz Suyu Sıcaklıkları

Havuz Tipi	Su Sıcaklığı (°C)
Halka açık havuzlar	26-28
Spor havuzları	22-24
Çocuk havuzları	26-32
Terapi havuzları	35
Masaj havuzları	32-26
Soğuk su(şok) havuzları	15

**Kaynak :** TSE 11899, Madde 7, Çizelge 10

Su yüzeyinden taşınım ile ısı kaybı ( $Q_t$ , kCal/m<sup>2</sup>h) kapalı yüzme havuzlarında, havuz katının hava sıcaklığı VRF sistem ile havuz su sıcaklığının üstünde tutulduğundan taşınım ile ısı kaybedilmesi ihmal edilmektedir. Hesaplamaya alınacak havuz kapalı tip yüzme havuzu olduğundan, ışınlama yolu ile kaybolan ısı, havuz duvar ve tavandan yansıtılarak tekrar suya döneceğinden su yüzeyinden ışınlama ile ısı kaybı ( $Q_1$ , kCal/m<sup>2</sup>h) hesaplamalarda ihmal edilir. Hesaplamaya dahil edilecek ısı kaybı ve ısı kazancı değerleri Çizelge 4.4'te listelenmiştir[33].

**Çizelge 4.4 : Kapalı Havuz Isı Kaybı ve Isı Kazancı Değerleri**

Su yüzeyinden buharlaşma ile ısı kaybı ( $Q_{bh}$ )	296.92 kCal/m <sup>2</sup> h
Besleme suyu ısı gereksinimi ( $Q_e$ )	9.21 kCal/m <sup>2</sup> h
Tazeleme suyu ısı gereksinimi ( $Q_s$ )	10 kCal/m <sup>2</sup> h
Su yüzeyinden taşınım ile ısı kazancı $Q_k$	20 kCal/m <sup>2</sup> h

**Kaynak:** Özyaman, C. (2003). Isıtılan Yüzme Havuzlarında Isıtma Yüğü Hesabı ve Isıtıcı Seçimi. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, TESKON-2003, İzmir, Ekim.

Kapalı havuza ait ısıtma yükü( $Q_n$ ) hesabı yapılırsa:

$$Q_n = ((Q_{bh} + Q_e + Q_s) - (Q_k)) * \text{Havuz Yüzey Alanı} \quad (4.3)$$

$$Q_n = ((296.92 + 9.21 + 10) - (20)) * 65.2 \text{ m}^2$$

$$Q_n = 19307.68 \text{ kCal/h} = 22.46 \text{ kW}$$

#### 4.3.2 Kullanım sıcak su hesabı

Kullanım sıcak su hesabının yapılması için Çizelge 4.5'te yer alan ve kabul gören su tüketim değerleri ile Çizelge 4.6'da listelenen oteller için eş zaman faktöründen faydalanılacaktır[34].

**Çizelge 4.5 : Sıcak Su Tüketim Miktarları 60 °C Sıcaklıkta - Yüksek Konfor Seviyesi**

Banyolu evler, apartmanlar	90.....120 lt/kişi
Duşlu evler, apartmanlar	50.....70 lt/kişi
Yurtlar, yatılı okullar	40.....60 lt/kişi
Otel mutfağı, misafrihane yemek salonu vb.	40.....50 lt/kişi
Sanatoryum, prevantoryum, tatil yerleri(tüm odalar banyolu)	120.....140 lt/yatak
Hastane ve sanatoryumlar (kaplıca sulu ve çamur banyolu)	200.....250 lt/yatak
Tüm odalarında banyo veya duş bulunan oteller	80.....180 lt/yatak

**Kaynak :** ASHRA El Kitabı 2004, "Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri ve Ekipmanları"

Tez kapsamında uygulama yapılan otelin özellikleri:

Oda Sayısı: 52 oda – 88 yatak

Çamaşır makinesi: 2 adet

Bulaşık makinesi: 3 adet (ticari tip)

**Çizelge 4.6 : Eş Zaman Faktörü ve Depolama Katsayıları**

Katsayı	Hastane	Otel	Fabrika	Konut (Özel)	Okul
Kullanma Katsayısı	0,25	9,25	0,4	0,3	0,4
Depolama Katsayısı	0,6	0,8	1	0,7	1

**Kaynak:** ASHRA Eİ Kitabı 2004, “Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri ve Ekipmanları”

Kullanım Sıcak Suyu İhtiyacı = Toplam İhtiyaç \* Kullanma Eş Zaman Faktörü

88 yatak x 90 lt/yatak + 88 kişi(rest. kapasitesi) x 40 lt/kişi + 2 çamaşır mak. x 75 lt/mak. + 2 bulaşık mak. x 200 lt/mak. = 11990 litre/gün

Kullanım sıcak suyu ihtiyacı = 11990 x 0,25 = 2997,5 lt/h

Isıtma yükü hesabı:

$$Q = V_{SS} * c * (t_{\check{c}} - t_g) \quad (4.4)$$

$m_{ss}$ : 2997,5 lt/h

c: Suyun özgül ısısı (1 cal /gr °C)

$t_{\check{c}}$ : Su çıkış sıcaklığı 60 °C

$t_g$ : Su giriş sıcaklığı 15 °C

$$Q = 2997,5 \text{ lt/h} \times 1 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C} \times (60 \text{ } ^\circ\text{C} - 15 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q = 134.887 \text{ kcal/h} = 156.87 \text{ kW}$$

### 4.3.3 Hamam döşeme ve duvarlar ısı kaybı hesabı

Döşemeden ısıtma için literatürde kullanılmakta olan genel ısı transferi denklemi ile ısı akısı tespit edilip ısıtılan mahallerin alanlarına göre ısı kaybı hesaplanmaktadır. Döşemeden ısıtma sistemi için toplam ısı transfer akısı denklemi[35]:

$$q_{\max} = \left[ [1.027 + 5.2 * 10^{-3} * (T_{y\max} - 25)] * Cd \left( T_{y\max} - (Td - c\left(\frac{15}{25 - |Td|}\right)) \right) + (1 - 2.257 * 10^{-5} * z)^{2.6275} * 2.3(T_{y\max} - Td)^{1.25} \right] \quad (4.5)$$

$$q_{\max} = \left[ [1.027 + 5.2 * 10^{-3} * (40 - 25)] * 0.9 \left( 40 - (19 - (-0,5) * \frac{15}{25 - |19|}) \right) + (1 - 2.257 * 10^{-5} * (-6))^{2.6275} * 2.3(40 - 19)^{1.25} \right]$$

$$q_{\max} = 123.07 \text{ W/ m}^2$$

$$Q_{\text{hamam}} = q_{\max} * A \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q_{\text{hamam}} = 123.07 \text{ W/ m}^2 * 20 \text{ m}^2 = 2461 \text{ Watt} = 2.46 \text{ kW} = 2155.22 \text{ kcal/h}$$

### 4.3.4 Kapalı yüzme havuzu etrafı spa zemini ısı kaybı hesabı

$$q_{\max} = \left[ [1.027 + 5.2 * 10^{-3} * (35 - 25)] * 0.9 \left( 35 - (19 - (-0,5) * \frac{15}{25 - |19|}) \right) + (1 - 2.257 * 10^{-5} * (-6))^{2.6275} * 2.3(35 - 19)^{1.25} \right]$$

$$q_{\max} = 87.27 \text{ W/ m}^2$$

$$Q_{\text{döşeme}} = q_{\max} * A \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q_{\text{döşeme}} = 87.27 \text{ W/ m}^2 * 80 \text{ m}^2 = 6981 \text{ Watt} = 6.98 \text{ kW} = 6001.72 \text{ kcal/h}$$

**Çizelge 4.7 : Uygulama Yapılan Otele Ait Sıcak Sulu Sistemler Isıtma İhtiyacı**  
Tablosu

Tüketim / Ay	Doğalgaz Tüketimi Toplam (kWh/ay)	Doğalgaz Isıl Güç	Isı İhtiyacı (m <sup>3</sup> /ay)	Doğalgaz Tüketimi TL/ay
Ocak	122,914.61	170.71	11,552.14	26,155.00 TL
Şubat	117,745.19	163.53	11,066.29	25,055.00 TL
Mart	112,575.78	156.36	10,580.44	23,955.00 TL
Nisan	105,056.63	145.91	9,873.76	22,355.00 TL
Mayıs	97,537.48	135.47	9,167.07	20,755.00 TL
Haziran	92,368.06	128.29	8,681.22	19,655.00 TL
Temmuz	86,728.70	120.46	8,151.20	18,455.00 TL
Ağustos	84,378.97	117.19	7,930.36	17,955.00 TL
Eylül	95,751.68	132.99	8,999.23	20,375.00 TL
Ekim	106,635.65	148.11	10,022.16	22,691.00 TL
Kasım	116,340.05	161.58	10,934.23	24,756.00 TL
Aralık	131,373.65	182.46	10,077.50	27,955.00 TL

Çizelge 4.7’de otelde tasarım için ele alınan 12 aylık kullanım değerleri görülmektedir. Kojenerasyon sistemin sıcak su devresi ile transfer edilecek olan enerji ile yapılacak olan hesaplamalarda tasarruf oranı hesaplanacaktır.

#### **4.4 Kojenerasyon Sistem Kapasitesinin Belirlenmesi**

Çalışma konusu olan turistik tesis için seçimi yapılacak olan kojenerasyon sistemin yağ değişimleri, elektrik ve tesisat bağlantı kontrolleri ve bakımları için aylık en fazla 690 saat çalışma şartında çalışacağı kalan 30 saat boyunca ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tesisin ve kojenerasyon sistemin periyodik bakım ihtiyacına göre şebekeden temin edilmesi planlanmıştır. Tesisin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi tüketiminin misafir kullanımına göre analiz edilebilmesi için gündüz, puant ve gece tarifelerine göre kojenerasyon sistemin elektrik üretimi ve tesis elektrik enerjisi ihtiyacı Çizelge 4.8 , 4.9 ve 4.10’da listelenmiştir.

**Çizelge 4.8 : Gündüz Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri**

Tüketim	Gündüz kW (06:00-17:00)				
	71 kW Kojenerasyon Sistem Çalışma Durumu ve Verimi	Kojenerasyon Sistemde Üretililecek Max Elektrik Üretimi kWh (316 Saat)	Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik Üretimi kWh	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Gücü kW	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerjisi kWh
Ocak	22,436.00	22,142.21	67.10	22,142.21	98.7%
Şubat	22,436.00	21,834.28	66.16	21,834.28	97.3%
Mart	22,436.00	22,436.00	69.27	22,859.12	100.0%
Nisan	22,436.00	22,436.00	71.38	23,556.77	100.0%
Mayıs	22,436.00	22,436.00	73.26	24,177.45	100.0%
Haziran	22,436.00	22,436.00	74.31	24,523.87	100.0%
Temmuz	22,436.00	22,436.00	76.88	25,370.69	100.0%
Ağustos	22,436.00	22,436.00	76.02	25,086.81	100.0%
Eylül	22,436.00	22,436.00	73.79	24,350.66	100.0%
Ekim	22,436.00	22,436.00	71.01	23,431.68	100.0%
Kasım	22,436.00	22,436.00	69.08	22,796.57	100.0%
Aralık	22,436.00	22,436.00	70.03	23,109.31	100.0%

Çizelge 4.8’de tespit edilen gündüz tüketim aralığı için yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi:

$$E_1 = [22,142.21 + 21,834.28 + 22,859.12 + 23,556.77 + 24,177.45 + 24,523.87 + 25,370.69 + 25,086.81 + 24,350.66 + 23,431.68 + 22,796.57 + 23,109.31] \text{ kWh} / [12 * 316 \text{ h}]$$

$$E_1 = 74.69 \text{ kW}$$

**Çizelge 4.9 : Puant Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri**

Tüketim	Puant kW (17:00-22:00)				
	71 kW Kojenerasyon Sistem Çalışma Durumu ve Verimi	Kojenerasyon Sistemde Üretilebilecek Max Elektrik Üretimi kWh (143 Saat)	Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik Üretimi kWh	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Gücü kW	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerjisi kWh
Ocak	10,153.00	10,153.00	72.24	10,835.55	100.0%
Şubat	10,153.00	10,153.00	71.23	10,684.86	100.0%
Mart	10,153.00	10,153.00	74.58	11,186.38	100.0%
Nisan	10,153.00	10,153.00	76.85	11,527.78	100.0%
Mayıs	10,153.00	10,153.00	78.88	11,831.52	100.0%
Haziran	10,153.00	10,153.00	80.01	12,001.04	100.0%
Temmuz	10,153.00	10,153.00	82.77	12,415.44	100.0%
Ağustos	10,153.00	10,153.00	81.84	12,276.52	100.0%
Eylül	10,153.00	10,153.00	79.44	11,916.28	100.0%
Ekim	10,153.00	10,153.00	76.44	11,466.57	100.0%
Kasım	10,153.00	10,153.00	74.37	11,155.77	100.0%
Aralık	10,153.00	10,153.00	75.39	11,308.81	100.0%

Çizelge 4.9’da tespit edilen gündüz tüketim aralığı için yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi:

$$E_1 = [10,835.55 + 10,684.86 + 11,186.38 + 11,527.78 + 11,831.52 + 12,001.04 + 12,415.44 + 12,276.52 + 11,916.28 + 11,466.57 + 11,155.77 + 11,308.81] \text{ kWh} \\ / [12 * 143 \text{ h}]$$

$$E_2 = 80.77 \text{ kW}$$

**Çizelge 4.10 : Gece Tarifesine Göre Yıllık kWh Enerji Tüketim Değerleri**

Tüketim	Gece kW (22:00-06:00)				
71 kW Kojenerasyon Sistem Çalışma Durumu ve Verimi	Kojenerasyon Sistemde Üretililecek Max Elektrik Üretimi kWh (231 Saat)	Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik Üretimi kWh	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Gücü Kw	Tüketimde İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerjisi kWh	Kojenerasyon Sistem Çalışma Verimi
Ocak	16,401.00	14,133.33	58.89	14,133.33	86.2%
Şubat	16,401.00	13,936.78	58.07	13,936.78	85.0%
Mart	16,401.00	14,590.93	60.80	14,590.93	89.0%
Nisan	16,401.00	15,036.24	62.65	15,036.24	91.7%
Mayıs	16,401.00	15,432.41	64.30	15,432.41	94.1%
Haziran	16,401.00	15,653.54	65.22	15,653.54	95.4%
Temmuz	16,401.00	16,194.05	67.48	16,194.05	98.7%
Ağustos	16,401.00	16,012.86	66.72	16,012.86	97.6%
Eylül	16,401.00	15,542.98	64.76	15,542.98	94.8%
Ekim	16,401.00	14,956.39	62.32	14,956.39	91.2%
Kasım	16,401.00	14,551.00	60.63	14,551.00	88.7%
Aralık	16,401.00	14,750.62	61.46	14,750.62	89.9%

Çizelge 4.10'da tespit edilen gündüz tüketim aralığı için yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi:

$$E_3 = [14,133.33 + 13,936.78 + 14,590.93 + 15,036.24 + 15,432.41 + 15,653.54 + 16,194.05 + 16,012.86 + 15,542.98 + 14,956.39 + 14,551.00 + 14,750.62] \text{ kWh} / [12 * 231 \text{ h}]$$

$$E_3 = 65.22 \text{ kW}$$

Çalışma yapılan turistik tesisin ihtiyaç duyduğu ortalama enerji aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$316\text{h} * 74.69 \text{ kW} + 143\text{h} * 80.77 \text{ kW} + 231\text{h} * 65.22 \text{ kW} = 50,217.97 \text{ kWh}$$

Toplam yıllık çalışma saati 690 saat olarak kabul edildiği için ortalama kojenerasyon sistem gücü:

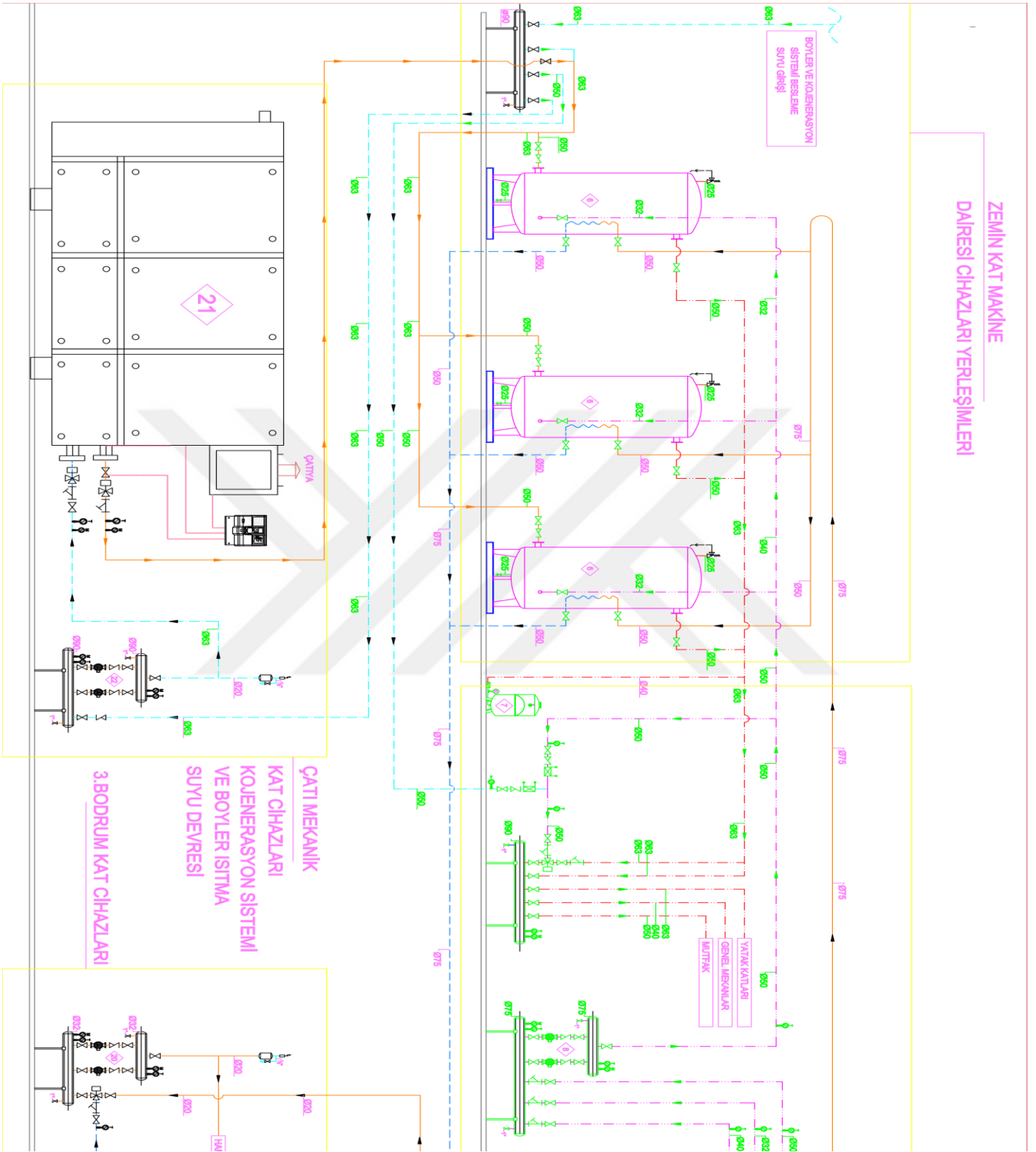
$$P = 50,217.97 \text{ kWh} / 690 \text{ h}$$

$$P = 72.78 \text{ kW}$$

71 kWh elektrik enerjisi üretme kapasiteli 109 kW sıcak su ısıtma enerjisine sahip kojenerasyon sistem seçilmiştir. Sistem belli aralıklarda 71 kW gücün üstüne çıkmaktadır fakat kapasite değerlerinin düşük olması sistem seçiminde bir üst cihaz olan 80 kW kapasiteli cihazın seçimine uygun olmamaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı ilk kurulumda projelendirilecek olan trafo merkezi ile şebekeden sağlanacaktır.

#### **4.5 Kojenerasyon Sistem Soğutması ve Boyler Isıtması İçin Sıcak Su Analizi**

Çizelge 4.7’de listelendiği üzere saatlik 134,887 kcal/h termal enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Tesiste gündüz çamaşır, bulaşık vb. temizlik hizmetleri yoğunluğu görülürken öğlen ve akşam saatleri misafirlerin yoğun olarak sıcak kullanım suyuna ihtiyacı olması sebebi ile gün içinde dengeli bir kullanım olduğu görülmektedir. İhtiyaç duyulan termal enerjinin devamı kaskad kazan sistemi ile sağlanacaktır. Şekil 4.2’de tesisin kazan dairesi ve kojenerasyon sistem şemasından görüleceği üzere 3 yollu motorlu vanalar ve otomasyon sistemi yardımı ile sistemde ihtiyaç duyulacak kullanım suyu sıcaklığı sağlanacaktır. Ayrıca sıcak su ihtiyacının kojenerasyon sisteminin soğutulması için uygun değerlerde olması sistemin verimli çalışması için önem arz etmektedir.

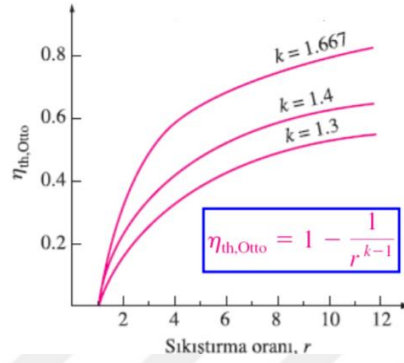


Şekil 4.2 : Kazan Dairesi ve Kojenerasyon Sistem Şeması



#### 4.5.1 Otto çevrimine göre çalışması durumunda klasik sistem verimi hesabı

Otto çevrimine göre 4 zamanlı olarak çalışacak olan kojenerasyon sistemin klasik Otto çevrimine göre çalışması durumunda, kojenerasyon sistemde olduğu gibi sıcak su, yağlama devresi soğutma ve baca gazı atık ısı kazanı geri kazanımı olmaması durumunda teorik olarak çevrimden elde edilecek güç ve ısıl verim hesaplanırsa [27]:



Şekil 4.3 : Otto Çevriminin Isıl Veriminin Sıkıştırma Oranıyla Değişimi

**Kaynak:** Çengel, Y. ve A.Boles, M., 1996: Thermodynamics: An engineering approach s.l. : Mc Graw Hill

Veriler ve Kabuller:

Egzoz gazı çıkış sıcaklığı:  $T_4 = 610 \text{ }^\circ\text{C}$

Giriş havası sıcaklığı:  $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$

Giriş havası basıncı:  $P_1 = 100 \text{ kPa} = 0.1 \text{ MPa}$

Sıkıştırma oranı:  $r = 10$

Doğalgaz özgül ısısı:  $k = 1.27$

Şekil 4.3: (a) Otto çevrimi diyagramında yer alan 1-2-3 ve 4 noktaları için:

1-2 arası izantropik sıkıştırma:

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \quad (4.6)$$

$T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 273 + 27 \rightarrow T_1 = 300 \text{ K}$

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = r = 10$$

$$T_2 = 300 \text{ K} * (10)^{0.27}$$

$$T_2 = 558.62 \text{ K}$$

$$\frac{P_2 * V_2}{T_2} = \frac{P_1 * V_1}{T_1} \quad (4.7)$$

$$P_2 = \frac{V_1}{V_2} * \frac{T_2}{T_1} * P_1$$

$$P_2 = (10) * \frac{558.62 \text{ K}}{300 \text{ K}} * 100 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 1862 \text{ kPa} = 1,862 \text{ MPa}$$

3-4 arası izantropik genişleme:

$$T_4 = 610 \text{ °C}$$

$$T_4 = 610 \text{ °C} \rightarrow 273 + 610 \rightarrow T_4 = 883 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 * (r)^{1-k} \quad (4.7)$$

$$T_3 = \frac{T_4}{(r)^{1-k}}$$

$$T_3 = \frac{883 \text{ K}}{(10)^{-0.27}}$$

$$T_3 = 1644.22 \text{ K}$$

$$P_4 = r^{1-k} * \frac{T_3}{T_1} * P_1$$

$$P_4 = (10)^{-0.27} * \frac{1644.22 \text{ K}}{300 \text{ K}} * 100 \text{ kPa}$$

$$P_4 = 294 \text{ kPa} = 0,294 \text{ MPa}$$

2-3 arası sabit hacimde ısı girişi:

$$\frac{P_2 * V_2}{T_2} = \frac{P_3 * V_3}{T_3} \quad (4.8)$$

$$P_3 = \frac{T_3}{T_2} * P_2$$

$$P_3 = \frac{1644.22 K}{558.62 K} * 1.862 MPa$$

$$P_3 = 5.48 MPa$$

Çevrime verilen ısı:

$$Q_g = C_V * (T_3 - T_2) \quad (4.9)$$

$$Q_g = 1.85 \frac{kJ}{kgK} * (1644.22 K - 558.62 K)$$

$$Q_g = 2008.36 \frac{kJ}{kg}$$

4-1 arası sabit hacimde ısı çıkışı:

$$Q_ç = C_V * (T_4 - T_1) \quad (4.10)$$

$$Q_ç = 1.85 \frac{kJ}{kgK} * (883 K - 300 K)$$

$$Q_ç = 1078.55 \frac{kJ}{kg}$$

Çevrimden elde edilebilecek net güç;

$$W_{net} = Q_g - Q_ç$$

$$W_{net} = 2008.36 \frac{kJ}{kg} - 1078.55 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{net} = 929.81 \frac{kJ}{kg}$$

Çevrimin Isıl Verimi;

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_g} \quad (4.11)$$

$$\eta_{th} = \frac{929.81 \frac{kJ}{kg}}{2008.36 \frac{kJ}{kg}} = \% 46.29$$

Yapılan hesaplama sonucunda Otto çevrimi ile çalışacak sistem için teorik olarak ısı veriminin % 46 civarında olduğu görülmektedir. Üretici değerleri ve cihaz kapasiteleri yardımı ile hesaplanan gerçek verimler 4.6 ve 4.7 bölümlerinde yer almaktadır.

Kojenerasyon sistemlerin kullanılması ile atık ısı(egzoz) ve soğutma ısıları sıcak su eldesi için geri kazanılmakta ve mekanik verimle beraber ısı veriminin dahil olması ile toplam sistem veriminde artış sağlanmaktadır.

#### **4.6 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi**

##### **4.6.1 Kojenerasyon sistemi baca gazı termodinamik analizi**

Kojenerasyon sistemi baca gazı atık ısı kazancı güç hesabı için egzoz gazının tam yük esnasında sahip olduğu giriş ve çıkış sıcaklıkları ve egzoz gazı debisinden faydalanılır. Baca gazının bacadan dış ortama sağlıklı şekilde atılabilmesi için atık ısıdan belli bir dereceye kadar faydalanılabilmektedir.

Kullanımı yapılacak olan tesis türüne ve seçilen kojenerasyon sistemin kapasitesine göre egzoz gazı debisinden ve çıkış sıcaklıklarından faydalanılarak  $Q_B$  baca gazı enerjisi tespit edilir[36].

Baca gazı atık ısı kazancı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$Q_B = m_e * c_n * \Delta T \quad (4.12)$$

$\Delta T$ : Atık ısı kazanından eşanjöre ısı transferi gerçekleştiren egzoz gazının giriş ve çıkış sıcaklıkları olmak üzere;

$$T_1 = 610 \text{ }^\circ\text{C} \text{ için egzoz gazının özgül ısısı: } 1262.1 \text{ J/kg.K}$$

$$1 \text{ j/kg.K} = 0,000238845896627 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_1 = 0.300 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C} \text{ için egzoz gazının özgül ısısı: } 1105 \text{ J/kg.K}$$

$$1 \text{ j/kg.K} = 0,000238845896627 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_2 = 0.264 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$$

$$C_n : (C_1 + C_2) / 2$$

$$C_n : ( 0.300 + 0.264 ) / 2$$

$$C_n: 0. 282 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$$

$$Q_B = 264 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,282 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * [610 \text{ }^\circ\text{C} - 120 \text{ }^\circ\text{C}]$$

$$Q_B = 36,479.52 \text{ kcal/h}$$

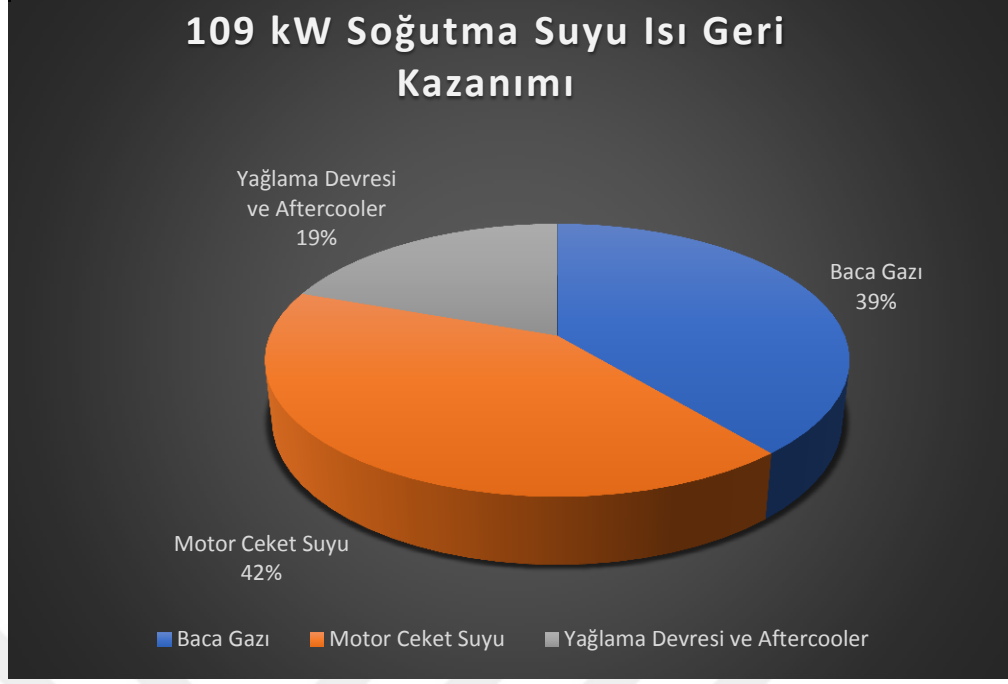
$$1 \text{ kcal/h} = 0.0011629 \text{ kW}$$

$$Q_B = 42,42 \text{ kW}$$

#### **4.6.2 Kojenerasyon sistemi soğutma suyu devresi termodinamik analizi**

Kojenerasyon sistemi silindir bloğu soğutma suyu devresinden kazanılan ceket suyu ( $Q_C$ ) 45,29 kW enerjiye sahiptir. Kazanılan bu enerji ceket suyu soğutma eşanjörüne ısı transferi ile aktarılmaktadır. Motor ceket suyu primer devresi ortalama 80 °C - 95°C aralığında çalışmaktadır. Motordan %100 verim alınabilmesi için motor ceket suyundan soğutma suyu eşanjörüne ısının transferi önem arz etmektedir.

Kojenerasyon sisteminden kapalı devre soğutma sularının toplam ısı kazanımında ceket suyu ısı geri kazanımı, yağlama devresi soğutması ısı geri kazanımı ve son soğutucu after cooler düşük sıcaklık eşanjörü ünitelerinden faydalanılır. 21.29 Kw olarak tespit edilen yağlama devresi( $Q_Y$ ) ve after cooler eşanjörden elde edilen ısı kazanımının da dahil edildiği soğutma suyuna aktarılan toplam enerji Şekil 4.3'te yüzdesel olarak verilmiştir.



**Şekil 4.4 : Kojenerasyon Sistemden Elde Edilen Toplam Isı Enerjisi**

#### **4.7 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Elektriksel ve Termodinamik Verimi**

Verim hesabının yapılması hem sistemin uygulanabilirliğinin hem de tasarrufunun ölçüğü olduğundan önem arz etmektedir. Kurulacak olan sistemden elektrik, sıcak su ya da buhar elde edilmesi ihtiyaçları göz önüne alınarak ve sistemin tasarım koşulların da yatırımın fizibilitesinin ön görülmesi için yapılan hesaplamaların hem mühendislik verimlerinin hem de EPDK şartnameleri gereği yerinde elektrik üretimi için gerekli koşullar sağlanmalıdır.

Elektriksel ve ısı veriminin doğru analiz edilmesi için kojenerasyon sistemin yakıt ihtiyacının doğalgaz alt ısı değerine göre hesaplanması gereklidir. Doğalgaz alt ısı değerine göre kojenerasyon sistem için ihtiyaç duyulan toplam doğalgaz miktarından elde edilebilecek en yüksek enerji miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

- ❖ Kojenerasyon sistem saatlik doğalgaz tüketimi (%100 kapasite): 21,27 m<sup>3</sup>/h
- ❖ Doğalgaz alt ısı değeri: 8250 kcal/Nm<sup>3</sup>

Kojenerasyon sistemin saatlik enerji girişi miktarı(doğalgaz alt ısı değeri için):

$$21,27 \text{ m}^3/\text{h} * 8250 \text{ kcal/Nm}^3 = 175.477 \text{ kcal/h} = 204,5 \text{ kW}$$

#### 4.7.1 Kojenerasyon sistemin elektriksel verimi

Seçilen kojenerasyon sistemden elde edilecek olan elektrik gücünün harcanan toplam yakıt miktarına oranı ile gaz motorlu kojenerasyon sistemin elektriksel verimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir[37]:

$$\eta_e = \frac{P}{H} \quad (4.13)$$

$$\eta_e = \frac{71 \text{ kW}}{204,5 \text{ kW}} * 100$$

$$\eta_e = 0,347 * 100 = \%34,70$$

#### 4.7.2 Kojenerasyon sistemin atık ısı kazanı verimi

Kojenerasyon sisteminden yüksek sıcaklıkta sistemi terk eden baca gazı ısıyı egzoz gazı eşanjörü ile kullanım suyu ısıtma devresine kazandırılmaktadır. Atık ısı kazancı  $Q_B$  denklem 4.12’de 42,42 kW olarak hesaplanmıştır.

Elde edilecek olan ısı kazancının toplam yakıt miktarına oranı ile atık ısı kazanı verimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\eta_b = \frac{Q_b}{H} \quad (4.14)$$

$$\eta_b = \frac{42,42 \text{ kW}}{204,5 \text{ kW}} * 100$$

$$\eta_b = 0,225 * 100 = \%20,74$$

#### 4.7.3 Kojenerasyon sistemin soğutma suyu verimi

Kojenerasyon sisteminden baca gazı atık enerjisi haricinde motor ceket suyu soğutma eşanjöründen, yağlama devresi yüksek sıcaklık eşanjöründen ve son soğutucudan elde edilen soğutma suyu ısı kazanımı  $Q_s$  değeri 66,58 kW olarak hesaplanmıştır.

Sıcak su eldesinden sağlanan verim aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$Q_s = 66.58 \text{ kW}$$

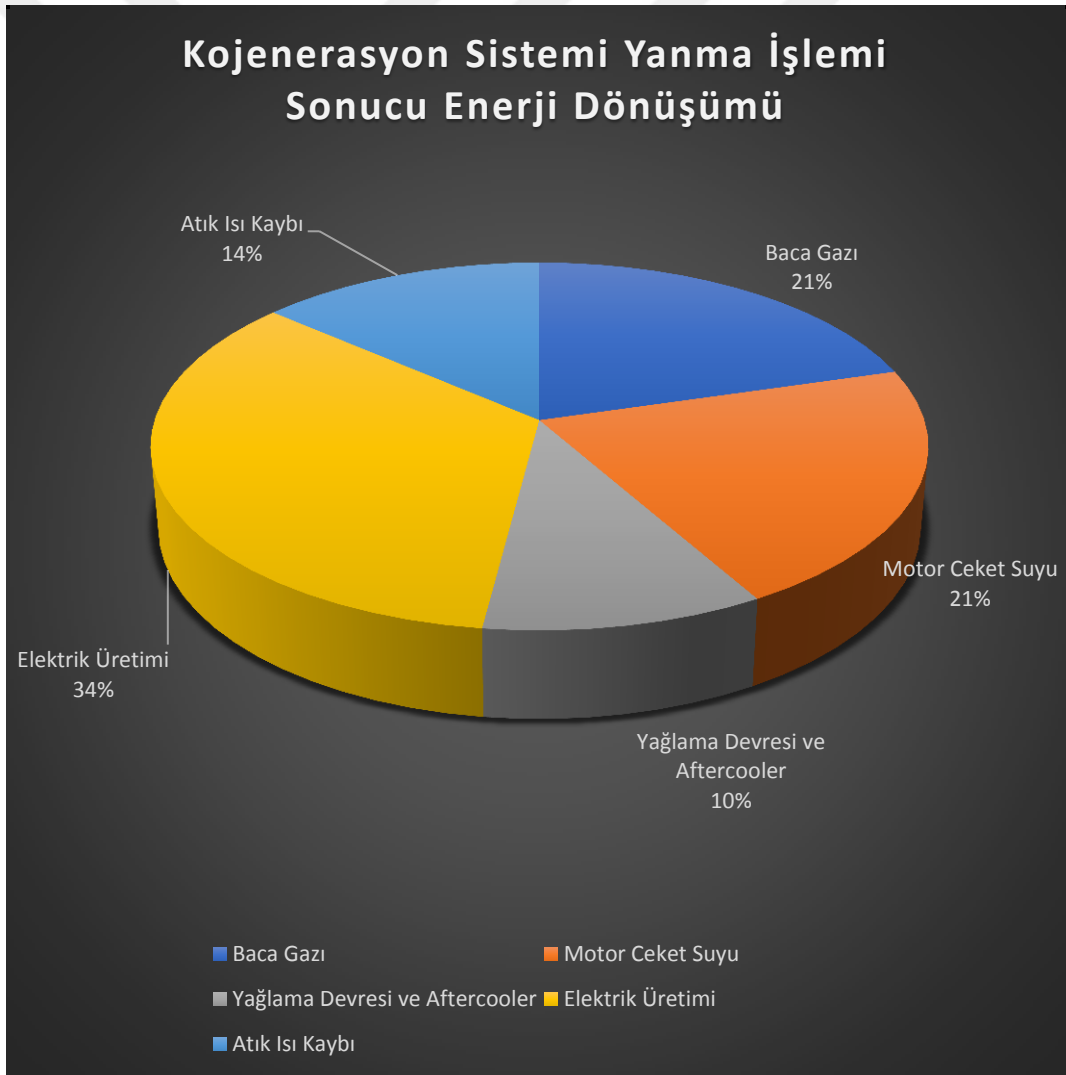
$$\eta_s = \frac{Q_s}{H} \quad (4.15)$$

$$\eta_s = \frac{66,58 \text{ kW}}{204,5 \text{ kW}} * 100$$

$$\eta_s = 0,325 * 100 = \%32,55$$

#### 4.7.4 Kojenerasyon sisteminin genel verimi

Kojenerasyon sisteminin doğalgaz motorun ceket suyu soğutulması, yağ devresinin soğutulması, aftercooler eşanjörü ve yüksek sıcaklığa sahip egzoz baca gazının atık ısı kazanında ısısının yüksek sıcaklık eşanjöründe transfer edilmesi sonrasında seçimi yapılan sistemin toplam verimi Denklem 4.16 ile hesaplanmıştır. Seçilen sisteme ait saatlik doğalgaz tüketimi 204,5 kW olduğundan, Şekil 4.4'te hazırlanan grafik ile toplam doğalgaz enerjisinden hangi ünitelere geçiş olduğu termodinamik olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 4.5 :** Kojenerasyon Sisteminde Yanma İşlemi Sonucu Enerji Dönüşümü

Kojenerasyon sistemden birim zamanda elde edilen toplam verim; sıcak su verimi, atık ısı kazanı verimi ve elektrik eldesinde kullanılan gaz motoru verimleri toplamı ile hesaplanabilir[36].

Denklem 4.13 - 4.14 ve 4.15 değerlerinden faydalanılırsa kojenerasyon sistemin toplam verimi;

$$\eta_{\text{chp}} = \eta_e + \eta_b + \eta_s \quad (4.16)$$

$$\eta_{\text{chp}} = \eta_e + \eta_b + \eta_s$$

$$\eta_e = \%34,70$$

$$\eta_b = \%20,74$$

$$\eta_s = \%32,55$$

$$\eta_{\text{chp}} = \%34,70 + \%20,74 + \%32,55$$

$$\eta_{\text{chp}} = \%88,00$$

#### 4.8 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminin Birincil Enerji Kaynağı Tasarrufu

Kojenerasyon sistemlerin faydalı elektrik ve ısı üretimlerinin birincil enerji kaynağında en az yüzde on ve üzeri kazanım sağlayabilen sistemler verimliliği yüksek kojenerasyon sistem olarak nitelendirilmiştir(Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2014). Bu nedenle sistemin termoekonomik analizi yapılırken birincil enerji kaynağı tasarruf oranının dikkate alınması gerekmektedir.

$$\text{BEKT} = ( 1 - 1/((\eta_h/\eta_{h\text{-ref}}) + (\eta_e/\eta_{e\text{-ref-2}})) ) \times 100 \quad (4.17)$$

$$\eta_h = \frac{\text{Kojenerasyon Sisteminin Kullanılabilir Isı Gücü (kW)}}{\text{Kojenerasyon Yakıt Tüketimi (kW)}}$$

$$\eta_h = \frac{109 \text{ kW}}{204,5 \text{ kW}}$$

$$\eta_h = \%53,3$$

$$\eta_e = \frac{\text{Kojenerasyon Net Elektrik Üretim Gücü (kW)}}{\text{Kojenerasyon Yakıt Tüketimi (kW)}}$$

$$\eta_e = \frac{71 \text{ kW}}{204,5 \text{ kW}}$$

$$\eta_e = \%34,70$$

$\eta_{e-ref-2} = \eta_{e-ref} \times (\text{Kojen Sistemden Elde Edilen Tesiste Tüketilen Elektriğin Üretim İçindeki Payı} \times C_y + \text{Şebekeye Verilen Elektriğin Üretimdeki Payı} \times C_s)$

$\eta_{h-ref}$ ,  $\eta_{e-ref}$ ,  $C_y$  ve  $C_s$  değerleri Ek-F'den alınmıştır.

$$\eta_{e-ref-2} = \%52,5 \times (\%100 \times 0,945)$$

$$\eta_{e-ref-2} = \% 49,60$$

Hesaplanan değerler BEKT formulasyonunda yerlerine konulursa;

$$\text{BEKT} = (1 - 1/((0,533 / 0,90) + (0,347 / 0,496))) \times 100$$

$$\text{BEKT} = \% 22,60$$

Birincil enerji kaynağı tasarrufu değeri ülkemizde belirlenmiş olan yasal sınırlamalar gereği kojenerasyon sistemin yüksek verimli sayılması için gerekli olan %10 sınır değerini üzerindedir[38].

#### 4.9 Seçilen Kojenerasyon Sistemin Özellikleri

Motor Üretici	: MAN
Motor Tipi	: 4 zamanlı, su soğutmalı, intercooler'li
Elektriksel Güç	: 71 kW <sub>e</sub>
Isıl Güç	: 109 kW
Yakıt Tüketimi	: 204.5 kW
Elektriksel Verim	: %34.70 ±5
Isıl Verim	: % 53.30 ±7
Sistem Verimi	: % 88.00
Devir	: 1500 d/dk
Silindir Sayısı	: 6
Egzoz Gazı Hacmi	: 272 kg/h

Egzoz Gazı Giriş Sıcaklığı	: 610 °C
Egzoz Gazı Çıkış Sıcaklığı	: 120 °C
Egzoz sistemi	: Su soğutmalı manifold
Max. Çalışma Basıncı	:10 Bar
Soğ. Suyu Çalışma Aralığı	: 60 °C – 75 °C
Standart Yağlama Miktarı	: 24 lt. – 34 lt.
Ek Taze Yağ Deposu	: 90 lt.
Gaz Bağlantı Basıncı	: 20 Bar – 50 Bar
Gürültü Emisyonu	: 72 dB
Boyutları	: 3600 mm x 914 mm x 1727 mm
Koruma Sınıfı	: IP23
Çalışma Ağırlığı	: 2300 kg.
Motor Soğutucu Sıvı Özelliği	: %62 Su ( Sertlik Max. 20 dH ) + %38 Antifriz
Alternatör Özellikleri	
Çıkış Gücü	: 100 kVa
Frekans	: 50 Hz
Gerilim	: 400 / 230
Nominal Akım	: 127 A

## 5. AMORTİSMAN SÜRESİ HESABI VE SİSTEM PROJELENDİRMESİ

### 5.1 Enerji Sarfiyatlarının Güncel Maliyeti

Sistemin seçiminin yapılmasının ardından enerji üretimi ile tesisin elde edeceği ekonomik kazanç için güncel enerji maliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik ve doğalgaz maliyetleri yetkili kuruluşlarca denetlenmektedir.

#### 5.1.1 Elektrik tüketimi için birim fiyat

İstanbul ilinde yer alan ve otel olarak kullanılan tesis 24 saat çalışmaktadır. Elektrik dağıtım şirketi verilerine göre tesis ticarethane sınıfı olarak anılmaktadır.

Vergiler ve diğer kesintiler haricinde 11.10.2021 tarihi itibari ile birim elektriğin fiyatının 1 kWh için 0,9421 TL olduğu görülmektedir. İşletmede elektrik tüketimi birim saate ilave edilmesi gereken vergi ve fonlar aşağıda listelenmiştir[39].

- TRT payı : kWh birim tüketim başına 0.0134 TL
- Enerji Fonu : kWh birim tüketim başına 0.0047 TL
- Elekt. Ver. Hvgz. Tük. Vergisi : 0.0335 TL
- Katma Değer Vergisi : 0.1789 TL

Listelenen vergi ve fon birim fiyatları elektrik birim fiyatına dahil edilerek kWh başına ödenmesi gereken toplam birim maliyet hesabı yapılırsa:

Birim Maliyet = 1kWh elektriğin birim fiyatı(TL/kWh) + Vergi ve Fonlar(TL/kWh)

Birim Maliyet = 0,9421 TL/kWh + 0.0134 TL/kWh + 0.0047 TL/kWh + 0.0335 TL/kWh + 0.1789 TL/kWh

Birim Maliyet = 0.9937 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.

#### 5.1.2 Doğalgaz tüketimi için birim fiyat

İstanbul ilinde yer alan tesisin İGDAŞ tarafından alınan doğalgaz hizmeti karşılığında 01/11/2021 tarihi itibari ile güncel doğalgaz birim maliyetleri aşağıda listelenmiş ve hesaplamalarda ilgili birim fiyatlardan faydalanılmıştır[40].

Birim enerji maliyeti (Vergisiz) → TL / kWh : 0.18033 TL

Birim enerji maliyeti (% 18 KDV dahil) → TL / kWh	: 0.21279 TL
Hacim birim maliyeti (Vergisiz) → TL / m <sup>3</sup>	: 1.91872 TL
Hacim birim maliyeti (% 18 KDV dahil) → TL / m <sup>3</sup>	: 2.26409 TL

## 5.2 Bakım Onarım Genel Giderleri

### 5.2.1 Motor yağlama tüketimi hesabı

İşletme içerisinde kojenerasyon sistemin devreye alınması ile beraber motor devresinin sağlıklı çalışabilmesi için yağlama devresi yağının belli periyotlarda değişimi gereklidir. Yağın viskozitesinin değişimine bağlı olarak ortalama 1000 saatlik çalışmada sistemde yer alan yağın değişmesi zorunludur; ancak çalışmada seçimi yapılan kojenerasyon sistemin yağlama devresi yağ hacmi 34 litre olduğundan yağ değişim periyodu aylık çalışma saati olarak öngörülen 690 saat üzerinden hesaplanmıştır.

Kojenerasyon sistemin sürekli çalışması durumunda saatlik yağ kaybı gerçekleşmektedir. Seçilen cihazın yedek yağ depolama tankı hacmi 90 litredir. Böylece düzenli çalışma esnasında ihtiyaç duyulması halinde sistem içerisinde yağ ihtiyacı karşılanmaktadır.

Sistemin saatlik ortalama yağ tüketimi: 0,032 lt/saat

Aylık yağ tüketimi:

690 saat \* 0,032 lt/saat = 22 lt olarak hesaplanmıştır.

Aylık yağ değişimi 24 litre olduğu bilindiğinden yağ tüketiminin dahil edilmesi ile yağlama gideri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

22 lt + 24 lt = 46 litre/ay

2021 yılı sonu itibari ile yağlama için ihtiyaç duyulan yağ fiyatı ortalama 50 TL/lt. olarak hesaba dahil edildiğinde;

Aylık Yağ Değişim Tutarı = 46 lt/ay \* 50 TL/lt = 2300 TL/ay olarak hesaplanır.

### 5.2.2 Kojenerasyon sistem iç elektrik tüketimi

Kojenerasyon sistemin çalışması esnasında şebekeden temin edilmesi gereken ve sistemde yer alan soğutma suyu pompası, fan, akü şarj cihazı vb. dahili ünitelerin iç tüketim giderleri ortalama olarak sabit olmakla beraber seçilen sistemde 1,0 kWh enerji sarfiyatı olmaktadır.

Aylık sistem iç elektrik tüketim maliyeti = Elektrik Birim Fiyatı \* Saatlik Enerji Sarfiyatı \* Aylık Çalışma Saati

Aylık sistem iç elektrik tüketim maliyeti = 0.9937 TL/kWh \* 1,0 kWh \* 690 = 685.65 TL/ay

Çizelge 5.2’de yapılan hesaplamalarda sistemin iç enerji tüketimi aylık 690 saat ortalama çalışma koşulları için sabit olarak 685.65 TL olarak hesaplanmıştır ve toplam net kar hesabında gider olarak hesaplara dahil edilmiştir.

### 5.2.3 Parça değişimi ve genel periyodik bakım gideri

Kojenerasyon sistemin çalışma ömrünün uzaması ve yatırım maliyetlerinin karşılanması ardından yatırımcının kar elde etmesi açısından periyodik bakım önem arz etmektedir. Zamanında fark edilmeyen potansiyel arızalar ve değişimi yapılmayan ekipmanlar hem bakım saatlerinin uzayarak şebekeden daha fazla elektrik ve doğalgaz tüketilmesine hem de bakım onarım giderlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu kapsamda çalışma sürecinde periyodik olarak kojenerasyon sistemin yağ filtresi, yakıt filtresi, hava filtresi ve antifriz değişimleri yapılacaktır. Kullanım ömrü tamamlanan parçaların değişim-onarımlarının yapılması ve yoğun çalışma nedeni ile pistonların sıkıştırma oranlarının ve silindirlerin hacimlerinin iyileştirilmesi amacı ile rektifiye işleminde yapılması gerekliliği ön görülmüş, bu kapsamda saatlik ortalama 7.50 TL/saat bakım gideri olarak kabul edilmiştir.

Aylık bakım onarım gideri 7.50 TL/saat \* 690 saat/ay = 4.830 TL/ay olarak hesaplara dahil edilmiştir.

### 5.3 Sistem Elektrik Enerjisi Kazancı Analizi

Otel için seçimi yapılan kojenerasyon sistemin tüketimin üç farklı zamanına göre analiz edildiği Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere kojenerasyon sistem ile elektrik elde edilmesi durumunda yıllık enerji tasarrufu her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.1 : Kojenerasyon Sistem Kurulması Sonrası Elektrik Enerjisi Üretim-  
Tüketim ve Genel Kazanç Hesabı**

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
Otel Elektrik Tüketimi Gündüz Aralığı (kWh/ay)	22,142.21	21,834.28	22,859.12	23,556.77	24,177.45	24,523.87	25,370.69	25,086.81	24,350.66	23,431.68	22,796.57	23,109.31
06:00-17:00 Saatleri Arasında Kojenerasyon Sistem Olmadan Harcanan Elektrik Sarfiyatı (TL)	22,002.718 TL	21,696.726 TL	22,715.105 TL	23,408.367 TL	24,025.132 TL	24,369.372 TL	25,210.85 TL	24,928.764 TL	24,197.252 TL	23,284.058 TL	22,652.95 TL	22,963.723 TL
Kojenerasyon Sistemde Üretilebilecek Max Elektrik Üretimi (kWh) (316 Saat)	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00
Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik İhtiyacı (kWh)	22,142.21	21,834.28	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00	22,436.00
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji (kWh)	0.00	0.00	-423.12	-1,120.77	-1,741.45	-2,087.87	-2,934.69	-2,650.81	-1,914.66	-995.68	-360.57	-673.31
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji Maliyeti (TL)	0.00 TL	0.00 TL	-420.452 TL	-1,113.714 TL	-1,730.479 TL	-2,074.719 TL	-2,916.197 TL	-2,634.11 TL	-1,902.599 TL	-989.405 TL	-358.297 TL	-669.07 TL
Otel Elektrik Tüketimi Paant Aralığı (kWh/ay)	10,835.55	10,684.86	11,186.38	11,527.78	11,831.52	12,001.04	12,415.44	12,276.52	11,916.28	11,466.57	11,155.77	11,308.81
17:00-22:00 Saatleri Arasında Kojenerasyon Sistem Olmadan Harcanan Elektrik Sarfiyatı (TL)	10,767.287 TL	10,617.547 TL	11,115.902 TL	11,455.158 TL	11,756.979 TL	11,925.438 TL	12,337.224 TL	12,199.182 TL	11,841.208 TL	11,394.326 TL	11,085.486 TL	11,237.567 TL
Kojenerasyon Sistemde Üretilebilecek Max Elektrik Üretimi (kWh) (143 Saat)	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00
Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik İhtiyacı (kWh)	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00	10,153.00
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji (kWh)	-682.55	-531.86	-1,033.38	-1,374.78	-1,678.52	-1,848.04	-2,262.44	-2,123.52	-1,763.28	-1,313.57	-1,002.77	-1,155.81
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji Maliyeti (TL)	-678.251 TL	-528.511 TL	-1,026.866 TL	-1,366.122 TL	-1,667.943 TL	-1,836.402 TL	-2,248.188 TL	-2,110.146 TL	-1,752.172 TL	-1,305.29 TL	-996.45 TL	-1,148.53 TL
Otel Elektrik Tüketimi Gece Aralığı (kWh/ay)	14,133.33	13,936.78	14,590.93	15,036.24	15,432.41	15,653.54	16,194.05	16,012.86	15,542.98	14,956.39	14,551.00	14,750.62
22:00-06:00 Saatleri Arasında Kojenerasyon Sistem Olmadan Harcanan Elektrik Sarfiyatı (TL)	14,044.288 TL	13,848.974 TL	14,499.003 TL	14,941.511 TL	15,335.191 TL	15,554.919 TL	16,092.032 TL	15,911.977 TL	15,445.055 TL	14,862.165 TL	14,459.33 TL	14,657.696 TL
Kojenerasyon Sistemde Üretilebilecek Max Elektrik Üretimi (kWh) (231 Saat)	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00	16,401.00
Kojenerasyon Sistemden Karşılancak Max Elektrik İhtiyacı (kWh)	14,133.33	13,936.78	14,590.93	15,036.24	15,432.41	15,653.54	16,194.05	16,012.86	15,542.98	14,956.39	14,551.00	14,750.62
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Şebekeden Alınması Gereken Hlave Enerji Maliyeti (TL)	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL	0.00 TL
Her Ay Bakım İçin Şebekeden Alınacak Enerji Maliyeti (Yıllık Ortalama)	-915.313 TL	-902.584 TL	-944.948 TL	-973.788 TL	-999.445 TL	-1,013.766 TL	-1,048.771 TL	-1,037.037 TL	-1,006.606 TL	-968.617 TL	-942.363 TL	-955.291 TL
<b>Aylık Net Elektrik Tasarrufu</b>	45,220.729 TL	44,732.152 TL	45,937.744 TL	46,351.412 TL	46,719.434 TL	46,924.842 TL	47,426.95 TL	47,258.63 TL	46,822.138 TL	46,277.237 TL	45,900.656 TL	46,086.094 TL

Bölüm 4.6.1’de yapılan birim elektrik tüketimi maliyet hesabından faydalanılarak enerji tasarruf oranının maliyeti hesaplanmış, tesise yapılan yatırım geri kazanım hesabında Çizelge 5.1’den faydalanılmıştır.

#### 5.4 Sistem Isı Enerjisi Kazanımı Analizi ve Net Aylık Kazanç Hesabı

Çizelge 5.1’in devamı olarak kabul edilebilecek olan Çizelge 5.2’de kojenerasyon sistemden ısı enerjisi geri kazanımı yapılarak bu enerjinin boyler ön ısıtma işleminde kullanılması yöntemi ile sağlanacak olan tasarruf miktarı hesaplanmıştır.

Bölüm 4.6.2 de yer alan doğalgaz tüketimi için birim fiyat hesabından faydalanılarak sisteme dahil edilen ısı enerjisinin kWh ve m<sup>3</sup>/h cinsinden yakıt kazanım miktarlarının maliyeti hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.2 : Kojenerasyon Sistem Kurulması Sonrası Sıcak Su Enerjisi Kazanımı ve Sistemin Toplam Yıllık Kazanç Hesabı**

Sıcak Su İçin İhtiyaç Duyulan Enerji (kWh)	122.914.61	117.745.19	112.575.78	105.056.63	97.537.48	92.368.06	86.728.70	84.378.97	95.751.68	106.635.65	116.340.05	131.373.65
Sıcak Su İçin Harcanan Doğalgaz Miktarı (m <sup>3</sup> /h)	11.552.14	11.066.29	10.580.44	9.873.76	9.167.07	8.681.22	8.151.20	7.930.36	8.999.23	10.022.16	10.934.23	10.077.50
Harcanan Doğalgaz İçin Aylık Maliyet	26.155.00 TL	25.055.00 TL	23.955.00 TL	22.355.00 TL	20.755.00 TL	19.655.00 TL	18.455.00 TL	17.955.00 TL	20.375.00 TL	22.691.00 TL	24.756.00 TL	27.955.00 TL
Kojenerasyon Tarafından Karşılanabilecek Max İstima Enerjisi (kWh)	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00	75.210.00
Kojenerasyon Sistemden İstima Enerjisi ile Harcanmayacak Doğalgaz Maliyeti (TL)	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL	16.003.936 TL
Şebekeden Alınması Gereken ve Kazanla Desteklenecek İlave Doğalgaz Miktarı (kWh)	47.704.61	42.535.19	37.365.78	29.846.63	22.327.48	17.158.06	11.518.70	9.168.97	20.541.68	31.425.65	41.130.05	56.163.65
Şebekeden Alınması Gereken ve Kazanla Desteklenecek İlave Doğalgaz Maliyeti (TL)	10.151.064 TL	9.051.064 TL	7.951.064 TL	6.351.064 TL	4.751.064 TL	3.651.064 TL	2.451.064 TL	1.951.064 TL	4.371.064 TL	6.687.064 TL	8.752.064 TL	11.951.064 TL
Her Ay Bakım İçin Şebekeden Alınacak Doğalgaz Enerji Maliyeti (TL)	-737.488 TL	-706.471 TL	-675.455 TL	-630.34 TL	-585.225 TL	-554.208 TL	-520.372 TL	-506.274 TL	-574.51 TL	-639.814 TL	-698.04 TL	-788.242 TL
<b>Kojenerasyon Sistem ile Elde Edilecek Isı Enerjisi Kazancı (TL)</b>	<b>15.266.448 TL</b>	<b>15.297.465 TL</b>	<b>15.328.481 TL</b>	<b>15.373.596 TL</b>	<b>15.418.711 TL</b>	<b>15.449.728 TL</b>	<b>15.483.564 TL</b>	<b>15.497.662 TL</b>	<b>15.429.426 TL</b>	<b>15.364.122 TL</b>	<b>15.305.896 TL</b>	<b>15.215.694 TL</b>
<b>Kojenerasyon Sistemi Elektrik ve Sıcak Su Üretiminden Sağlanacak Toplam Kazanç (TL)</b>	<b>60.323.004 TL</b>	<b>59.887.518 TL</b>	<b>60.810.117 TL</b>	<b>61.268.90 TL</b>	<b>61.682.037 TL</b>	<b>61.918.461 TL</b>	<b>62.406.60 TL</b>	<b>62.300.183 TL</b>	<b>61.795.456 TL</b>	<b>61.185.251 TL</b>	<b>60.750.444 TL</b>	<b>60.845.68 TL</b>
<b>Kojenerasyon Sistemi Yakıt Sarfıyatı Gideri (Aylık 690 Saat Çalışma)</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>	<b>30.025.73 TL</b>
<b>Kojenerasyon Sistemi Yağlama Sistemi Aylık Yağ Değişimi Tutarı</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>	<b>2.300.00 TL</b>
<b>Kojenerasyon Sistem Elektrik Tüketimi</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>	<b>685.65 TL</b>
<b>Parça Değişimleri ve Genel Periyodik Bakım Bedeli</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>	<b>5.175.00 TL</b>
<b>Kojenerasyon Sistemin Elektrik Üretimi ve Sıcak Su Elde Edilmesi ile Sağlanan ve Giderleri Hesaplanan Aylık Net Kazancı (TL)</b>	<b>22.136.624 TL</b>	<b>21.701.138 TL</b>	<b>22.623.737 TL</b>	<b>23.082.52 TL</b>	<b>23.495.657 TL</b>	<b>23.732.081 TL</b>	<b>24.220.22 TL</b>	<b>24.113.803 TL</b>	<b>23.609.076 TL</b>	<b>22.998.871 TL</b>	<b>22.564.064 TL</b>	<b>22.659.30 TL</b>

Kojenerasyon sisteminin aylık olarak detaylı tasarruf miktarının hesaplanması için aylık net elektrik tasarrufu miktarı ve sıcak su üretiminden sağlanacak toplam kazanç amortisman süresi için gelir olarak; kojenerasyon sistemin çalışma esnasında yakıt tüketimi maliyeti, aylık yağ değişim maliyeti, iç elektrik tüketimi ve periyodik bakım giderleri ise gider olarak hesaba dahil edilmiştir.

## 5.5 Amortisman Süresinin Hesabı

Termodinamik olarak analizi yapılan sistemin ekonomik uygulanabilirliğinin hesabı ve analizi sistemin ilk yatırım maliyetinin kazanımının görülmesi açısından önemlidir.

Amortisman süresi hesabında net olarak elde edilecek kazançlar ile sisteme yapılacak cihaz maliyeti, işletme yatırımları vb. giderlerin karşılaştırılması ile mühendislik olarak verimli, ekonomik olarak uygulanabilir bir sistem çalışması sunulacaktır.

Amortisman Süresi Hesabı için seçimi yapılan kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyeti 100.000 USD olarak hesaba dahil edilmiştir. Sistemin kurulumu aşamasında mekanik tesisat ve havalandırma işleri, elektrik pano tasarımları ve dönüştürücü uygulamaları, kojenerasyon sistemin yakıt besleme hattı için kurulacak doğalgaz grubu proje bedeli ilk yatırım maliyetine 30.000 USD olarak dahil edilmiştir. 01.11.2021 tarihi itibari ile TCMB güncel döviz kuru 1 USD = 9.528 TL'dir[41].

Amortisman Süresi = İlk Yatırım Maliyeti / [(Aylık Net Elektrik Tasarrufu + Aylık Isı Enerjisi Kazancı) - (Aylık Yakıt Sarfıyatı + Aylık Yağ Değişim Tutarı + Kojenerasyon Sistem İç Elektrik Tüketimi + Periyodik Bakım Giderleri)]

**Çizelge 5.3 : Kojenerasyon Sistem Amortisman Süresi Hesabı**

Kojenerasyon Sistem Cihaz Yatırım Maliyeti (USD)	100,000.00	Kojenerasyon Sistem Cihaz Yatırım Maliyeti (TL)	952,870.00 TL
Kojenerasyon Sistem İşletme Yatırım Maliyetleri (USD)	40,000.00	Kojenerasyon Sistem Cihaz Yatırım Maliyeti (TL)	381,148.00 TL
Kojenerasyon Sistem Toplam İlk Yatırım Maliyetleri (USD)	140,000.00	Kojenerasyon Sistem Cihaz Yatırım Maliyeti (TL)	1,334,018.00 TL
Kojenerasyon Sistem Toplam Yıllık Net Kazanç (USD)	29,579.30	Kojenerasyon Sistem Toplam Yıllık Net Kazanç (TL)	281,852.251 TL
Kojenerasyon Sistem Amortisman Süresi (YIL)	4.73		

Çizelge 5.3'te görüleceği üzere yatırım maliyetinin dahil edilmesi ile turistik tesise kurulması planlanan ve seçimi yapılan kojenerasyon sistemin, elektromekanik kurulum projelerinin ve diğer sarf malzemelerin amortisman süresi hesaplanmıştır.

Yatırım maliyeti hesabında önemli etken olan güncel döviz kurlarının 2021 yılında artmış olmasına rağmen sistemin tam verimle çalışması durumunda Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere mikrokojenerasyon olarak anılan sistemin amortisman süresinin 4.73 yıl olacağı hesaplanmış ve sistem analizi gerçekleştirilmiştir.

## 5.6 Uygulamanın 3 Boyutlu Projelendirilmesi RevitMep

Mekanik uygulamaların proje aşamasında mühendislik alanında en çok kullanılan yöntem 2D modelleme ile mimari yapının özellikleri gözetilerek çizimler yapılmasıdır. Zaman olarak daha kısa sürede imalat yapılacak alanlarda cihaz yerleşimleri yapılmaktadır. Ancak kurulum yapılacak ve işletmeye alınacak olan tesisin inşaat esnasında ya da kurulum zamanında doğabilecek olan eksiklikler zaman kaybına yol açmaktadır. Aynı zamanda yatırımcının mevcut işletmesinde yapmayı planladığı sistemin ayrıntılı olarak ele alınması 2D modelleme ile mümkün olmamaktadır.



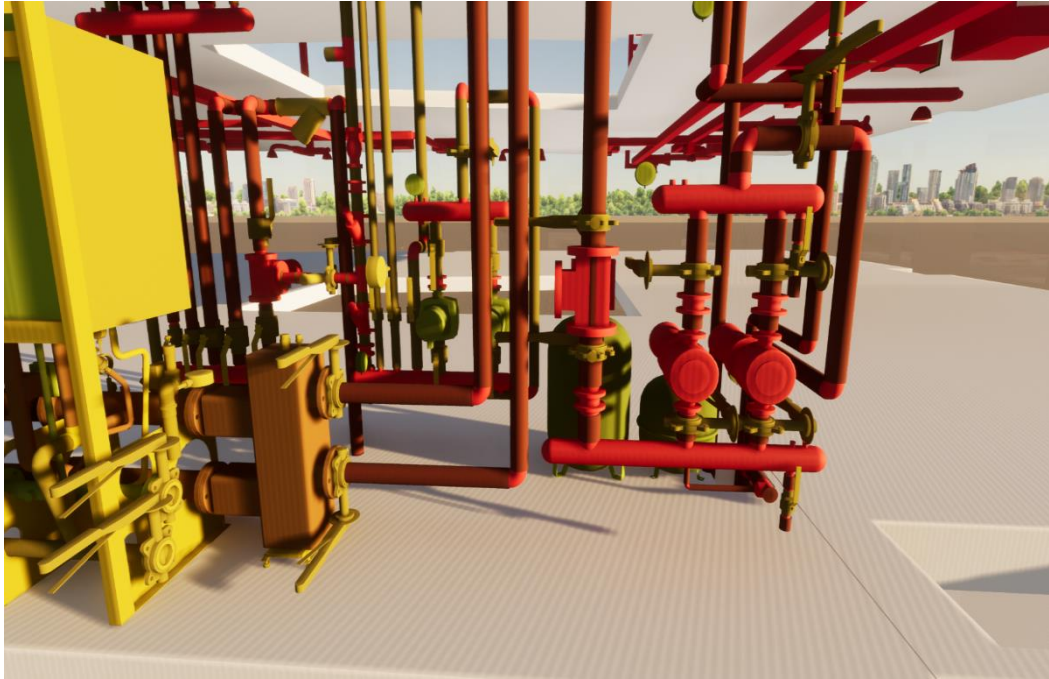
**Şekil 5.1 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kesit Görünüşü ve Mekanik Alanların Yerleşimleri

Şekil 5.1’de kesit görünüşü yer alan 3D RevitMep yapı modeli ile tüm disiplinlerin ortak olarak analiz edebileceği, yerleşimlerin yaklaşık ölçülerle değil birebir ebatlandırılmış hali ile fizibilite çalışmasına dahil edilmiştir. Bu kapsamda yapılacak olan yatırımın çevresel, ekonomik geri dönüş ve etkileri ile beraber sistem kurulumunun yapılacağı alanların yerleşimleri ilgili tesiste projelendirilmiştir.



**Şekil 5.2 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kojenerasyon Yerleşimi Çatı Kat Planı

Şekil 5.2’de 71 kWe kapasiteli tesis için kurulması uygun bulunan paket tip kojenerasyon sistemin 3D modellemesi yapılmıştır. Mikrokojenerasyon sisteme girecek olan soğutma suyu yüksek sıcaklıklı eşanjörler ve atık ısı kazanından alacağı ısıyı soğutma suyuna aktararak görselde görüldüğü üzere otomasyon sistemi ile giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları takip edilebilecektir.



**Şekil 5.3 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kazan Dairesi ve Kolektör Yerleşimleri 1. Kat Planı

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile işletme faaliyette olan kaskad kazan sistemin ve mevcut kazan dairelerinin yerleşimleri 3D olarak modellenmiştir. Mevcut yerleşimlerin yapılması ile sistem kurulumu esnasında gerekli olan saha uygulama sürelerinden tasarruf edilecek olup, kullanılacak olan ekipmanların 3D olarak modellenmesi sayesinde malzeme keşfinde doğru şekilde ve daha pratik olarak tespit edilme imkanı bulunmaktadır.



**Şekil 5. 4:** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kazan Dairesi ve Kolektör Yerleşimleri Kesit Görünüşü

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile sistem kurulumu öncesi otelin aylık elektrik tüketimleri tespit edilmiş, 71 kW güce sahip sistemin seçilmesi safhasında çalışma saatleri gündüz, puant ve gece olmak üzere pay edilerek en az verim kaybı ile çalışacak sistem seçilmiştir. Yapılan hesaplamalarda sistemden elektrik elde edilmesi ve motor, ceket suyu, atık ısı kazanı eşanjörleri ısı geri kazanımı ile sıcak su elde edilmesi durumunda kar edilecek tutar yıllık 281,852.25 TL olarak hesaplanmıştır. Elde edilen net kazanç hesabı sonrası sistemin ekonomik uygulanabilirliğinin tespiti için aylık 690 saatlik çalışma süresi boyunca tüketilecek doğalgaz maliyeti, iç enerji tüketimi, aylık yağ değişim gideri ve aylık periyodik bakım gideri hesaplamalara dahil edilmiştir.

BEKT değeri literatürde ve şartnamelerde %10 ve üzerinde yer alan değerler için kabul edilmekle beraber tez çalışması kapsamında otel için seçimi yapılan 71 kW güce sahip sistemin %22.60 oranı ile uygun olduğu ispatlanmıştır. Sonuç olarak aylık 690 saatlik sürekli çalışma koşullarına göre termoekonomik analizi yapılan ve turistik bir tesiste çalışacak olan kojenerasyon sistemin yaklaşık 5 yıl içerisinde kendini amorte ettiği ve yatırımcıya kazanç sağladığı tespit edilmiştir.

Termoekonomik analiz çalışması kapsamında güncel mühendislik gelişmeleri esas alınarak sistemin kurulumu öncesi teknik ve ekonomik yeterliliği yanında yerleşimlerinin 3D olarak tasarlanması ile işletmede kurulacak olan sistemin 3D yerleşimleri, RevitMEP yardımı ile projelendirilmiştir.

Tez çalışması için seçilen sisteme yapılacak önerilerden en önemlisi işletmenin soğutma ihtiyacının atık ısı ile sağlanabilmesi olanağının olmasıdır. Atık ısıdan faydalanılması durumunda soğutma işlemi absorpsiyonlu chiller ile desteklenebilecektir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde güneş enerjisi, jeotermal enerji kaynakları, gaz motorlu-türbinli ya da buharlı santrallerin 100 °C - 200 °C sıcaklığında olan atık ısılarından faydalanılabilmektedir. Absorpsiyonlu sistemler buhar sıkıştırılmalı sistemlerle karşılaştırıldığında kompresöre ihtiyaç duyulmamakta ve çevrimin çalışmasında elektrik enerjisi yerine ısı enerjisi kullanılmaktadır.

Sistemin ekonomik ve faydalı olması için işletmenin doğru analiz edilmesi ve mutlaka pahalı olmayan bir ısı kaynağı gereklidir(Çengel ve Boles,1994).

İstanbul ilinde yer alan ve yer konusunda uygulama zorluğu bulunan otel için yapılabilecek diğer öneri yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılma imkanındır. Özellikle güneş enerjisi başta olmak üzere jeotermal enerji vb. enerjilerden faydalanılarak sistem enerji ihtitacı büyük ölçüde desteklenebilecektir. Klasik sistemlerde yer alan tek serpantinli boyler ile kazan sistemden kapalı devre su ısıtılması sistemine ek olarak, çift serpantinli boyler tercih edilerek ve güneş enerjisi panelleri projelendirilerek sıcak su ihtiyacının büyük kısmı güneş enerjisi ile kapalı devre kolektör-boyler hattından sağlanabilecektir. İhtiyaç duyulan kalan enerji sistemde yer alan otomasyon sensörleri ile tespit edilerek kazan ile desteklenebilecektir. Tez çalışması yapılan alanda uygun yer sıkıntısı olduğundan bu yöntemden faydalanılamamıştır.

Kullanılan yakıt türünün doğalgaz olduğu çalışmada diğer bir öneri biyogaz ya da çöplük gazı kullanımı olmaktadır. Atık tesisi ya da arıtma tesisi kurulması ile özellikle Akdeniz bölgesi gibi turizmin yoğun olduğu bölgelerde kojenerasyon sistem yakıt fiyatının daha ekonomik olması hem çevresel olarak faydalı hem ekonomik olarak daha kısa sürede amortisman sağlayabilecektir.

İklimlendirme sistemi olarak iki borulu ısıtma-soğutma modunda çalışan VRF sistem hava soğutmalıdır. Tez çalışmasında VRF cihaz adetleri ve kapasiteler tablosunda görüleceği üzere tüketilen elektriğin büyük kısmını merkezi klima sistemleri dış üniteleri harcamaktadır. Literatürde ve endüstriyel uygulamalarda su soğutmalı VRF sistemlerin uygulanması örnekleri mevcut olup, verimliliğin artırılması amacı ile bu yönde çalışmalar yapılması da mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] Işık, E., & İnallı, M. (2005). Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, 46(550), 22-29.
- [2] Çalapkulu, S. R. (2020). Kojenerasyon Sistemleri ve Trijenerasyon Sist. *Mühendis ve Makine*, 53-62.
- [3] Özdemir, Ö., 2010, “Kojenerasyonun Enerji Verimliliğindeki Yeri”, Türkiye Kojenerasyon ve Temiz Enerji Teknolojileri Derneği.
- [4] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Türkiye Elektrik Üretim -İletim 2019 Yılı İstatistikleri <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> , (24.11.2020)
- [5] **Statistical Review of World Energy**, 2020 BP Company.  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (24.11.2020)
- [6] **Türkiye Kojenerasyon Derneği**, “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planında Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma” ,  
<http://kojenturk.org/uploads/dokumanlar/EVEP-Kojen%20Maddeleri-Detayli.pdf> (24.11.2020)
- [7] Üstün, A. K., Apaydın, M., Filik, Ü. B., & Kurban, M. (2009). Kyoto Protokolü Kapsamında Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikalarına Genel Bir Bakış. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 23-28.
- [8] Zor, K., Teke, A., Çelik, Ö., & Latran, M. B. (2015). Türkiye’de Gaz Motorlu Kojenerasyon ve Trijenerasyon Santralleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, 21-24.
- [9] Karaali, R., & Öztürk, İ. T. (2007). Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi. *Mühendis ve Makina*, 48(575), 9-13.

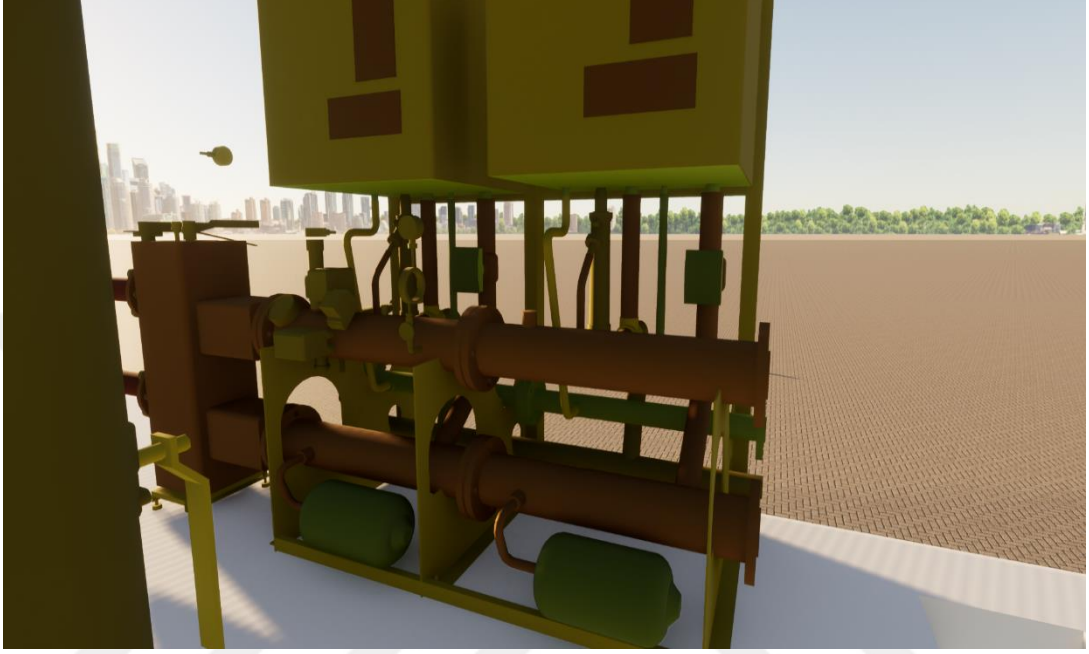
- [10] **Abuşoğlu, A., & Kanoğlu, M.** (2009). Dizel Motorlu Kojenerasyon Sistemlerinin Emisyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29(1), 45-53.
- [11] **Karaali, R.** (2010). Kojenerasyon Tesislerinin Termoekonomik Optimizasyonu.
- [12] **İnalı, M., Yücel, H. L., & Işık, E.** (2002). Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği. *Mühendis ve Makina*, 43(506), 38-44.
- [13] **Ebrahimi, M. , Keshavarz, A., & Jamali, A.** (2012). Energy and Exergy Analyses of a Micro-steam CCHP Cycle For a Residential Building. *Energy and Buildings*, 45, 202-210.
- [14] **Yüksel, F., & Goza, M.** (2014). Kojenerasyon Sistemleri ve Uygulamalı Ekonomik Analizi: Hastane Örneği. *Engineer & the Machinery Magazine*, (651).
- [15] **Erdem, H. H., Sevilgen, S. H., Çetin, B., & Akkaya, A. V.** (2004). Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi. *Sigma*, 1.
- [16] **Elektrikport.** 2019. tarihinde Teknik Kütüphane:  
<https://www.elektrikport.com/teknikkutuphane/buhar-ve-gaz-turbinleri-nasil-calisir-/8700#ad-image-0> Erişim: 2019
- [17] **Koçak, T., Gülşen, O.,** 1998: “ Kojenerasyon Nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi” , *Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı*, MMO Yayın No:210 İstanbul, Türkiye, Ekim, 35 – 38.
- [18] **Çakır, D.,** 2006: Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinde Doğalgazın Yakıt Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fbe.
- [19] **Anonim,** 2020 “Üretim Sistemleri - Gaz Motoru Uygulamalarının Avantajları”, <http://www.tresenerji.com.tr/tr/birlesik/uretim+sistemlerinin+turleri+ve+avantajlari.html> (15.11.2020)
- [20] **Muccillo, M., Gimelli, A.** 2014. “Experimental Development, 1D CFD Simulation and Energetic Analysis of a 15 kw Micro-CHP Unit Based on Reciprocating Internal Combustion Engine,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 71, no. 2, p. 760-770.

- [21] **Asaee, S. R., Ugursal, V. I., Beausoleil-Morrison, I.** 2015. “Techno-Economic Evaluation of Internal Combustion Engine Based Cogeneration System Retrofits in Canadian Houses – A Preliminary Study,” *Applied Energy*, vol. 140, p. 171-183
- [22] **Damirchi, H., Najafi, G., Alizadehnia, S., Ghobadian, B., Yusaf, T., Mamat, R.** 2015. “Design, Fabrication and Evaluation of Gamma-Type Stirling Engine to Produce Electricity from Biomass for the Micro-CHP System,” *Energy Procedia*, vol. 75, p. 137-143.
- [23] **Marcobertardino, G. D., Roses, L., Manzolini, G.** 2016. “Technical Assessment of a Micro-Cogeneration System Based on Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell and Fluidized Bed Autothermal Reformer,” *Applied Energy*, vol. 162, p. 231-244.
- [24] **Nikpey, H., Assadi, M., Breuhaus, P., Mørkved, P. T.** 2014. “Experimental Evaluation and ANN Modeling of a Recuperative Micro Gas Turbine Burning Mixtures of Natural Gas and Biogas,” *Applied Energy*, vol. 117, p. 30-41.
- [25] **Mikielewicz, J.** 2010. “Micro Heat and Power Plants Working in Organic Rankine Cycle,” *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 19, p. 499-505.
- [26] **Malamatenios, Ch.** 2001:European Commision, Training Guide on Combine Heat and Power Systems.
- [27] **Çengel, Y. ve A.Boles, M.,** 1996: Thermodynamics: An Engineering Approach s.l. : *Mc Graw Hill*.
- [28] EPDK Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu, 2019  
<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-94/dogal-gazyillik-sektor-raporu>
- [29] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL> Alınma Tarihi: 09/11/2021
- [30] **mitsubishi electric** Firması Teknik Yayınları
- [31] **Söğüt, M. Z., & Karakoç, H.** (2013). Klimalarda Enerji Verimliliği Sınıflandırılmasında Farklı Bir Yaklaşım: Ekserjetik Verimlilik Oranı ve Çevresel Etki Oranı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 135, 50-60.

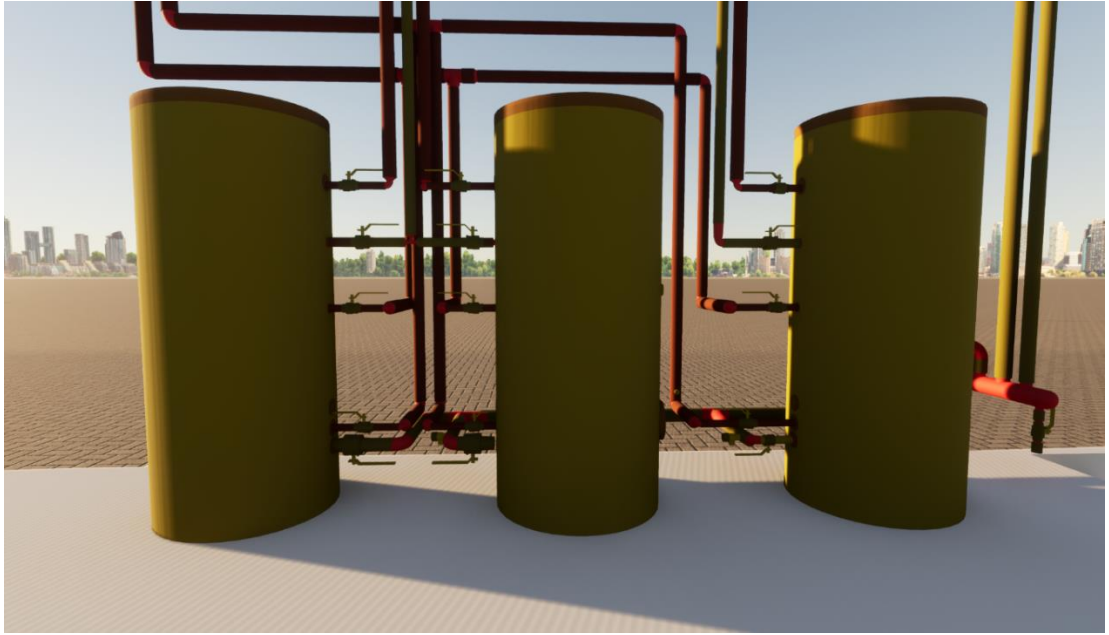
- [32] **EPDK** Enerji Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği  
<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-1160/elektrik-piyasasinda-lisanssiz-elektrik-uretimi->
- [33] **Özyaman, C.** (2003). Isıtılan Yüzme Havuzlarında Isıtma Yüğü Hesabı ve Isıtıcı Seçimi. *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, TESKON-2003, İzmir, Ekim.*
- [34] **ASHRAE EL KİTABI** 2004, “Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri ve Ekipmanları”, *TTMD Derneği Teknik Yayın no:17.*
- [35] **Bozkır, O., & Canbazoğlu, S.** (2004). Unsteady Thermal Performance Analysis of a Room With Serial and Parallel Duct Radiant Floor Heating System Using Hot Airflow. *Energy and Buildings, 36(6), 579-586.*
- [36] **Kılıç, B., Şahin, A. Ş., Selbaş, R., & Ezen, H. H.,** 2011, “Kojenerasyon Sistemlerinin Termodinamik Analizi” *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 13/16 NİSAN 2011 İZMİR*
- [37] **Wilkinson, B.W., Barnes, R.W.,** “Cogeneration of Electricity and Useful Heat”, *CRC Press, Boca, Raton, FL, 1980.*
- [38] Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ, *Resmi Gazete, Sayı:29123 (Sıra No: 2014/3)*
- [39] [https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/elektriktarifeleri//2021\\_yili](https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/elektriktarifeleri//2021_yili)  
Alınma Tarihi: 01/11/2021
- [40] <https://www.igdas.istanbul/perakende-satis>, Alınma Tarihi: 01/11/2021
- [41] <https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202111/01112021.xml>, Alınma Tarihi: 01/11/2021

## EKLER

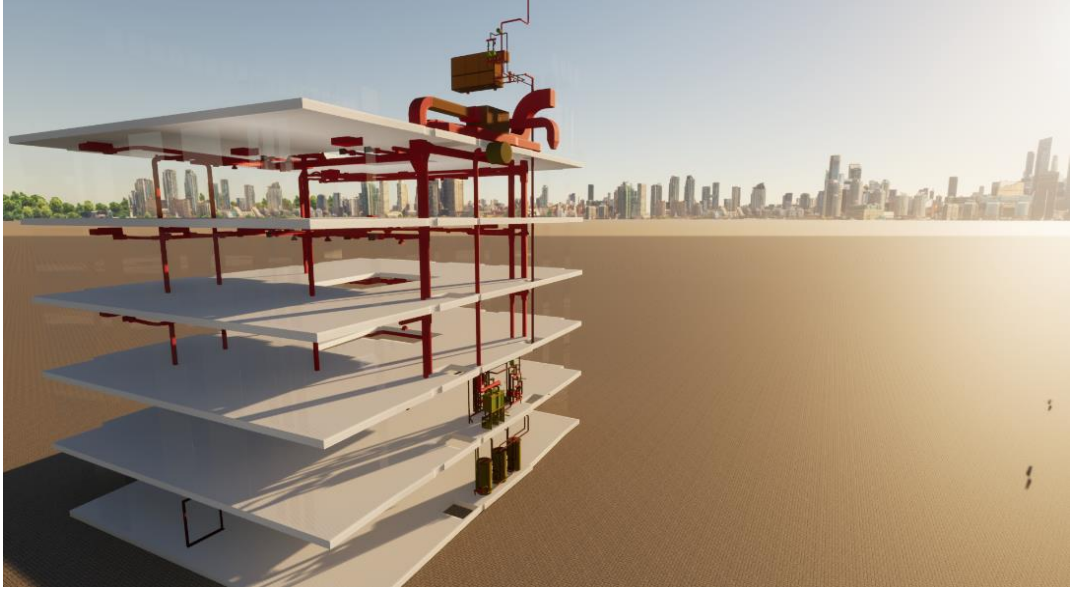
### EK A



Şekil A.1 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kaskad Kazan Yerleşimi 1. Kat Planı



Şekil A.2 : Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Boyler Dairesi Yerleşimleri Zemin Kat Planı



**Şekil A.3 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Mekanik Proje Genel Yerleşimleri



**Şekil A.4 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kazan Dairesi 3D Modellemesi ve Yerleşimleri



**Şekil A.5 :** Fizibilite Çalışması Yapılan Tesisin Kesit Görünüşü ve Mekanik Alanların Yerleşimleri

## EK B

**Çizelge B.1 :** Sıhhi Tesisat Gereçleri İçin Sıcak Kullanım Suyu Sıcaklıkları

Kullanım	Sıcaklık (°C)
Lavabo	41
Duşlar ve küvetler	43
Ticari ve kurumsal çamaşırhaneler	60-82
Konut tipi bulaşık ve çamaşır	60
Ticari sprey tipi bulaşık makinesi (NSF tarafından gerekli görüldüğü gibi): Tekli veya çoklu depolu başlıklı veya raf tipi: yıkama	66
Son durulama	82-91
Tek depolu taşıyıcı tip: yıkama	71
Son durulama	82-91
Tek depolu raf veya kapı tipi:	
Tek sıcaklık yıkama ve durulama	74
Kimyasal dezenfeksiyon zücaciye: yıkama	60
Durulama	24

## EK C

**Çizelge C.1 : Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları**

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1 ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1 ton	Briket		5.000.000	kCal	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1 ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1 ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1 ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1 ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Odun		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1 ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1 ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin m <sup>3</sup>	Doğal Gaz	0.670 Kg/m <sup>3</sup>	8.250.000	kCal	0.825
1 ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin m <sup>3</sup>	Kok Gazı	0.490 Kg/m <sup>3</sup>	4.028.000	kCal	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin m <sup>3</sup>	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m <sup>3</sup>	690.000	kCal	0.069
bin m <sup>3</sup>	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0.150
bin m <sup>3</sup>	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin m <sup>3</sup>	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin m <sup>3</sup>	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1 ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin m <sup>3</sup>	LPG	2.477 Kg/m <sup>3</sup>	27.000.000	kCal	2.700
bin kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.086

## EK D

**Çizelge D.1 : İGDAŞ Doğalgaz Birim Fiyat Tablosu ve Hesaplaması**

Hesaplama

Düzeltilmiş Hacim(m3)=Sayaçtan okunan hacim x ilgili tahakkuk döneminin düzeltme katsayısı

Enerji(kwh)=Düzeltilmiş hacim(m3) x ilgili tahakkuk döneminin üst ısıl değeri

Fatura Bedeli=Enerji(kwh) x İlgili tahakkuk dönemin ortalama birim fiyatı

01/11/2021

01/11/2021 Tarihi itibariyle güncel bilgiler aşağıdaki gibidir.

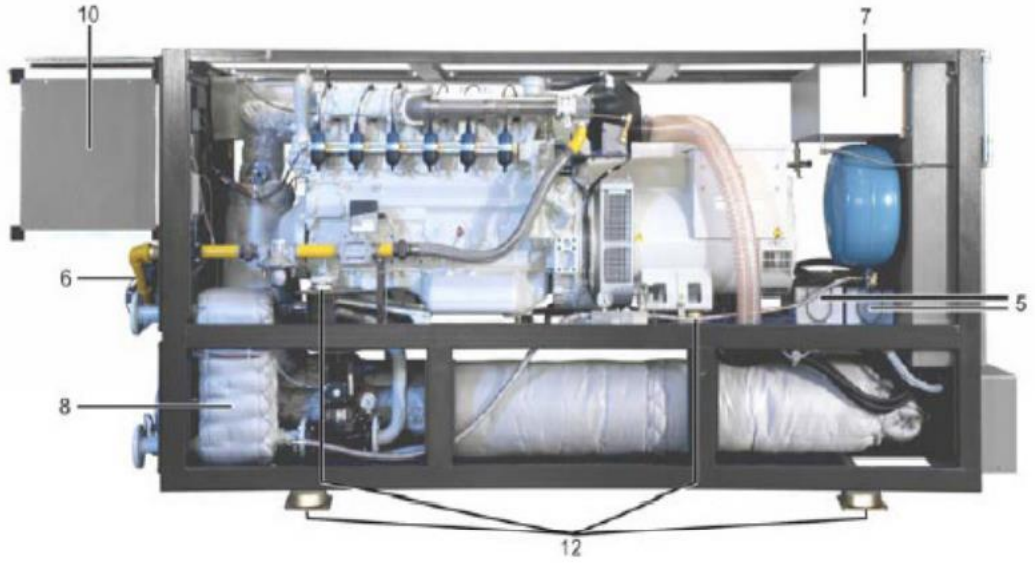
	TL/KWH	TL/m3
Abone Doğalgaz Satış Fiyatı	0,18033054	1,9187169456

KDV Hariç bedeldir.

**EK E**



**Şekil E.1 : MAN Marka 71 kW Güce Sahip Doğalgaz Motoru**



**Şekil E.2 : Paket Tip Kojenerasyon Modülü Soldan Kesit Görünüşü**



**Şekil E.3 : Kojenerasyon Sistem Baca Gazı Egzoz Eşanjörü**



**Şekil E.4 : Ceket Suyu Eşanjörü**



**Şekil E.5 : Absorbsiyonlu Chiller**

**EK F**

**Çizelge F.1 : Tek Başına Isı Üretimi İçin Referans Verim Değerleri ( $\eta_{h-ref}$  ; %)**

YAKIT TİPİ		Buhar ve Sıcak Su	Baca Gazlarının Doğrudan Kullanımı <sup>1</sup>
Katı	Taşkömürü ve kok	88	80
	Linyit	86	78
	Çürümüş Bitki Kömürü	86	78
	Odun	86	78
	Tarımsal Biyokütle	80	72
	Biyolojik Olarak Parçalanabilen Atıklar; Belediye Atıkları	80	72
	Yenilenebilir Olmayan Atıklar; Belediye ve Sanayi Atıkları	80	72
	Kaya Petrolü	86	78
Sıvı	Petrol (Motorin dahil, yakıt olarak kullanılan petrol türleri) ve LPG	89	81
	Biyoyakıt	89	81
	Biyolojik Olarak Parçalanabilen Atıklar	80	72
	Yenilenebilir Olmayan Atıklar	80	72
Gaz	Doğal Gaz	90	82
	Rafineri Gazı ve Hidrojen	89	81
	Biyogaz	70	62
	Kok Gazı, Yüksek Fırın Gazı; Diğer Gazlar ve Geri Kazanılan Atık Isı	80	72

**Çizelge F.2 : Tek başına elektrik üretimi için referans verim değerleri ( $\eta_{e-ref}$ ; %)**

YAKIT TİPİ		İŞLETMEYE GİRİŞ YILI					
		2001 ve öncesi	2002	2003	2004	2005	2006-
Katı	Taşkömürü ve kok	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Linyit	40,3	40,7	41,1	41,4	41,6	41,8
	Çürümüş Bitki Kömürü	38,1	38,4	38,6	38,8	38,9	39,0
	Odun	30,4	31,1	31,7	32,2	32,6	33,0
	Tarımsal Biyokütle	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Biyolojik Olarak Parçalanabilen Atıklar; Belediye Atıkları	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Yenilenebilir Olmayan Atıklar; Belediye ve Sanayi Atıkları	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Kaya Petrolü	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	39,0
Sıvı	Petrol ve LPG	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biyoyakıt	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biyolojik Olarak Parçalanabilen Atıklar	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Yenilenebilir Olmayan Atıklar	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
Gaz	Doğal Gaz	51,7	51,9	52,1	52,3	52,4	52,5
	Rafineri Gazı ve Hidrojen	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biyogaz	40,1	40,6	41,0	41,4	41,7	42,0
	Kok Gazı, Yüksek Fırın Gazı; Diğer Gazlar ve Geri Kazanılan Atık Isı	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0

**Çizelge F.3 : Kojenerasyon Üretimini Yerinde Tüketilme ve Şebekeye Verilme Durumuna Göre, Tek Başına Elektrik Üretimi İçin Referans Verim Değerleri Düzeltme Faktörleri**

Gerilim	Şebekeye Verilen Elektrik İçin (C <sub>s</sub> )	Yerinde Tüketilen Elektrik İçin (C <sub>y</sub> )
> 200 kV	1,000	0,985
100 – 200 kV	0,985	0,965
50 – 100 kV	0,965	0,945
0,4 – 50 kV	0,945	0,925
< 0,4 kV	0,925	0,860

## EK G

**Çizelge G.1 : Sabit Basınç - Sabit Hacimdeki Spesifik Isı Kapasiteleri ve Bazı Çok Bilinen “İdeal Gazlar” İçin Spesifik Isı Oranları**

Gaz veya Buhar	$c_p$ (kJ/ kg K)	$c_v$ (kJ/ kg K)	$c_p$ (Btu/ lb <sub>m</sub> °F)	$c_v$ (Btu/ lb <sub>m</sub> °F)	$c_p / c_v$
amonyak	2.19	1.66	0.52	0.4	1.31
argon	0.52	0.31	0.12	0.07	1.67
asetilen	1.47	1.13	0.35	0.27	1.26
aseton	1.47	1.32	0.35	0.32	1.11
benzen	1.09	0.99	0.26	0.24	1.12
buhar 1 psia. 120–600 °F	1.93	1.46	0.46	0.35	1.32
buhar 14.7 psia. 220–600 °F	1.97	1.5	0.47	0.36	1.31
buhar150 psia. 360–600 °F	2.26	1.76	0.54	0.42	1.28
bütadien					1.12
bütan			0.395	0.356	1.11
doğal gaz	2.34	1.85	0.56	0.44	1.27
etan	1.62	1.32	0.39	0.32	1.19
eter	2.01	1.95	0.48	0.47	1.03
etil alkol	1.88	1.67	0.45	0.4	1.13
etilen	1.67	1.38	0.4	0.33	1.24
freon 22					1.18
hava	1.01	0.72	0.24	0.17	1.40
heksan					1.06
helyum	5.23	3.16	1.25	0.75	1.66
hidrojen	14.32	10.16	3.42	2.43	1.41
hidrojen klorür	0.8	0.57	0.191	0.135	1.41
hidrojen sülfür			0.243	0.187	1.32
karbon dioksit	0.86	0.66	0.21	0.16	1.28
karbon disülfür	0.67	0.55	0.16	0.13	1.21
karbon monoksit	1.02	0.72	0.24	0.17	1.40
klor	0.48	0.36	0.12	0.09	1.34
kloroform	0.63	0.55	0.15	0.13	1.15
metan	2.48	1.88	0.59	0.45	1.31
metil alkol	1.93	1.53	0.46	0.37	1.26
metil klorür			0.240	0.200	1.20
nitrik oksit	0.96	0.69	0.23	0.17	1.4
nitrojen	1.03	0.74	0.25	0.18	1.40
nitroz oksit	0.88	0.69	0.21	0.17	1.27
oksijen	0.91	0.65	0.22	0.16	1.40
pentan					1.07
propan	1.65	1.43	0.39	0.34	1.13
propilen	1.5	1.31	0.36	0.31	1.15
sülfür dioksit	0.64	0.51	0.15	0.12	1.29

$c_p$  = sabit basınçtaki spesifik ısı kapasitesi,  $c_v$  = sabit hacimdeki spesifik ısı kapasitesi

## ÖZGEÇMİŞ

Üniversiteye kadar olan eğitimini Hatay'da tamamladı. 2012 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde eğitime başlayarak 2017 yılında mezun oldu. Antalya ve İstanbul'da mekanik proje dizayn ve mekanik tesisat mühendisi olarak çalışmalar yaptı. Aktif olarak İstanbul'da çalışmaktadır ve evlidir.

