

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOJENERASYON SİSTEMLERİ VE UYGULAMALI EKONOMİK
ANALİZİ: HASTANE ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet GOZA**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı**

Haziran,2013

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOJENERASYON SİSTEMLERİ VE UYGULAMALI EKONOMİK
ANALİZİ: HASTANE ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet GOZA

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fikret YÜKSEL

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 105103008 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Mehmet GOZA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Kojenerasyon Sistemleri ve Uygulamalı Ekonomik Analizi: Hastane Örneği**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fikret YÜKSEL**
Yalova Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fikret YÜKSEL**
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Sibel BAŞAKÇILARDAN KABAĞCI
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi :07 Ocak2013

Savunma Tarihi :13 Nisan 2013

ÖNSÖZ

Günümüzde Enerjinin etkin kullanımı ve alternatif enerji kaynakları çalışmaları hız kazanmıştır. Zira enerji kaynakları sınırlı ve kullanım sırasında olumsuz çevresel etkileri fazladır. Kojenerasyon sistemleri de mevcut kaynakların etkin kullanımı çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul il sınırları içerisinde 22.000m² kapalı alana sahip, 109 yatak kapasiteli bir hastane için kojenerasyon sisteminin seçimi yapılmış ve seçilen sistemin ekonomik analizi yorumlanmıştır. Yapılan çalışmada Sistemin tahrik ünitesinin motor tipi kojenerasyon sistemi olmasına, enerji ihtiyacına göre gücünün 800kW olmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Tez konusunun belirlenmesinde katkı veren, çalışmaları teşvik ve destekleri ile yönlendiren Danışman Hocam Prof. Dr. Fikret YÜKSEL'e ve Yüksek Lisans dersleri aldığım Yalova Üniversitesi'nin değerli hocalarına teşekkür ederim.

Çalışmanın hazırlanması esnasında maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman bana destek vererek yanımda olduklarını gösteren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2013

Mehmet GOZA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensipleri	7
1.2 Kojenerasyonun Tarihçesi.....	8
1.3 Kojenerasyonun Tarihçesi.....	9
1.3.1 Türbin tipi kojenerasyon sistemleri.....	10
1.3.1.1 Türbin tipi kojenerasyon sistemleri	10
1.3.1.2 Gaz türbinleri	12
1.3.2 Motor tipi kojenerasyon sistemleri	16
1.4 Diğer Kojenerasyon Üniteleri	20
1.4.1 Yakıt Pili Mikro Kojenerasyon Sistemleri	22
1.4.2 Stirling Motorlu Kojenerasyon Sistemleri	22
1.5 Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar.....	23
1.6 Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar.....	25
1.7 Kojenerasyon Sisteminin Avantajları.....	27
1.8 Kojenerasyon Sisteminin Türkiye'deki Durumu.....	28
1.9 Kojenerasyon Sisteminin Seçim Faktörleri.....	31
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1 Tahrik Ünitesinin Seçimi	43

	<u>Sayfa</u>
3.2 Tahrik Gücü Seçimi	45
3.2.1 600kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi	49
3.2.2 800kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi	52
3.2.3 1200kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi	55
3.3 800 kW Kojenerasyon Sistemine ait Ekipman Listesi	58
3.4 800 kW Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi	62
4. SONUÇ	69
KAYNAKLAR.....	77

KISALTMALAR

C	:Karbon
SO₂	:Kükürtdioksit
CO₂	:Karbondioksit
NO	:Azotoksit
BP	:Petrol şirketi
MTEP	:Milyon Ton Eş Değer Petrol
BTEP	:Bin Ton Eş Değer Petrol
OECD	:Ekonomik İş Birliği ve Gelişim Organizasyonu (Organisation for Economic Co-Operation and Development)
AB	:Avrupa Birliği
CHP	:Bileşik Isı ve Güç (Combine Heat and Power)
η	:Enerji Verimi
MW	:Megawatt
TEK	:Türkiye Elektrik Kurumu
LPG	:Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquid Petroleum Gas)
ISO	:Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Organization for Standardization)
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
Q_{elektrik}	: Elektrik çıkışı, kW _e
Q_{ısı}	: Isı çıkışı, kW _{th}
Q_{yakıt}	: Yakıt tüketimi, kW _h

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : OECD ülkeleri enerji tüketimi değerleri	3
Çizelge 1.2 : Türkiye enerji kaynakları ithalatı tahmini değerleri.....	3
Çizelge 1.3 : 2020 Yılına ait yenilenebilir enerji tahmini dağılımları.....	5
Çizelge 1.4 : Mikro ölçekli sistemlerin karşılaştırılması (Aygün, 2009)	21
Çizelge 1.5 : CHP sistemlerinin yakıtları ve teknik özellikleri	25
Çizelge 1.6 : Ülkelere göre CHP uygulama sayıları.....	30
Çizelge 3.1 : 2011 yılı elektrik ve doğalgaz fatura değerleri.....	41
Çizelge 3.2 : Hesaplamalarda esas alınan birim değerler	42
Çizelge 3.3 : Hastanenin 2011 yılı elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri.....	43
Çizelge 3.4 : Ocak ayındaki bir gün için periyodik enerji tüketim değerleri.....	46
Çizelge 3.5 : Ocak ayı enerji tüketim değerleri	48
Çizelge 3.6 : Ağustos ayındaki bir gün için periyodik enerji tüketim değerleri.....	48
Çizelge 3.7 : Ağustos ayı enerji tüketim değerleri	48
Çizelge 3.8 : 600kW CHP sisteminin enerji üretim değerleri	50
Çizelge 3.9 : 600kW CHP sisteminin Ocak ayı üretim ve performans değerleri.....	51
Çizelge 3.10 : 600kW CHP sisteminin Ağustos ayı üretim değerleri	52
Çizelge 3.11 : 800kW CHP sistemine göre Ocak ayı analiz değerleri	54
Çizelge 3.12 : 800kW CHP sistemine göre Ağustos ayı analiz değerleri	54
Çizelge 3.13 : 1200kW CHP sistemine göre Ocak ayı analiz değerleri	56
Çizelge 3.14 : 1200kW CHP sistemine göre Ağustos ayı analiz değerleri	56
Çizelge 3.15 : CHP sistemlerinin Ocak ve Ağustos enerji karşılama yüzdeleri.....	57
Çizelge 3.16 : CHP'li hastanede Ocak ayı net tasarruf ve maliyet değerleri	63
Çizelge 3.17 : CHP'li hastanede Ağustos ayı net tasarruf ve maliyet değerleri.....	64
Çizelge 3.18 : CHP'li hastane için geri dönüşüm tablosu (800kW).....	66
Çizelge 3.19 : CHP'li hastane için geri dönüşüm tablosu (600kW).....	67
Çizelge 3.20 : CHP'li hastane için geri dönüşüm tablosu (1.200kW).....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kaynaklara göre Türkiye birincil enerji tüketimi (ETKB, 2011).....	2
Şekil 1.2 : Klasik ve Kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması (Türkoted).....	6
Şekil 1.3 : Kojenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi	7
Şekil 1.4 : Amerikada 2000 yılındaki CHP uygulama alanları, 800MW	9
Şekil 1.5 : Buhar türbini çalışma prensibi	11
Şekil 1.6 : Kojenerasyon uyumlu Rankine çevrimi	12
Şekil 1.7 : Gaz Türbini çalışma prensibi (açık brayton çevrimi).....	13
Şekil 1.8 : Kapalı Brayton diyagramı p-v ve T-s diyagramlar	13
Şekil 1.9 : Gaz türbinli kombine çevrim şeması ve T-s Diyagram.....	14
Şekil 1.10 : Gaz türbini türbin kanatlarının görünümü.....	15
Şekil 1.11 : Türbin tipi kojenerasyon sistemlerinde enerji dağılımı.....	16
Şekil 1.12 : (a) Otto çevrimi gerçek diyagram (b) Piston-silindir şematik hali.....	17
Şekil 1.13 : Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması.....	19
Şekil 1.14 : Motor tipi kojenerasyon sistemlerinde enerji dağılımı.....	19
Şekil 1.15 : Mikro CHP ünitesi ile merkezi güç ünitesi karşılaştırması	20
Şekil 1.16 : Evsel uygulamalı mikro kojenerasyon sistemi.....	21
Şekil 1.17 : Stirling motor ve kısımları	23
Şekil 1.18 : Kojenerasyon için kullanılan yakıt oranları	24
Şekil 1.19 : Kojenerasyon sistemlerinin kullanım alanları	26
Şekil 1.20 : Trijenerasyon sistemin şematik görünüşü	27
Şekil 1.21 : Kojenerasyon sisteminin farklı yakıt türleri ile kullanımı.....	28
Şekil 1.22 : Türkiye’de yıllara göre kojenerasyon kurulu güç değerleri	29
Şekil 1.23 : Yakıtlara göre karbon emisyon değerleri	30
Şekil 3.1 : Motor tipi kojenerasyon ünitesi.....	44
Şekil 3.2 : Hastaneye ait günlük elektrik tüketim.....	47
Şekil 3.3 : 800kW _e Kojenerasyon sistemi teknik resmi.....	59
Şekil 3.4 : 800kW _e için atık ısı kazanı teknik resmi	60

Sayfa

Şekil 3.5 : Kojenerasyon sistemi görüntü ünitesi	62
Şekil 3.6 : Saatlik tüketim ve üretimin karşılaştırması	65
Şekil 4.1 : Farklı kojenerasyon sistemlerinin yıllık gelir mukayesesi	69
Şekil 4.2 : Kojenerasyon sistemlerinin Ocak ayı yüzde oranları	70
Şekil 4.3 : Kojenerasyon sistemlerinin Ağustos ayı yüzde oranları	71
Şekil 4.4 : Sistemin aylara göre elektrik ihtiyacını karşılama yüzdesi	72
Şekil 4.5 : Sistemin aylara göre ısı ihtiyacını karşılama oranları	72
Şekil 4.6 : Kojenerasyon sisteminin aylara göre net tasarruf değerleri	73
Şekil 4.7 : Sistemin geri dönüşümünün yıllara göre grafiği	74

KOJENERASYON SİSTEMLERİ VE UYGULAMALI EKONOMİK ANALİZİ: HASTANE ÖRNEĞİ

ÖZET

Dünyadaki insan nüfusunun artışına paralel olarak gelişen teknoloji ile enerji talebindeki artış devam etmektedir. Bu enerji ihtiyacını karşılamada yaygın olarak kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar, küresel ısınmayı, aynı zamanda çevresel kirliliğini de artırmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların sürekli kullanımından dolayı tükenme tehlikesi, alternatif kaynakların arayışına ivme kazandırmıştır.

Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi çevre kirliliği yok denecek kadar az olan, doğal süreç ile kendini yenileyebilen alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi için çalışmalar hız kazanmıştır. Birincil enerji kaynaklarının etkin kullanılması da en az alternatif enerji kaynakları kadar önemlidir. Isı enerjisini faydalı olarak kullanabilen (özellikle doğalgazlı sistemler) kojenerasyon sistemleri, alternatif enerji kaynakları gibi değer kazanmış, yer bulmuş ve son zamanlarda uygulamadaki etkinliğini giderek artırmıştır.

Kojenerasyon sistemleri, bir kaynaktan, eş zamanlı olarak hem ısının hem de elektriğin beraber üretildiği bileşik güç üniteleridirler. Bu sistemlerin değer kazanmasında iki önemli avantajdan birincisi; atık ısıdan yararlanılarak, toplam verimin, klasik sistemlere göre artırılmasıdır. İkincisi ise; verime bağlı olarak, klasik sistemlere oranla sera gazı salınımının daha az olmasıdır.

Bu çalışmada, İstanbul'da 22.000 m² kapalı alana sahip, 109 yatak kapasiteli özel bir hastane için kurulumu düşünülen kojenerasyon sistemine ait ekonomik analiz çalışmaları yapılmıştır. Tahrik ünitesinin motor tipi kojenerasyon sistemi olması kararlaştırılmış, enerji ihtiyacına göre sistemin gücünün 800 kW olması hesaplanmıştır. Sistemin analiz sonuçlarına göre hastanenin yatırım maliyetini yaklaşık 2 yıl gibi kısa bir sürede amorti edebileceği, yatırım maliyetini karşıladıktan sonra 15 yıllık süre sonunda 3.500.00 Euro gibi bir kazanç sağlayacağı görülmektedir.

COGENERATION SYSTEMS and APPLIED ECONOMIC ANALYSIS: FOR A HOSPITAL

ABSTRACT

In parallel with the increase in the population in the world, energy demand has been increasing. Fossil fuels that are widely utilised for this energy demand have increased global warming and environmental pollution as well. Moreover, due to limited fossil fuel resources, searching for alternative energy resources has been accelerated.

Alternative energy sources, i.e. solar, wind, geothermal, biomass, that can renew themselves in natural cycle with minimal pollution have been widely explored. Efficient use of primary energy resources is as important as developing alternatives. Cogeneration systems that utilizes heat and electricity (especially in natural gas systems) have become as important as alternative energy resources in value and their utilization have gained widespread applications.

Systems that heat and electrical power can be produced at the same time from same fuel are called cogeneration power units. There are two main advantages that make cogeneration systems valuable: First, increasing total efficiency, compare to conventional systems, by utilizing waste heat. Second, emmisions of green house gases are reduced due to increased efficiency.

In this study, economic analysis of a cogeneration system was investigated for applicability for a private hospital in Istanbul having 22000 m² of closed area with 109 beds. For this project, drive unit was chosen motor type cogeneration with calculated system power of 800 kW based on hospital energy demand. According to results of system analysis, return of investment will be about 2 years and 3.500.000 euro revenue will be generated in 15 years of operation.

1. GİRİŞ

Dünya nüfus artışının yanısıra sanayileşmedeki büyüme, enerjiye olan talebi artırmış, bu talebin karşılanması için de birincil enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır.

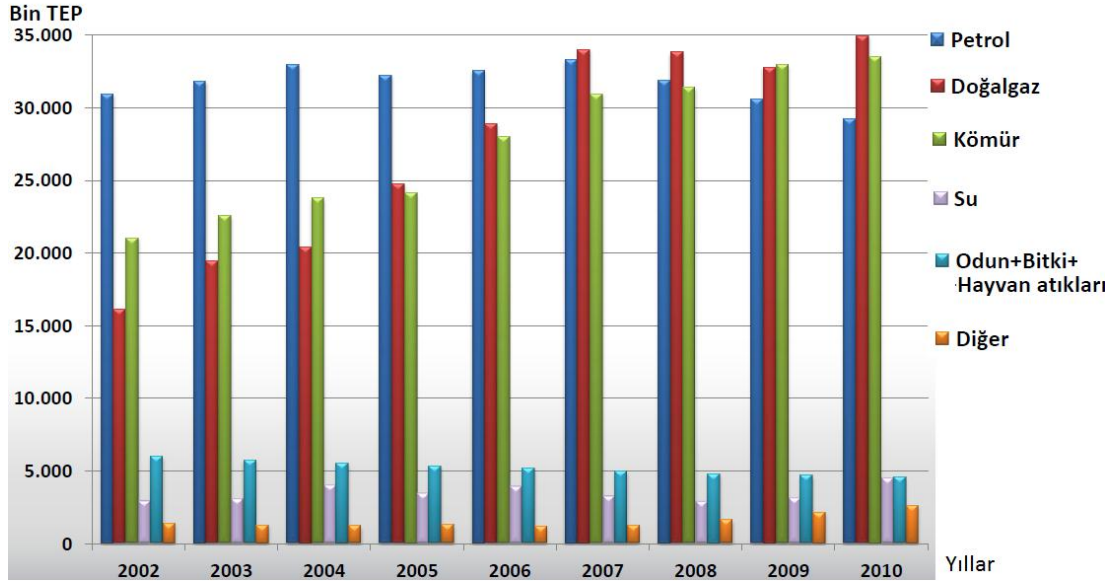
1850'li yıllarda sanayi devriminin gelişimine paralel, enerji ihtiyacını karşılamada kömür öncelikli olarak değer kazanmıştır. Devam eden süreçte ucuz yakıt dönemi ile petrol, enerji ihtiyacını karşılamada ilk sıraya yerleşmiştir. 1973'te meydana gelen petrol krizi ile; katı ve sıvı yakıtlara oranla çevresel kirliliği daha az olan, hem de ısıl kapasitesi yüksek olan doğalgazın kullanımında diğer enerji kaynaklarına göre daha fazla artış olmuştur. Dünya'daki birincil enerji kaynaklarından petrol rezervinin 2040, doğalgaz rezervinin 2065, kömür rezervlerinin ise 2227 yılına kadar yeterli olabileceği noktasında tahmin yürütülmektedir (Aktaş, 2006).

Sanayileşmeye paralel olarak, fosil yakıtların tüketim değerlerinde artması ile baca gazlarından çevreye salınan kükürtdioksit (SO_2) ve azotoksit (NO_x) gibi yoğun emisyon değerleri; hem çevresel kirliliğe, hem de küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı ile atmosfere bırakılan yanma ürünlerinin (su buharı başta olmak üzere, karbondioksit ve metan molekülleri) doğal sera etkisi yaptığı, buzulların erimesine, okyanusların yükselmesine ve istenmeyen iklim değişimlerine sebep olduğu bilinmektedir.

Türkiye birincil enerji kaynakları olan petrol ve doğalgaz açısından fakir bir ülkedir. Sahip olduğu kömür rezervleri ise yaygın ve bol olmasına karşılık, ısıl değerleri düşük, kül ve kükürt oranları yüksektir. Mevcut durum, Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapmasını, enerji kaynaklarının çeşitlendirmesini zorunlu kılmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Dünyada ve Türkiyede Enerji Görünümü raporu'na göre, Türkiye'deki birincil enerji kaynaklarına göre enerji tüketim değerleri Şekil 1.1'de verilmiştir. Şekil 1.1 incelendiğinde petrol tüketiminde azalma, buna mukabil doğalgaz ve kömür tüketiminde artışların olduğu görülmektedir. Enerji

arz ve talep durumu ile fiyat hareketlerine bağı olarak gelişen bu durum enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmamaktadır.



Şekil 1.1 : Kaynaklara göre Türkiye birincil enerji tüketimi (ETKB, 2011)

Türkiye'nin artan nüfusu ve ekonomik gelişimine paralel olarak gereksinim duyduğu enerji miktarı Şekil 1.1'de verilen birincil enerji tüketim değerlerinin üzerindedir.

Enerji gereksinimi için bir başka kriter de kişi başına enerji tüketim değerleridir. OECD ülkelerinin kişi başına enerji tüketim değerleri mukayese edildiğinde, kişi başına en düşük enerji tüketim miktarının ülkemizde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda refah seviyesinin artmasına bağı olarak Ülkemizde enerji tüketim miktarının da artacağı bir göstergesidir (Çizelge 1.1). Sahip olunan birincil enerji kaynakları sınırlı olduğunda, aradaki fark ithalatla karşılanabilir. Ancak, enerji ithalatı aynı zamanda enerjide dışa bağımlılık anlamına gelmektedir.

Çizelge 1.1 : OECD ülkeleri enerji tüketimideğerleri

Ülke	kWh/kişi	Tüketim (milyar kWh)
Türkiye	1479	103
Meksika	1722	173
Macaristan	3281	33
Polonya	2825	108
Y.Zelanda	8779	35
İrlanda	5609	22
Cek Cum.	5255	64
İspanya	5250	213
Norveç	24068	109
Yunanistan	4435	49
Fransa	6848	419
Amerika	12558	3610
Kore	6209	296
İzlanda	26466	8
Avusturya	6964	56
Belçika	7784	80
Hollanda	6441	104
Almanya	6235	514
Finlanda	15480	86
Lüksemburg	12600	6

Türkiye'nin yıllara ve yakıt türlerine göre enerji ithalatı Çizelge 1.2'de verilmiştir (Anonim, 2005). Verilen değerler; doğalgaz ihtiyaç oranının diğer kaynaklardan daha fazla oranda artış kaydettiğini göstermektedir. Bunun bir nedeni de doğalgazdan elektrik üretimi olduğu söylenebilir.

Çizelge 1.2 : Türkiye enerji kaynakları ithalatı tahminideğerleri

	2003	2005	2010	2015	2020
Petrol (BTEP)	32.798	31.375	38.349	47.739	58.207
D.gaz (milyon m³)	20.823	25.283	43.103	51.860	59.785
Taş Kömürü (BTEP)	18.344	22.713	20.273	35.952	71.623
Elektrik (GWh)	1.158	-	-	-	18.107

Dünyadaki politik gelişmelere bağlı olarak enerji fiyatları sürekli artmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların belli bir süre sonra bitecek olması ve üretim maliyetlerinin rezerv işletim şartlarının değişimine paralel olarak her geçen gün dahada pahalı olması sebebiyle alternatif enerji kaynaklarının tespit edilmesini bu kaynaklardan yüksek verimle faydalanılmasını zorunlu kılmaktadır(Etemoğlu ve İşman, 2004).

Enerjiyi verimli ve sınırlı düzeyde kullanarak sera gazı emisyonlarının sabit düzeyde tutulmasını sağlamak, için gelişmiş ülkeler 1997 yılında bazı yaptırımları öne çıkarmak istemişler,bu anlamda hazırlanan Kyoto protokolü de dünya genelindeki 55 ülke tarafından kabul edilerek imzalanmış ve resmîyet kazanmıştır. Protokol ile;mevcut enerji kaynaklarının düşük emisyonlu, verimliliği yüksek olacak şekilde kullanılması yanısıra eşdeğer alternatif enerji kaynaklarını araştırma çalışmaları dahız kazanmıştır.

Çevresel kirliliklerin insan sağlığını tehdit etmeyecek düzeye indirilmesi amacıyla; rüzgar, jeotermal, dalga ve güneş enerjisi vs. olarak sıralanabilen yenilenebilir enerji kaynakları çalışmaları artmış, etkin kullanım alanı bulan rüzgar ve güneş enerjisi uygulamaları da çevremizde yer almaya başlamıştır (Çizelge 1.3). Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, klasik sistemlere göre emisyon salınımlarını %24 daha düşürmektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılmak istenmesindeki en büyük sebepler;

- Konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı olması,
- Yeryüzünde homojen dağılmaması, ülkelerin büyük çoğunluğunun enerji kaynağı bakımından fakir olması,
- Enerji kaynakları yetersiz olan ülkelerin, enerji bakımından dışa bağımlı olma derecesini azaltma isteği,
- Alternatif enerji kaynaklarının emisyon salımlarının konvansiyonel kaynaklara kıyasla daha düşük olması vb. şekilde sıralanabilir.

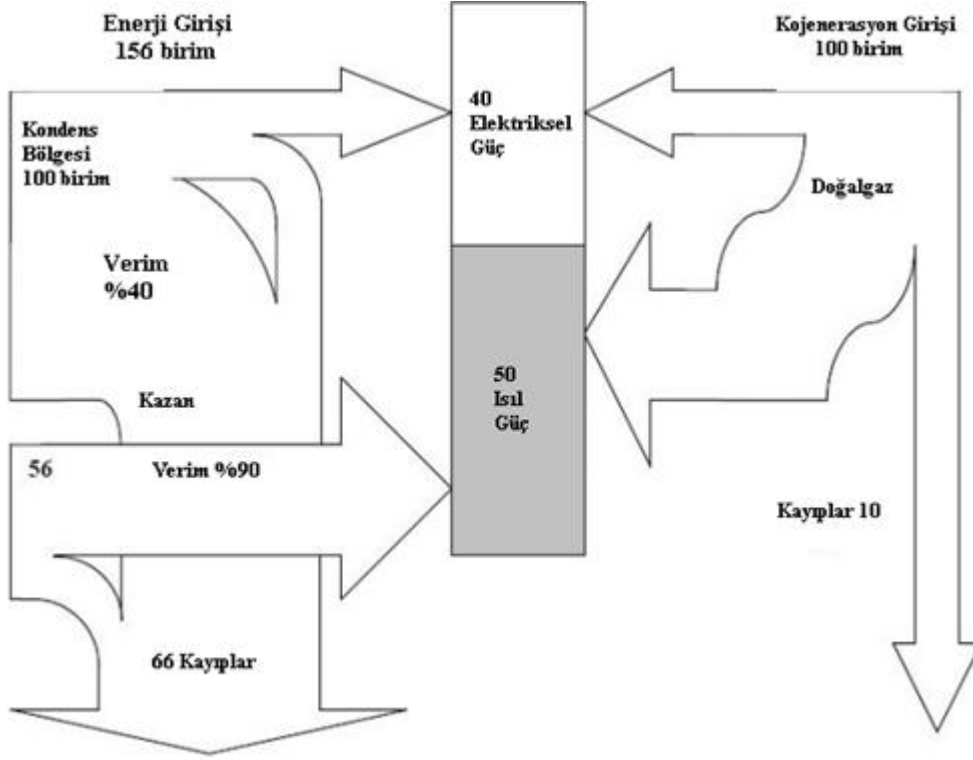
Çizelge 1.3 : 2020 Yılına ait yenilenebilir enerji tahmini dağılımları

Enerji Kaynağı	2020 Yılı Minimum		2020 Yılı Maximum	
	MTEP	% Toplam	MTEP	% Toplam
Modern Biyokütle	243	45	561	42
Güneş	109	20	355	26
Rüzgar	85	15	215	16
Jeotermal	40	7	91	7
Küçük Hidrolik	48	9	69	5
Deniz Enerjileri	14	4	55	4

Enerjinin etkin kullanımı olmakla birlikte bazende alternatif enerji sistemi olarak değerlendirilen kojenerasyon sistemlerinin kullanılması ile %11 yakıt, %12 elektrik, %21 ısıtma ve soğutma tasarrufu beklenmektedir (Mez ve Michaele, 2008). Kojenerasyon, bileşik ısı ve enerji (CHP) anlamında olup, tek bir yakıt kaynağından elektrik ve ısının eş zamanlı olarak üretilmesini sağlayan yüksek verimli kombine sistemlerdir (Yüksel, 2007). “Combined ve Generation” terimlerinin co-generation=kojenerasyon şeklinde kısaltılmasıyla okunur.

Günümüzde yatırım maliyetinin yüksek olması, avantajlarının görülmesine perde etkisi yapmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin kullanımı ile üretim ve tüketimin aynı yerde olmasından dolayı kayıp oranları yok denecek kadar az seviyelere düşmektedir. Bir çok Avrupa ülkesi politikasını bu yönde geliştirerek, ısı ve güç talebinin karşılanması için bu sistemlerin kurulmasını teşvik edici çalışmalarda bulunmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan konvansiyonel sistemlerle, toplam verimi yüksek olan kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması Şekil 1.2’de verilmiştir. Şekil 1.2’den de görüldüğü gibi, 100 birim yakıt’ın klasik yakma sistemlerinde hava ile karıştırılarak yakılması sonucunda 40 birim elektrik üretilirken, 60 birim kayıp gerçekleşir. Aynı şekilde ısı elde etmek için, 56 birim yakıt’ın yakılması ile 50 birim ısı üretilir, 6 birim kayıp görülür. Buna göre toplam verim, %58 olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 1.2 : Klasik ve Kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması (Türkoted)

Kojenerasyon enerji sisteminde ise(Şekil 1.2), 100 birim yakıt enerjisinden 40 birim elektrik enerjisi üretilmektedir. Sistemde oluşan atık ısıdan da 50 birim ısı enerjisi elde edilmektedir. Yani, sistemin toplam verimi %90 olarak gerçekleşmektedir.

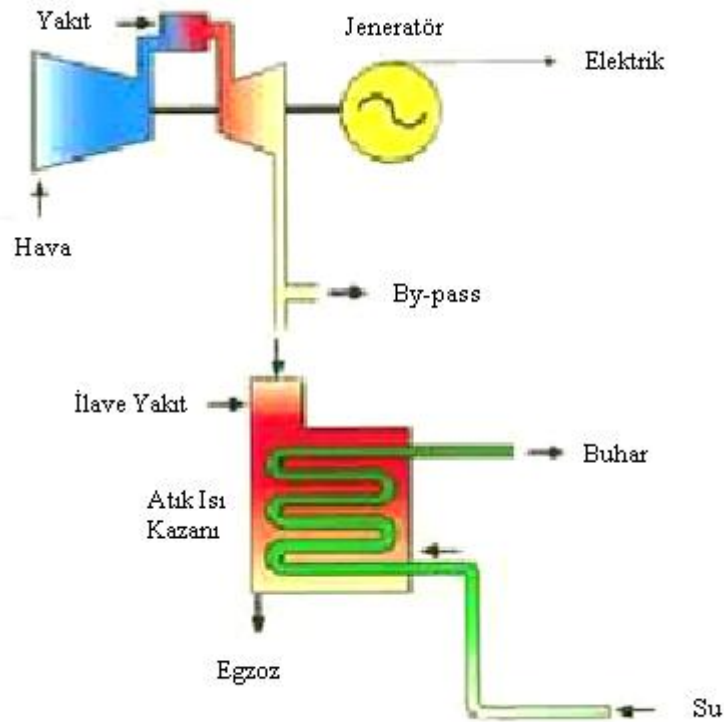
Bu karşılaştırma ile kojenerasyon sisteminin klasik sisteme göre %36 daha verimli olduğu görülmektedir. Klasik ve kojenerasyon enerji dönüşüm sistemlerindeki verim farkını oluşturan bir diğer önemli etken ise;klasik sistemlerde elde edilen enerjinin, tüketim bölgesine ulaştırılmasına kadar olan ara kademelerde meydana gelen kayıplardır. Fakat kojenerasyon sisteminde enerji üretimi, tüketim bölgesine çok yakın olduğu için söz konusu bu kayıplar klasik sistemlere kıyasla çok düşük olarak gerçekleşir.

1.1 Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensibi

Kojenerasyon sistemlerinde amaç; kullanılan akışkan ile ısının bir bölümünden enerji elde edilmesi, bir bölümünün de ısı elde edilmesidir.

Filtrelenerek atmosferden alınan hava, kompresör ile sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı artırılır. Yanma odasına gönderilir ve buradaki yakıt ile karıştırılarak yanması sağlanır. Yanan gaz karışımından elde edilen yüksek buhar basıncı türbin kanatçıklarından geçme esnasında türbini döndürür. Böylece türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan 450–550°C sıcaklığındaki ısı, bir egzoz kanalıyla atık ısı kazanına iletilir (Gürhan, 2003).

Atık ısı kazanında ısı transferi ile ısı enerji elde edilir. Kalan ısı, soğurularak katalizöre gönderilip kimyasal reaksiyonlara girerek çevreye verilecek olan zararlı gazları ve karbon emisyon oranları indirgenir. Son işlem olarak kazan bacasından atmosfere atılır. Verimi %80-90 arasında olan bu sistemler ile emisyon salımları ve küresel ısınma etkileri en aza indirilir(Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Kojenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi

1.2 Kojenerasyonun Tarihçesi

Isıtma sistemi ile bir mahalın ısıtılması, bölgesel ısıtma olarak tanımlanır. Bölgesel ısıtma sistemi ilk olarak 1877 yılında ABD'nin New York eyaletindeki Lockport'ta kurulmuştur. Modern bileşik güç üretim sisteminin ilk uygulaması ise; bölgesel ısıtmadan 5 yıl sonra, 1882 yılında Thomas Edison yönetiminde gerçekleştirilmiştir.

19. yüzyılın son çeyreği ile 20. yüzyılın ilk çeyreğinde Almanya, Danimarka, İsveç, Fransa, Hollanda, Avusturya, Norveç, İsviçre, Belçika, İngiltere, SSCB ve Polonya gibi birçok Avrupa ülkesinde bölgesel ısıtma sistemleri kurulmuştur (Işık ve İnallı,2005).

Özellikle merkezi ısıtma sistemi uygulamalarının yaygın olduğu ülkelerde, kojenerasyon sistemleri gelişim ve kullanım olanağı bulmuştur. Fakat ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı, ucuz yakıt döneminde ilgiyi kaybetmiş, yerini petrole bırakmıştır. Petrol fiyatlarında meydana gelen artışlar, kojenerasyon sistemlerini tekrar güncel pozisyona taşımıştır.

Almanya'daki bölgesel ısıtma uygulamalarının yerini 1930'dan sonra CHP sistemleri almıştır. Fransa'da bölge ısıtması ile ilgili ilk tesis Paris'te kurulmuştur. Kurulan bu sistem hem kombine ısı ve elektrik üretimini sağlamakta hem de yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri ile desteklenmiştir.

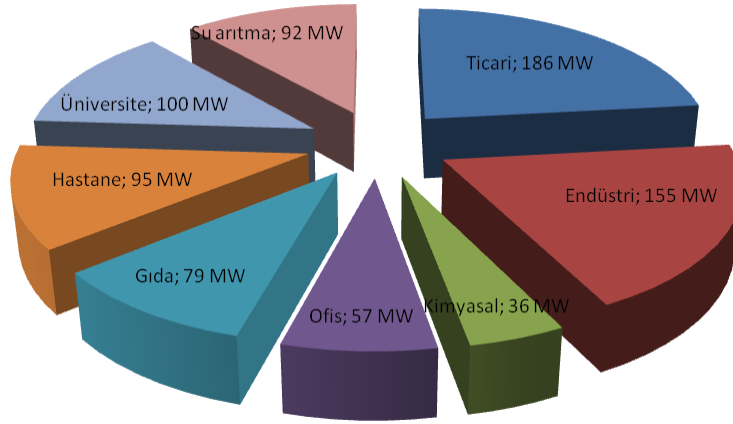
Fransa ve Yunanistan'da kojenerasyon alanında yapılan çalışmalar, AB ülkelerine göre düşük seviyelerde olsa da zamana göre hızlı bir şekilde gelişme gösterdiği izlenmiştir. İngiltere'de ise bu sistemlerin gelişimi 1945 yılında başlamıştır.

İskandinav ülkeleri kojenerasyon sisteminin en çok gelişiminin görüldüğü ülkelerdir. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç gibi başta gelen İskandinav ülkelerinde toplam bina sayılarının yarısı, ortalama %50, kojenerasyon sistemleri ile donatılmış ve merkezi bileşik ısı ve güç üretimi sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır.

1900'lü yılların başlarında Amerika'da endüstriyel güç santralleri ile üretilen elektrik ihtiyacı %58 kojenerasyon sistemleri ile sağlanmıştır (Ugursal ve Knight, 2005).

Amerika'da sadece 2000 yılında kojenerasyon tabanlı pistonlu motorların elektrik üretim kapasitesinin 800 MW'ın üstünde olacağı tahmin edilmiştir. 2020 yılına kadar enerji üreten sistemler içinde %80'lik bir kullanım değerine ulaşacağı tahmin

edilmektedir. Bu sistemlerin farklı tüketim yerlerinin grafik halinde gösterimi Şekil 1.4'te verilmiştir (Davidson, 2002).



Şekil 1.4 : Amerikada 2000 yılındaki CHP uygulama alanları, 800MW

Avrupa Birliği Enerji Komisyonu, 14 Şubat 2004'te, yüksek verimli kojenerasyon yasasını (Cogeneration Directive) çıkartmıştır. Bu yasaya göre, buharın kazanlarda ve elektriğin de konvansiyonel santrallerde (sadece elektrik üretim amaçlı) ayrı ayrı üretilmesiyle ortaya çıkan yakıt tüketimine nazaran en az %10 tasarruf sağlayan kojenerasyon sistemlerini “Yüksek Verimli Kojenerasyon” olarak tarif etmiş ve verim derecelerine göre primlendirme sistemini getirmiştir (Varal, 2008).

Ayrıca yakıt olarak kullanılan doğalgaz, ülkeler arasında kolay taşınması, verimlilik kapasitesinin yüksek olmasından dolayı bu sistemlerle birlikte kullanımı yaygınlaşmıştır.

1.3 Kojenerasyonun Tarihçesi

Kojenerasyon tahrik ünitelerinin belirlenmesinde, işletmenin çalışma amacı dikkate alınır. Kojenerasyon sisteminde iki farklı tahrik ünitesi vardır.

- Türbin tipi kojenerasyon sistemleri (Gaz ve Buhar Türbinleri)
- Motor tipi kojenerasyon sistemleri (Gaz ve Dizel Motorlar)

Türbinli kojenerasyon sistemlerinde ısı verimi, elektrik verimine göre çok daha yüksektir. Bir diğer ifade ile elektrik verimi pistonlu motorlara göre düşüktür. Ayrıca diğer sistemlere göre küçük ve daha hafiftir.

Küçük güç aralığına ihtiyaç duyulan yerlerde motor tipi sistemlerin kullanılması tercih edilir. Motor tipi sistemlerde elektrik verimi, türbin tipine göre daha yüksektir. Fakat türbin sistemlerinden daha ağır ve büyük yer ihtiyacı vardır.

1.3.1 Türbin tipi kojenerasyon sistemleri

Türbin tipi sistemler, tek kaynaktan yararlı ısı ve elektrik üreten, gücü yüksek etkili makinalardır. Performansları, atmosferin sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. Çünkü atmosfer durumu bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Sıcaklığın artması ile yanma odasına girecek olan hava azalacağı için verim düşmektedir (Ünver ve Kılıç, 2005).

Türbinli sistemlerde atmosferik hava, gaz türbininde sıkıştırılır. Sıkışan havada basınç ve sıcaklık değerleri yükselir. Gaz veya sıvı olarak kullanılan yakıtın sıkıştırılmış havada tutuşması kolaylaşır. Yanma sonucu oluşan yüksek basınç, jeneratörü tahrik ederek elektrik üretilmesini sağlar.

Türbin tipi kojenerasyon uygulamaları yaygın olarak 1 - 20MW güç aralığında kullanılır. İhtiyaca göre fazla elektrik gücü gerekli ise gaz türbini ve buhar türbininin bir birleşimi olan “Kombine Çevrim” kullanılabilir. Kombine çevrim sisteminin elektrik çıkışı 1 milyon BTU, buhar başına 380kWh'tır. Ayrıca gaz türbin sistemlerindeki gibi yakıt değişikliği sınırlıdır (Ekrem ve Yılmaz, 2004).

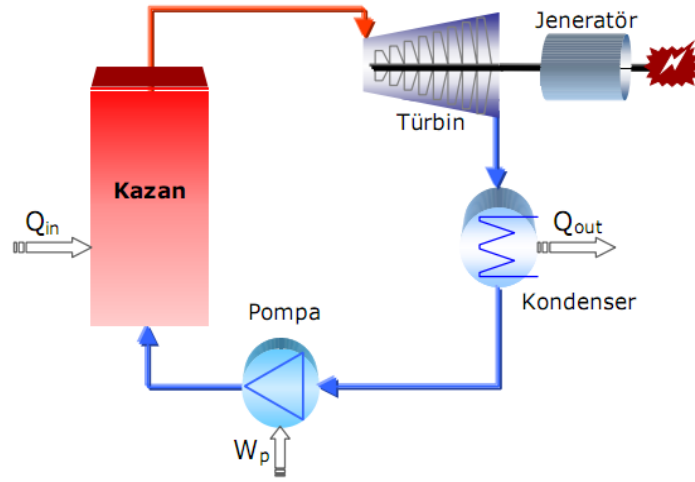
Yüksek güç ve ısı ihtiyacı durumlarında kurulan bu sistemlerin elektrik verimi dizel motorlara göre düşük, ısı verimi ise daha yüksektir. Tekstil, seramik ve ağaç işleme gibi sektörlerde kurutma amaçlı olarak bu sistemlerin kullanımı daha yaygındır.

1.3.1.1 Türbin tipi kojenerasyon sistemleri

İşletme makinalarının ilkeleri olup çok yönlü kullanım özellikleri vardır. Bu sistemler yanma işleminden doğrudan enerji üretmeyip, bir kazan veya buhar jeneratöründe üretilen yüksek basınçlı buhar kaynağına ihtiyaç duyarlar. Termodinamik açıdan çalışma prensipleri Rankine tipi çevrimlerdir (Şekil 1.5).

Şekil 1.5'te verilen çalışma prensibine göre, pompa ile basıncı artırılarak kazana gönderilen su, ısıtılarak kızgın su buharı elde edilir. Kazandan çıkan basınçlı kızgın

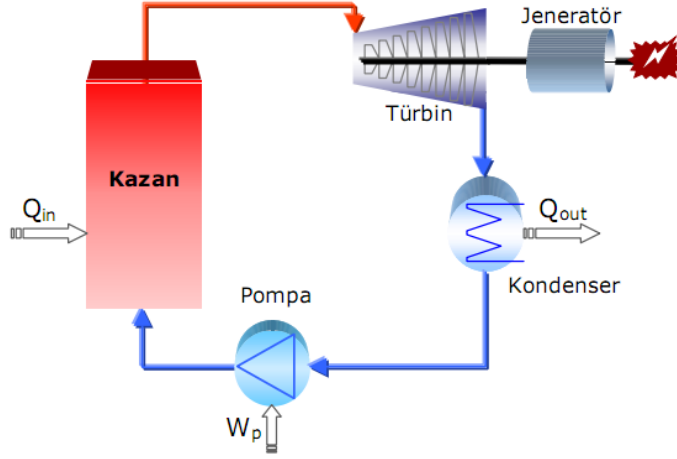
buhar, türbin vasıtasıyla jeneratörü döndürerek elektrik üretilir. Türbinden çıkan buhar, kondenserden geçerek yoğuşur ve tekrar pompaya gönderilir.



Şekil 1.5 : Buhar türbini çalışma prensibi

Şekil 1.5'teki buhar türbini sistemi kojenerasyona uyumlu hale getirilirse Şekil 1.6'daki çevrim elde edilir. Türbin döndürülerek elektrik üretilmesinden sonra, çevrimden çıkan buharın yoğuşturucudan çekilen enerjisi egzozla gönderilmez. Çekilen ısı, proseste değerlendirilerek, sistemin toplam verimi artırılır. Ayrıca Türbinin ara kademesinden alınan buhar ile kullanılan ısının değeri artırılır. Bu, kojenerasyonlu su-buhar prosesli çevrim olarak adlandırılır.

Bu sistemlerde kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları yakıt olarak kullanılır. Sisteme giren yakıtın enerjisinden, yaklaşık %40 kullanılabilir elektrik enerjisi elde edilir. Bu sistemden alınan ısı enerjisi de proseste kullanılırsa toplam enerji %90 seviyelerine ulaşır. Bu verimlilik sistemler arasında mükemmel bir uyum gerçekleşmesi ile mümkün olur (Oymak ve Batu,2001).



Şekil 1.6 : Kojenerasyon uyumlu Rankine çevrimi

Bu sistemler; sıcak su ve su buharı tüketim alanları bulunan endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılırlar. Ağaç işleme, kağıt ve tekstil sektörleri örnek uygulama alanları olarak verilebilir.

1.3.1.2 Gaz türbinleri

Gaz türbinleri, yanma sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren ünitelerdir. Bu sistemler açık çevrimli sistemler, kojenerasyon sistemleri ve kombine çevrimler şeklinde kullanılır.

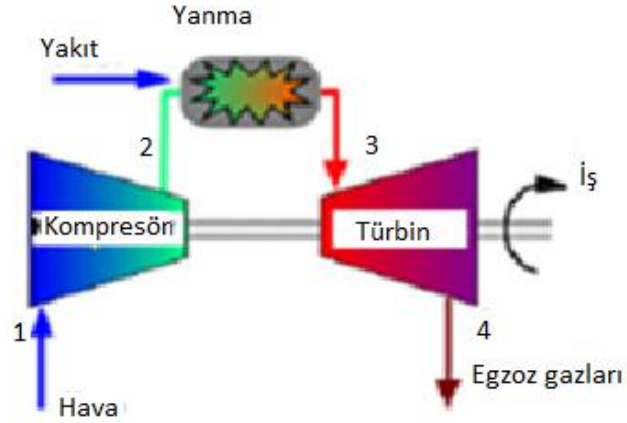
Son yirmi yılda gaz türbinleri piyasasında büyük bir gelişme gerçekleşmiştir. Yirmi yıl önceki kapasitesi %20 iken günümüze kadar bu yüzdeye %40'lık ek kapasite eklenmiştir (Edwards,2000).

Gaz türbinlerinin çalışma esası Brayton çevrimine dayanır. Sıkıştırılan gaz, yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşarak yanma odasına gönderilir. Yanma odasında, yakıtın yakılması gerçekleştirilir, yanma sonu gazları ile türbinin dönmesi ve enerji edilmesisağlanır. Kalan atık ısı da egzozdan atılır (Şekil 1.7).

Gaz türbinlerinde yanma sonucunda oluşan egzoz gazları 500°C-600°C arasındadır. Bu değer buhar üretilmesinde etkili olmaktadır. Böylece elektrik üretim verimi %45-60 arasında olabilmektedir (Çakır, 2007).

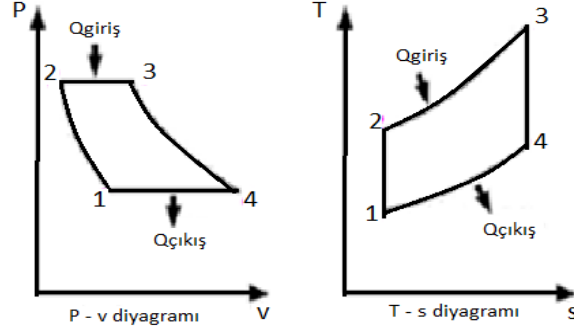
Açık çevrimli gaz türbin sistemlerinin termik verimleri oldukça düşük olmasına rağmen, hızlı devreye girebilmeleri ve yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre

düşük olması nedeniyle, pik yüklerin karşılanmasında tercih edilmektedir (Oymak ve Batu,2001).



Şekil 1.7 : Gaz Türbini çalışma prensibi (açık brayton çevrimi)

Sistemin teorik değerlendirmesinde kullanılan kapalı Brayton çevriminin diyagramı Şekil 1.8’de verilmiştir.

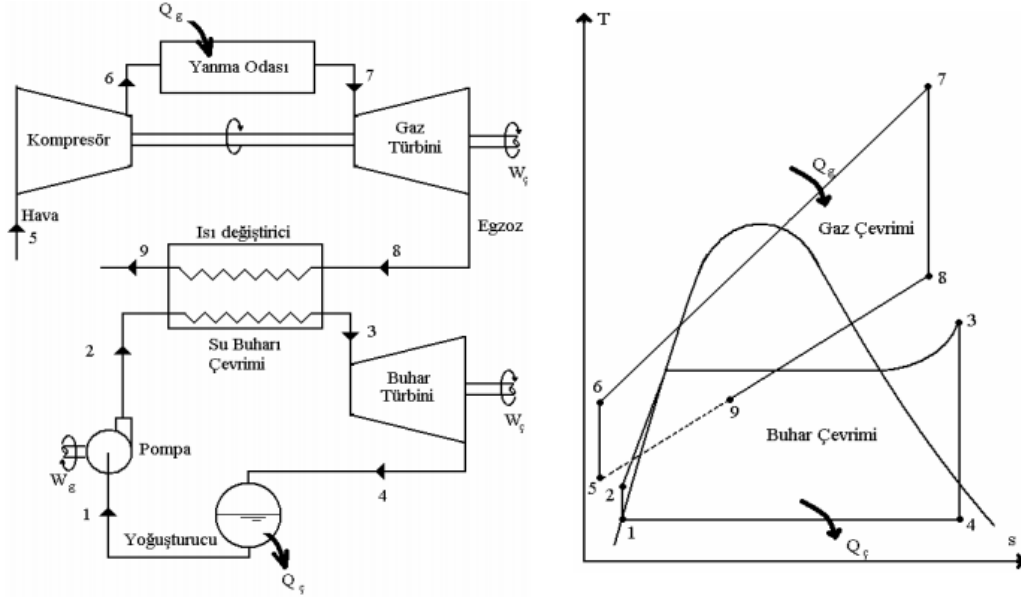


Şekil 1.8 : Kapalı Brayton diyagramı p-v ve T-s diyagramları

- 1-2 Pompayla izantropik sıkıştırma,
- 2-3 Kazanda, sisteme sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi,
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme,
- 4-1 Yoğuşturucuda sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı atılmasıdır.

Gaz türbinlerinde yüksek sıcaklıklara çıkabilmesi türbin kanatlarında etkin soğutma yapılması ve kanatların seramik gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeyle kaplanması halinde gerçekleşmektedir (Çetin,2005).

Gaz türbinli kombine çevrimin çalışması ve oluşan T-s diyagramı Şekil 1.9'da verilmiştir (Ünver, 2005)

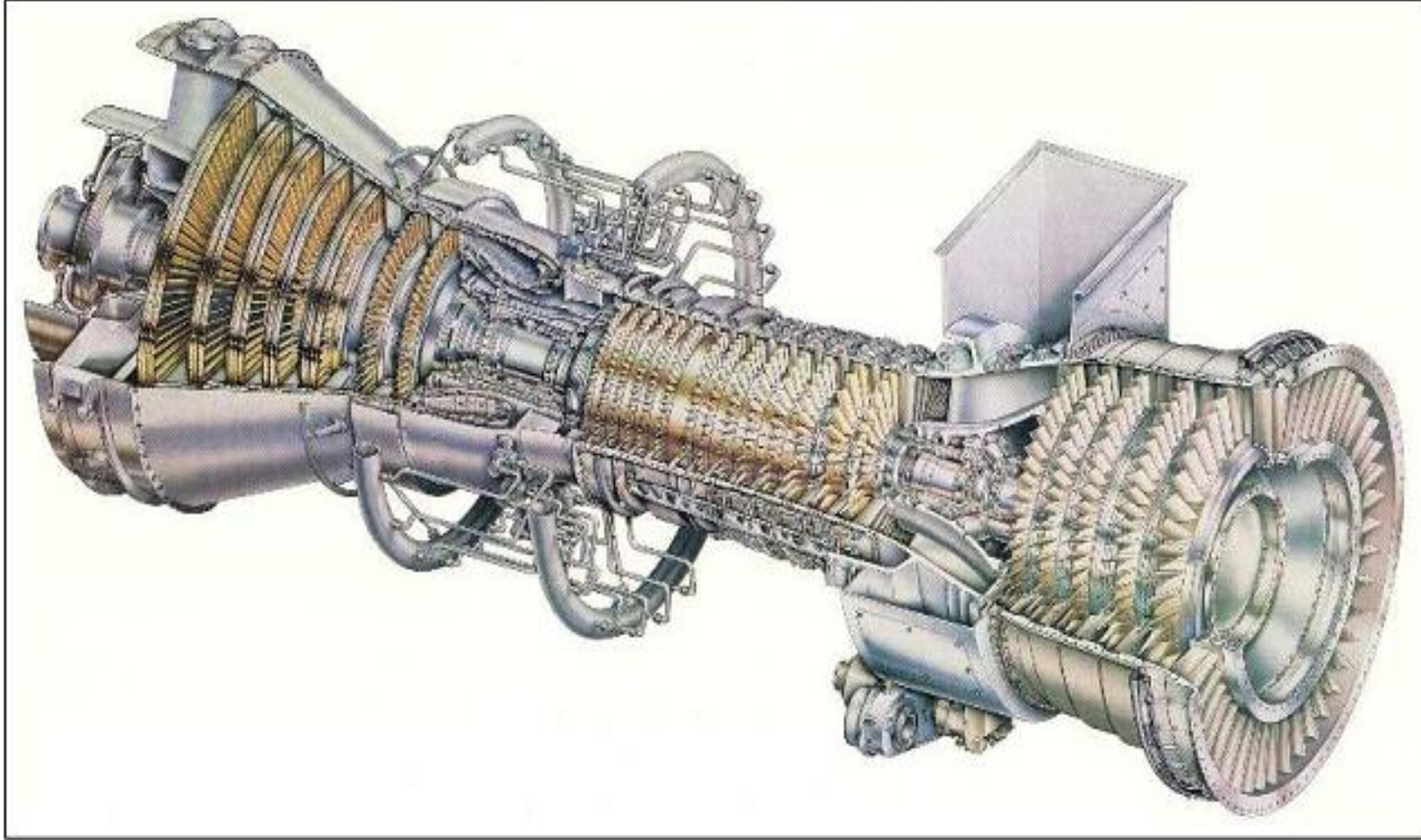


Şekil 1.9 : Gaz türbinli kombine çevrim şeması ve T-s Diyagram

Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri, buhar türbinli sistemlere göre daha fazla yakıt harcamaktadır. Buna karşılık da daha fazla güç üretilmektedir. Ayrıca gaz türbinlerin kurulumu daha kolay ve düşük yatırım gerektirir.

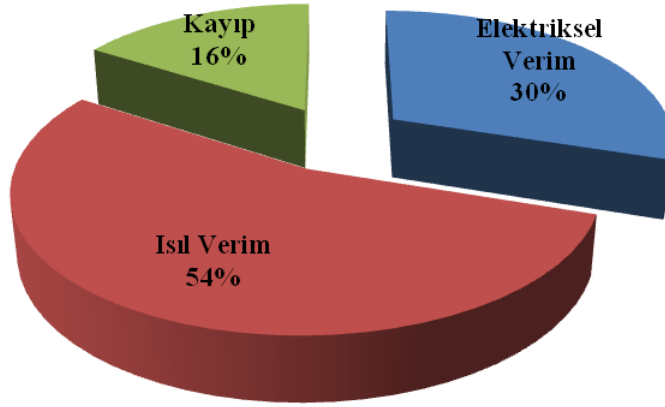
Türbin tip kojenerasyon sistemlerinin iyileştirilmesi, bir rejeneratör ilave edilmesi ile gerçekleşebilir. Rejeneratör'ün görevi, gaz türbininden çıkan gazların, kompresörden çıkan sıkıştırılmış havanın yanma odasına girmeden önce, egzoz enerjisi ile ön ısıtılma işlemini sağlayarak verimliliği artırmasıdır. Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde elektrik gücü verimliliğinin artırılmasında birinci yöntem; yakıt ve yanma havasının atık ısı ile ön ısıtılması, ikinci yöntem ise yanma odasına buhar püskürtme işlemidir (Öztürk ve Karaali,2007).

Kapladığı alan bakımından büyük hacme sahip olan gaz türbin yapısı Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10 : Gaz türbinitürbin kanatlarının görünümü

Şekil 1.11’de, türbin tipi kojenerasyon sisteminin verimlilik ve kayıp oranlarını vermiştir.

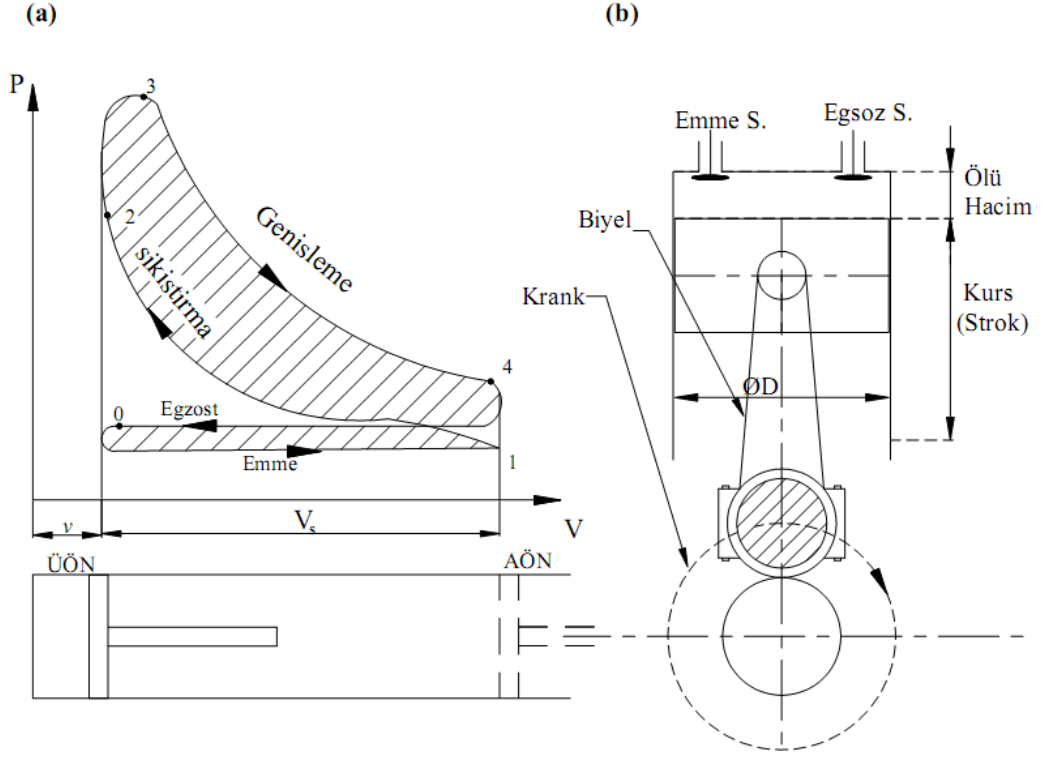


Şekil 1.11 : Türbin tipi kojenerasyon sistemlerinde enerji dağılımı

1.3.2 Motor tipi kojenerasyon sistemleri

Motor tipi kojenerasyon sistemlerinde bir çok çeşit vardır. Fakat buji-ateşlemeli Otto çevrimi ve sıkıştırılmalı-ateşlemeli dizel çevrimi en yaygın kullanılan iki çeşittir. 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 (Malamatenios,2001).

Otto çevrimi proses aşamaları ve diyagram grafiği Şekil 1.12’de verilmiştir. Proses aşamaları sıvı ve gaz yakıtlar için değişmemekle birlikte, ateşleme sisteminde değişiklik olmaktadır. Yakıtın tipi motor parametreleri açısından belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin sıkıştırma oranı dizel motorlarda, benzinli motorlara kıyasla daha yüksektir.



Şekil 1.12 : (a) Otto çevrimi gerçek diyagram (b) Piston-silindir şematik hali

0-1 arasında yakıt-hava karışımı silindir içerisine alınır,

1-2 arasında yakıt-hava karışımı sıkıştırılır ve 2 noktasında yanma gerçekleşir,

2-3 arasında yanmadan dolayı basınç artışı görülür,

3-4 arasında genişleme ile gazın basıncı düşer,

4-0 arasında atık egzoz gazları dışarı atılır.

Dizel motorlardaki yakıt olarak motorin ya da fuel-oil kullanılır. Dizel motorlu kojenerasyon tesislerinin yatırım maliyeti düşük olup, elektriksel verimlilikleri yüksektir. Fakat çalışmaları esnasında diğer sistemlerden fazla aşındıkları için bakım süreleri kısa, maliyeti fazla olmaktadır.

İçten yanmalı kojenerasyon sistemlerinde ısı üretimi, güç üretiminin yaklaşık 1.5 katı kadardır. Devreye alma süresi ortalama 20 saniye gibi çok kısa sürede gerçekleşir. Yakıt çeşitliliği fazla olmasına rağmen, daha çok doğalgaz kullanılmakta olup, biyogaz da kullanılabilir. Egzoz çıkışları, diğer sistemlere göre daha az salımlı

olduğu için çevreseldir. Bu sistemlerin maliyeti düşüktür fakat bakım dönemleri ve giderleri daha fazladır.

Pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıt enerjisinin;

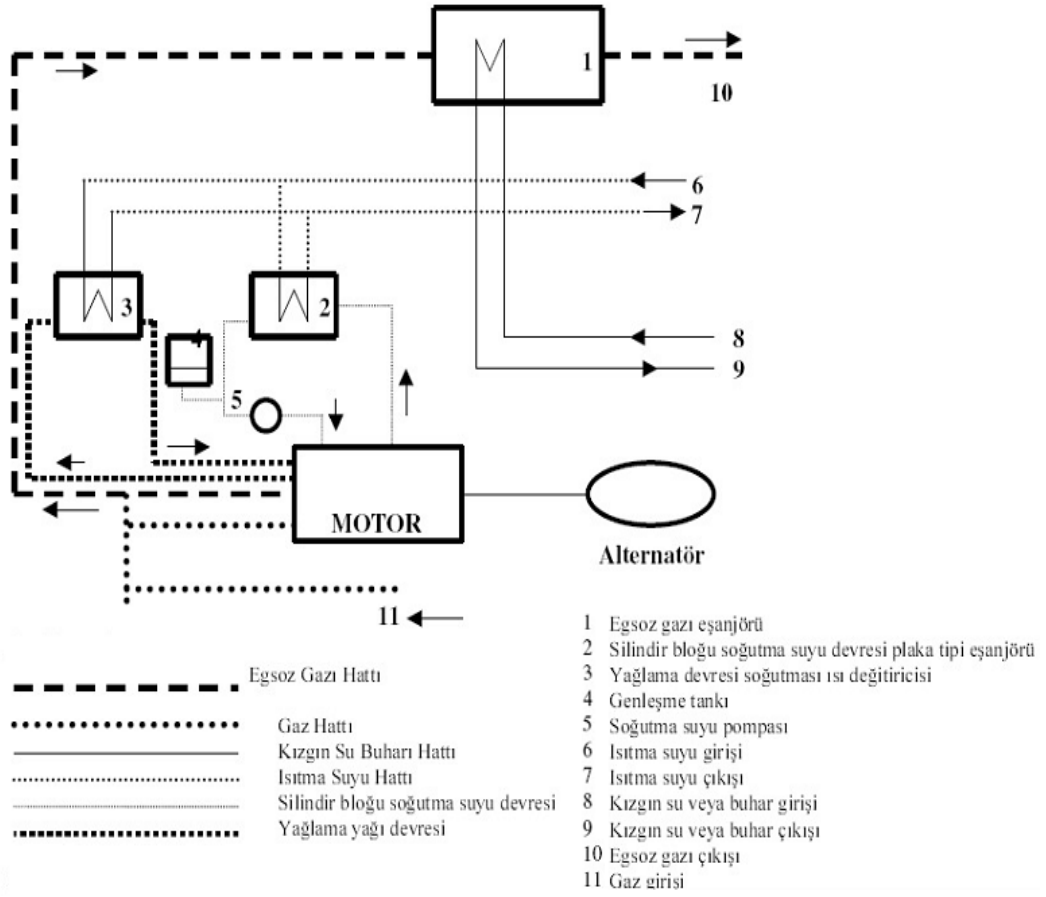
- %35-40'lık bir kısmı mekanik güce,
- %30-35'lik bir kısmı motor gömlek ısısına,
- %25-30'luk bir kısmı egzoz ısısına ve
- %7-10'luk bir kısmı da radyasyon enerjisi şeklinde kayıp enerjiye dönüşmektedir (Çakır,2006).

Gaz motorlarında atık ısının yaklaşık 1/3 oranı egzoz gazından, 2/3 de motorun soğutma sistemlerinden geri kazanılır. Küçük güçlerde bu sistemler uygulanır. Tek modülde 100kW dan 3MW seviyelerine kadar çalışan motorlar olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santraller 10 MW seviyelerine ulaşmaktadır (Çakır,2006).

Elektrik enerjisi ihtiyacı kadar ısı enerjisine de ihtiyaç olunması durumunda bu sistemlerin seçilmesi en uygun yaklaşım olarak bilinir. Alışveriş merkezleri (AVM), hastane, üniversite kampusları en üst düzeyde tercih yerleridir. Ayrıca bu sistemlerin tercih sebebi, kısmi yükte de verimli olarak çalışmasıdır.

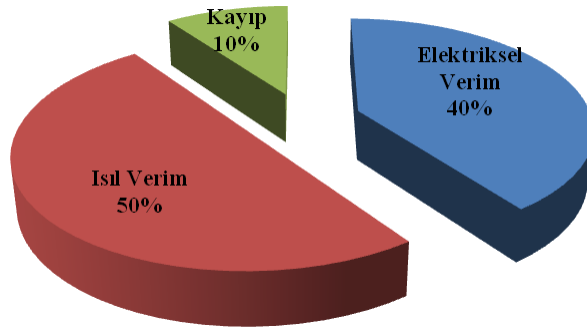
İçten yanmalı motorlar genellikle düşük ve orta güçlü kojenerasyon sistemleri için uygundur. 50 kW - 10 MW arasında olan sistemlerde doğalgaz, 50kW - 50MW arası dizel ve 2.5MW - 50MW arası ağır yakıt kullanılan sistemler olarak ayrılırlar (Abusoglu ve Kanoglu,2008).

Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin prensip şeması ve detayları Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.13 : Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması

Şekil 1.14’te, motor tipi kojenerasyon sisteminin verimlilik ve kayıp oranları verilmiştir. Bu sistemler de toplam verimlilik oranı yüzde doksan seviyesindedir.

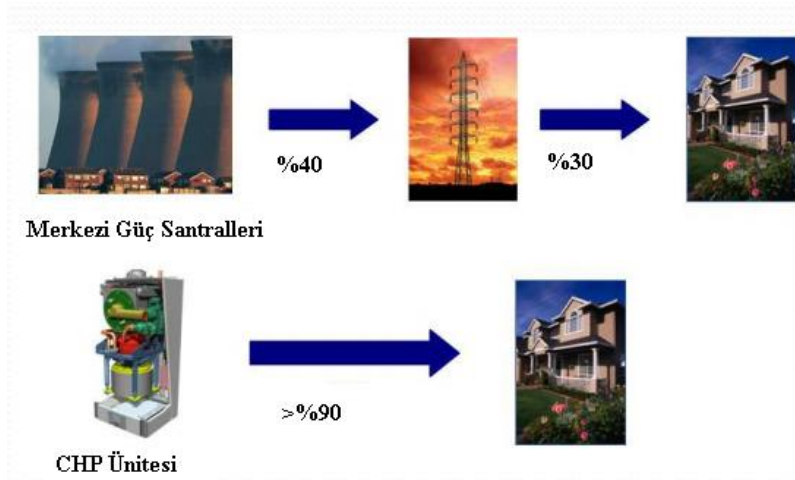


Şekil 1.14 : Motor tipi kojenerasyonsistemlerinde enerji dağılımı

1.4 Diğer Kojenerasyon Üniteleri

Diğer kojenerasyon sistemlerinden mikro ölçekli olanlar, çalışma saatleri belli olan, okul, otel, ofis, yurtlar, hastane veya 50kW_e kadar düşük enerji gerektiren evsel uygulamalar için kurulan sistemlerdir.

Yönetmeliğe göre, bu sistemlerin kurulu gücü 50kW_e altında olan yerler için lisans alma zorunluluğu yoktur. Mikro kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanımı yaygındır. Doğalgazın olmadığı yerlerde ise biyogaz veya LPG kullanımı mümkündür. Klasik güç santrallerinden konutlara gelen elektrik enerjisi ile konutlarda mikro kojenerasyon ile üretilen elektrik enerjisinin karşılaştırılması Şekil 1.15'te verilmiştir.



Şekil 1.15 : Mikro CHP ünitesi ile merkezi güç ünitesi karşılaştırması

50kW altında üretim yapan mikro kojenerasyon sistemlerin çalışma tipi bakımından 4 farklı sisteme sahiptir.

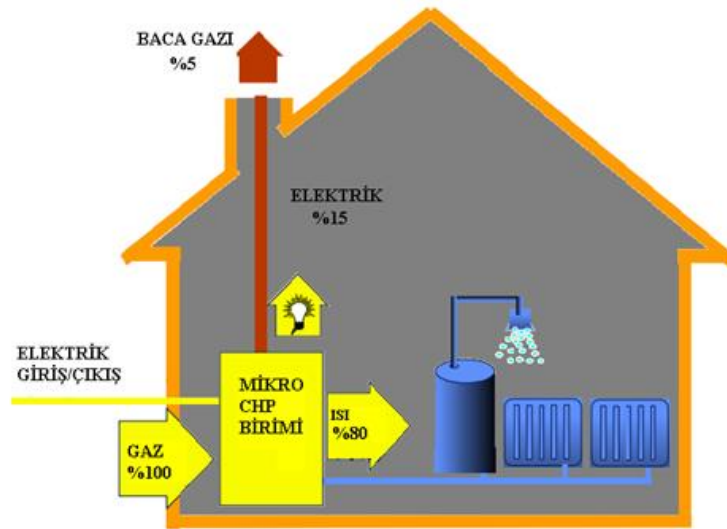
- içten yanmalı motorlar,
- mikro türbinler,
- stirling motorlar,
- yakıt pilleri,

Bu sistemlerden içten yanmalı motorlar ve mikro türbinler ticari olarak kullanıma sahiptirler. Fakat yakıt pilleri ve stirling motorları üzerine yapılan çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Mikro kojenerasyon sistemlerinin güç, verim, yatırım maliyeti vb özelliklerinin kıyaslanması Çizelge 1.4'te, evsel uygulaması ise Şekil 1.16'da verilmiştir.

Çizelge 1.4 : Mikro ölçekli sistemlerin karşılaştırılması (Aygün, 2009)

	İçten Yanmalı Motorlar	Mikro Türbinler	Stirling Motorlar	Yakıt Pilleri
Güç (kWe)	10-200	25-250	2-50	2-200
Elektriksel Verim	25-45	25-30	15-35	40-50
Kısmi yük Verimi (%50)	23-40	20-25	~35	35-50
Toplam Verim	75-85	75-85	75-85	75-90
Çıkış Sıcaklığı (°C)	85-100	85-100	60-80	60-80
Bakım Zamanı (saat)	5000-20000	20000-30000	~5000	10000
Gürültü (dBA)	50-65	50-70	(b)	0
Yatırım Maliyeti (\$/kW)	800-1500	900-1500	1300-2000	2500-3500



Şekil 1.16 : Evsel uygulamalı mikro kojenerasyon sistemi

1.4.1 Yakıt Pili Mikro Kojenerasyon Sistemleri

Mikro kojenerasyon sistemlerinden içten yanmalı motorlar ve mikro türbinler kullanım alanı bulmalarına karşılık, yakıt pillerinin maliyeti ve kullanılacak yakıtın depolanmasındaki sorunlar yüzünden ticarileşmemiştir.

Bu sistemin ticarileşmesi halinde görülecek avantajlar, sistemin alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidrojen, güneş pilleri, biyokütle, rüzgar vb.) ile uygulanabilmesi, kojenerasyona imkan sağlaması, enerji üretim veriminin yüksek olması, emisyonların düşük olması, enerji iletim ve dağıtım kayıplarının düşük olması şeklinde sıralanabilir.

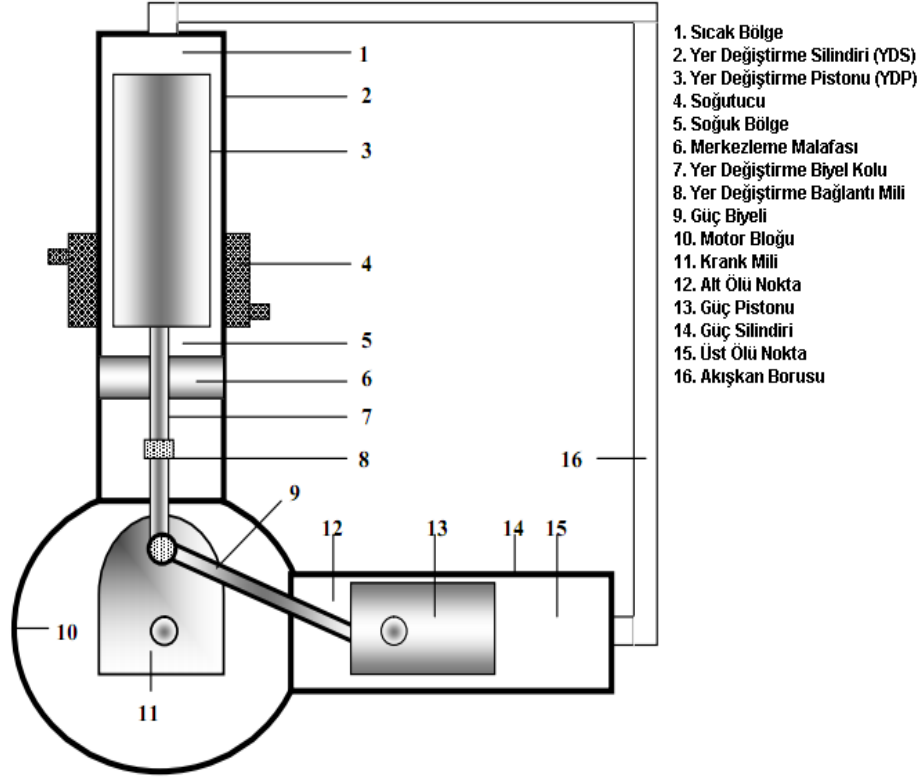
1.4.2 Stirling Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

Stirling motorların ilk ticari satışı 2010 yılında İngiltere’de yapılmıştır. Bu sistemlerin en önemli ve halen araştırılan sorunu, çalışma akışkanı içeren bir eşanjör’e ihtiyacı olmasıdır. Eşanjör, hem maliyeti artırmakta, hem de üretilen gücün büyük bir kısmını harcadığı için verimi olumsuz etkilemektedir.

Stirling motorlarının verimlilik kapasitesi Carnot çevrimine çok yakın olduğu için Rankine çevrimine göre daha yüksektir. Yapılan çalışmalara göre bu sistemlerin elektrik verimliliği %40 civarında olup, yakın zamanda %50 seviyelerinin üstüne çıkması beklenmektedir (Ramsey,2001).

Bu motorların çalışma prensibi, çalışma gazının (genellikle hava) ısıtılma ve soğutulması tekrarına dayanır. Gaz ısındığı zaman basıncı yükselir ve güç pistonunu etkileyerek güç stroku üretir. Üretilen işin bir kısmı, soğuduğu zaman basıncı düşen gazı tekrar sıkıştırmak için kullanır. Üretilen net iş mil üzerinde güç oluşturur.

Şekil 1.17’de, yaygın olarak bilinen alfa tipi bir stirling motorun çalışma kısımlarının görünüşü verilmiştir.

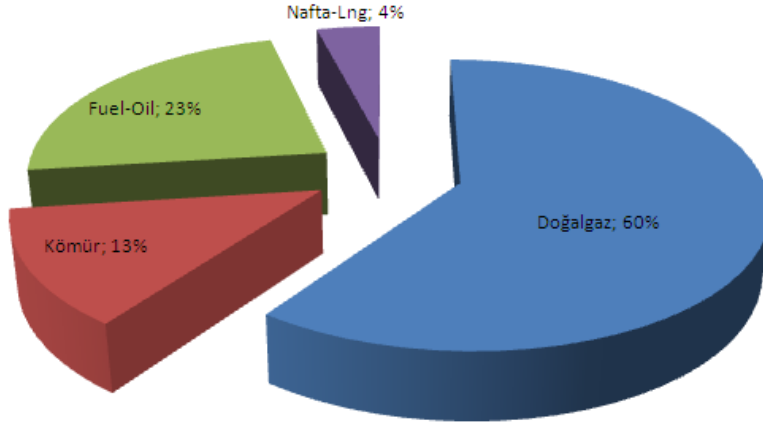


Şekil 1.17 : Stirling motor ve kısımları

Bu sisteme göre sıkıştırma oranı, ölü hacimler bakımından önemli olduğu için 1,5-2 arasında tutulmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dışarıdan enerji sağlayıcısı olarak bu sistemlerde kullanılabilmesi için sıcaklık, verim ve performansının artırılması gerekmiştir (Demir ve Güngör,2010).

1.5 Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon tesisleri için kullanılan veya kullanılacak yakıtların optimizasyonu, sistemin kaliteli üretim sağlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerde kullanılacak yakıtın belli ölçekteki oksijen (O_2) ile karışımı sağlanarak kaliteli bir enerji açığa çıkması sağlanır. Kojenerasyon için kullanılan bazı yakıt türleri ve kullanım oranları Şekil 1.18’de verilmiştir.



Şekil 1.18 : Kojenerasyon için kullanılan yakıt oranları

Gaz motorlarında, yakıtın sıkıştırılması esnasında, erken yanma meydana gelmesi ile motorda şok dalgaları oluşumu gözlenir. Bu da motorda tahribata sebep olur. Bu sorun, özellikle gaz motorlu kojenerasyon sistemleri için yakıt seçiminde sınırlamaya sebep olmaktadır.

Doğalgaz, fuel oil, lpg, propan, nafta, çöplük gazı gibi yakıtlar kojenerasyon motorları için kullanılabilir. Gaz motorlarında kullanılan yakıtların metan sayısı elektriksel verim için önemlidir. Yani metan sayısı yükseldikçe verim de artmaktadır.

Doğalgaz, çevreci bir yapısı olması, taşınabilirliği ve ısı veriminin yüksek olması sebebiyle öncelikli yakıt olarak kullanılmaktadır. Gaz türbin motorları ve pistonlu motorlarda kullanılabilen doğalgazın yüksek verimlilik göstermesi ve karbon salımı değerinin düşük olması, diğer yakıt türlerine göre üstünlükleridir. Ayrıca doğalgaz bileşenlerinde yanmayan madde olmadığı için verimi yüksek olup, depolanması da kolay olmaktadır.

Yakıt çeşitliliğine sahip kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilen yakıtlar ve yanmanın etkin malzemesi olan metan sayıları Çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5 : CHP sistemlerinin yakıtları ve teknik özellikleri

Yakıt Türü	Özgül ağırlık kg/nm ³	Alt ısı değer kWh/nm ³	Metan Sayısı	Alev hızı cm/s
Hidrojen	0,0899	2,996	0	302
Metan-	0,717	9,971	100	41
Propan-	2,003	26	33	45
CO	1,25	3,51	75	24
Doğalgaz	0,798	10,14	80	41
Arıtma	1,158	6,5	135	27
Çöplük	1,274	4,98	150	20
Odun gazı	1,25	1,38	13	-

1.6 Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon sistemleri endüstriyel alanlarda, gerekli olan ihtiyaca (yüksek sıcaklıktaki ısı veya elektrik miktarı) göre kullanım çeşitliliğine sahiptir. Endüstrideki kullanım alanları, petrol rafinerileri, petrokimya kompleksleri, kimya tesisleri, tekstil boyama tesisleri, kağıt ve selüloz işleme tesisleri, ağaç işleme tesisleri, gıda üretim tesisleri, gübre tesisleri, tuğla ve seramik tesisleri olarak sıralanabilir. Bununla birlikte hizmet alanlarındaki kullanımında başta hastaneler olmak üzere oteller, yurtlar, okul kampüsleri, havaalanları bulunmaktadır.

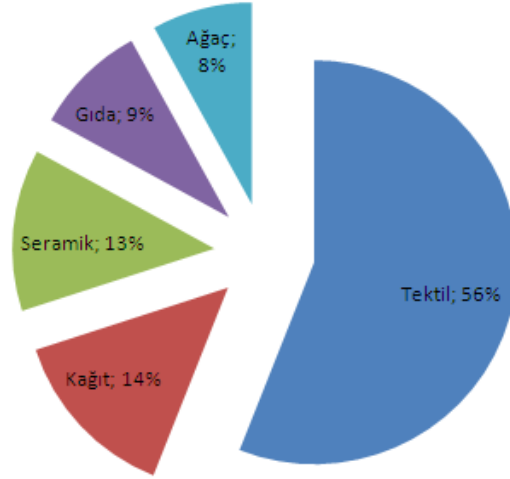
Kojenerasyon tesisleri, hem bölgesel ısıtmalar, hem endüstriyel alanlar, hem de 50kW'dan küçük mikro ölçekli konutsal uygulamalar için kullanım alanı bulmaktadır. Bu alanlarda kojenerasyon uygulamalarının artması ile tüketimin azalmasına paralel olarak kuruma veya kişiye daha ekonomik olacaktır.

Ayrıca üretim lisansı alan özel kuruluşlar da ürettikleri enerjiyi satmak ve kâr sağlamak amaçlı bu tip yapılanmalara yönelmişlerdir.

Bölgesel ısıtmalarda amaç, hedef bölgenin ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması şeklindedir. Bu ihtiyaçlar için bir veya daha çok merkezli santrallerden yararlanılır. Avrupa ülkelerinde yaygın olan bölgesel ısıtma sistemleri ile merkezi

bölgede üretilen ısı, iletim ekipmanları aracılığı ile gerekli yerlere iletilir. Bu esnada üretilen elektrik de şebekeye gönderilir.

Türkiyedeki kojenerasyon tesislerinin kullanım alanlarına oranları Şekil 1.19'de verilmiştir.



Şekil 1.19 : Kojenerasyon sistemlerinin kullanım alanları

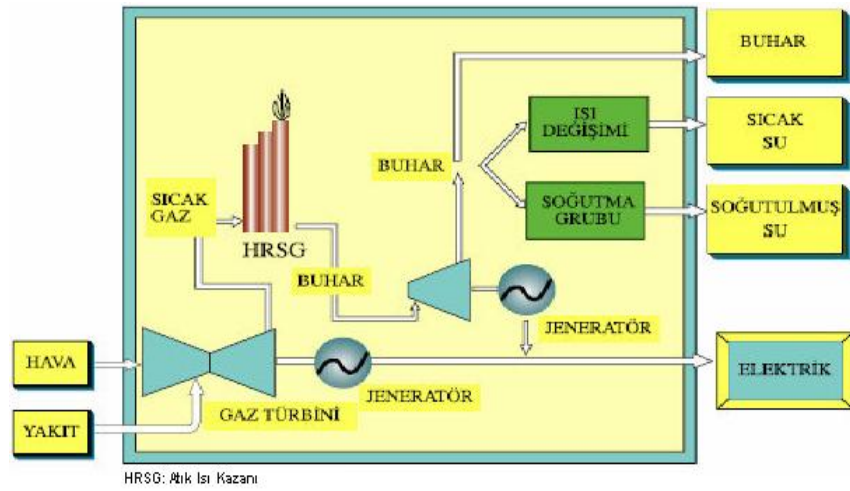
Bu sistemler, kentsel dönüşüm projelerinde sadece ısıtma ve elektrik üretim amaçlı kullanılmayıp aynı zamanda absorpsiyonlu kazanlarla birlikte soğutma amaçlı olarak da kullanılırlar. Bunlara “Trijenerasyon sistemler” denir. Yani ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacı eş zamanlı olarak sağlanır.

Trijenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi de kojenerasyonlar gibidir. Sadece sistemlerin sahip olduğu absorpsiyonlu chiller kazanları su veya buhara tepki olarak soğutucu duruma geçerler. Böylece kojenerasyon sistemlerinde elde edilen ısı ve elektriğe ek olarak soğutma işlemi de gerçekleştirilir.

Alışveriş merkezlerinde genellikle kullanılan bu sistemlerin uygulanmasındaki en büyük sorun kojenerasyon sistemlere göre yaklaşık %40 daha fazla yüksek maliyet gerektirmeleridir. Buna karşılık tasarrufa katkı oranları ise %5-10 arasındadır. Bu oranlardan yola çıkılarak trijenerasyon sistemleri için yapılan yatırımın geri dönüşüm süresi, kojenerasyon sistemine göre daha uzun olmaktadır.

Ayrıca trijenerasyon sistemlerindeki en önemli konulardan biri de kurulumu yapılacak yer içinde yaklaşık 30-40m² kapalı alan gerekmektedir. Zira soğutma

grubundan olan absorpsiyonlu chiller grubu sadece kapalı alanda muhafaza edilebilir. Şekil 1.20’de trijenerasyon sisteminin işleyiş şeması yer almaktadır (İster,2006).



Şekil 1.20 : Trijenerasyon sistemin şematik görünüşü

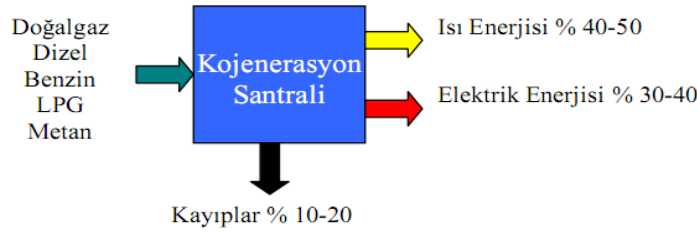
1.7 Kojenerasyon Sisteminin Avantajlar

Kojenerasyon sistemleri, enerji verimliliği açısından en önemli sistemlerden birisidir. Bu sistemler ile düşük yakıt tüketimi, kaliteli ve ekonomik bir çevrim sağlanır. Sistemlerin dezavantajı, konvansiyonel sistemler ile kıyaslandığı zaman çok düşük seviyededir. Kojenerasyon sistemlerinin diğer sistemlere göre üstünlükleri şu şekilde sıralanır;

- Isı ve elektrik ihtiyacı, tek kaynaktan alınan yakıt ile sağlanması,
- Konvansiyonel sistemlere göre enerji verimliliğinde üstünlük sağlaması,
- Yakıt kullanımında esnek olması, ihtiyacı ölçüsünde çalışması,
- Üretimin ve tüketimin aynı yerde gerçekleşmesinden dolayı enerji nakil kayıplarının çok az olması,
- İletim ve dağıtım amaçlı kurulması gereken tesislerin sayısı, bu sistemler ile azalacağı için ek maliyet oluşumlarının önlenmesi,
- CO ve NO_x gibi zararlı gazların salınım oranlarını düşürmesi ile çevreci sistemler olarak çalışması,
- Kurulumlarının kolay, montajının kısa sürmesi,
- Günlük bakımlarında uzman bir elemana ihtiyacın olmaması,

- Periyodik bakımları uzun sürmediği için şebeke bağlantılarının kısa sürmesi, tasarruf değerlerinin etkilenmemesi,
- Basit hataların online ile uzaktan erişim sağlanarak düzeltilmesi,
- Bu sistemlerin kullanımının yaygınlaşması ile dışa bağımlılığın azalması.

Şekil 1.21’de farklı yakıt türlerinin kojenerasyon sistemi ile kullanılabileceği gösterilmiştir. Üretim ve tüketim yeri aynı olduğundan dolayı enerji hat kayıp oranının %10-20 seviyelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.21 : Kojenerasyon sisteminin farklı yakıt türleri ile kullanımı

Bütün bu özellikler kojenerasyon sistemlerinin daha yaygın olarak kullanılması gerekliliğini detaylı bir şekilde açıklamaktadır.

1.8 Kojenerasyon Sisteminin Türkiye'deki Durumu

1984 yılına kadar Türkiye'nin elektrik işleri Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) tarafından idare edilmiş, enerji arz açıklıkları ithal kömürler ile sağlanmıştır. 1984 yılında çıkarılan kanun ile özelleştirme hakkı çıkarılmıştır.

Günümüzde, sanayileşme ve kalkınmanın en önemli girdileri arasında yer alan enerji, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de güncelliğini sürdürmektedir.

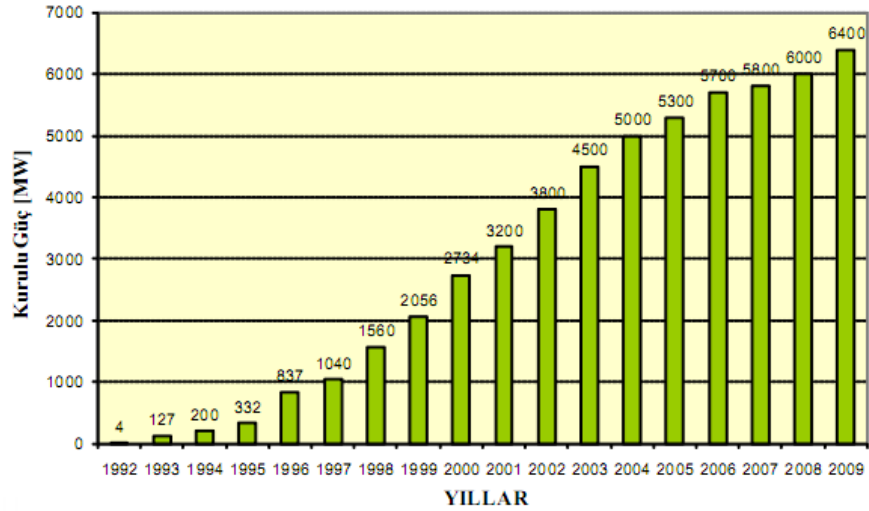
Ülkelerin enerji politikalarındaki ana hedefleri; enerjinin tüketiciye yeterli, kaliteli, sürekli, ekonomik ve çevreci olarak sunulması olmalıdır. Ülkemizde bu doğrultuda enerji üretimi yapan ve üretime girmek isteyen firmalara yeterli desteği sağlayacak politikalarını geliştirmelidir.

Türkiye'nin ilk otoproduktör kojenerasyon santrali, çıkan bu izin ile 1992 yılında Yalova Elyaf fabrikasında 3,7MW'lık Typhoon Gaz türbini ile başlamıştır.

2002 yılında, Türkiye'de 20 milyar kWh elektrik enerjisi ve 20.000 Terakalori faydalı ısı üretilmiş ve % 65'e varan üretim randımanı ile 2 milyon TEP primer enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca CO₂ gazlarında 10 milyon tonluk bir azalma sağlanmıştır (Ağış,2012).

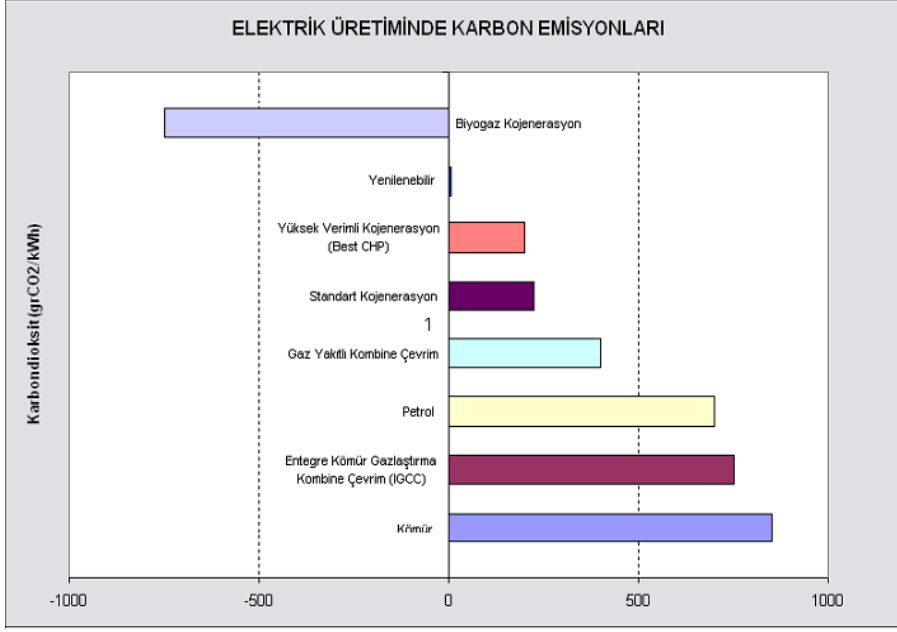
Kojenerasyon alanında yapılan gelişimler ile 2003 verilerine göre emisyon salınımları düşürülmüştür. Bununla birlikte tüketilen enerjinin yaklaşık %17'lik kısmına destek sağladığı görülmüştür. Ayrıca 2006 yılı verilerine göre, Türkiye'nin kapasite artışı 5.700MW olarak belirlenmiştir (Anonim, 2008).

Şekil 1.22'de Türkiye'nin yıllara göre artan kojenerasyon tesislerinin gücü verilmiştir.



Şekil 1.22 : Türkiye'de yıllara göre kojenerasyon kurulu güç değerleri

Kojenerasyonun tüm dünyada olduğu gibi Türkiyede de teşvik kazanması, önem görmesinin sebebi sadece sağladığı enerji verimliliği ile tarif edilemez. Sistemlerin verimliliğine paralel olarak sağladığı önemli bir katkı da karbon emisyon değerlerini önemli ölçüde düşürmesidir. Şekil 1.23'de farklı enerji kaynakları ile karşılaştırılan kojenerasyon sistemlerinin karbon emisyon değerleri verilmiştir. Çizelge 1.6'da ise ülkeler bazında 2008 yılındaki kojenerasyon tesislerinin kurulum sayıları verilmiştir.



Şekil 1.23 : Yakıtlara göre karbon emisyon değerleri

Çizelge 1.6 : Ünelere göre CHP uygulama sayıları

ÜLKE	SAYI	ÜLKE	SAYI	ÜLKE	SAYI
Avustralya	1864	Grooco	240	Portekiz	1080
Avusturya	3250	Macaristan	2050	Romanya	5250
Belçika	1890	Hindistan	10012	Rusya	65100
Brezilya	1316	Endonezya	1203	Singapur	1602
Bulgaristan	1190	İrlanda	110	Slovakya	5410
Kanada	6765	İtalya	5890	İspanya	6045
Çin	28153	Japonya	8723	İsveç	3490
Çek Cum.	5200	Kore	4522	Tayvan	7378
Danimarka	5690	Letonya	590	Türkiye	790
Estonya	1600	Litvanya	1040	İngiltere	5440
Finlandiya	5830	Meksika	2838	ABD	84707
Fransa	6600	Hollanda	7160		
Almanya	20840	Polonya	8310		

1.9 Kojenerasyon Sisteminin Seçim Faktörleri

Kojenerasyon sisteminin seçiminde, aşağıda verilen faktörlere dikkat edilmelidir:

- Sistemdeki güç ve buhar yükleri maksimum ve minimum oranları hesaplanmalı,
- Hangi enerji ihtiyacının, buhar/elektrik, öncelikli olacağına karar verilmeli,
- Sistem, güç ve buhar yükünde gerçekleşecek düşüş ve çıkış gibi ani dalgalanmalara cevap verebilmeli,
- Normal çalışmalarda, güç veya buhar dengesinden birinin artışı ile diğerinin de azalacağını dikkate alınmalı,
- Kullanılacak yakıt türünün uygulanacak bölgede bulunabilme durumu incelenmeli,
- Periyodik bakım giderleri ve sistemin çalışma ömrü önemsenmeli,
- Sistemi etkileyecek çevre, hava, alt yapı gibi lokal koşullara dikkat edilmeli,
- Proje bitiş süresi, maliyeti ve uzun süreli faydalarına sistemin seçimi esnasında doğrudan dikkat edilmedi.

Türkiye’de kojenerasyon sistemlerinin kurulumları, başta hastaneler olmak üzere, alışveriş merkezlerinde, tekstil fabrikaları, kağıt fabrikaları gibi endüstriyel alanlarda, okul kampüslerinde, havaalanları gibi önemli çalışma yerlerinde öncelik bulmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kojenerasyon sistemlerinin geliştirilmeleri ve uygulamaları üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Yapılan çalışmalar; Motor ve türbin tipinin seçilme kriterleri ve seçilen tipin etkin kullanımı üzerine yoğunluk kazanmıştır.

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin yoğuşmalı ve geri basınç özelliklerinin sisteme etkisini Zaporowski ve arkadaşı (2003) araştırarak, sistemin enerji verimliliğini ve çevreye etkisini iki farklı uygulama ile incelemiştir.

1- Bir gaz buhar bileşimli, yoğuşmalı buhar türbinli ısı ve güç üretim santrali

2- Bir gaz buhar bileşimli, geri basınçlı buhar türbinli ısı ve güç üretim santrali

Verilen iki uygulama için farklı çalışma şartlarında durum değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmalarında CO₂ salınımının düşürülmesi, kömürün yerine doğalgaz ve diğer yakıtları kullanılmasının uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca, bilgisayarlı çoklu değiştiricili simülasyon programı ile elemanların farklı çalışma şartları matematiksel olarak da modellenmiştir. Herbir değişimde, kojenerasyon sisteminin enerji verimliliği, elektrik üretim durumu ve kojenerasyon faktörü hesap edilmiştir.

Çalışmalarının sonucunda; yukarıda ifade edilen iki sistem içerisinde geri basınçlı buhar türbinli ısı ve güç üretim santralinin, söz konusu santral için de yakıt olarak doğalgazın daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Böylece hem yüksek verim, hem de çevreye zararlı gaz salınımlarının azaldığı vurgulanmıştır.

Gaz türbinli sistemlerde verim artırma çalışmaları yapan Bhargava ve diğerleri (2002), kademeli türbin sistemin kompresör ve türbin bölümünün verimini artırmanın üzerinde durmuşlardır. Tasarım uygulaması için Alstom, General Motor ve Mitsubishi gibi firmalardan sistem alınmıştır. Çalışmalarında basit ve kapsamlı bir gaz türbini tasarlanması için intercooler (ara soğutucu) ve tekrar ısıtılmalı çevrim referans alınmış, kompresör ve türbin bölümü incelenmiştir. Sistem temininde; yeterli tasarım özelliklerine sahip olması, kolay analiz edilebilmesi ve gelişmiş aerodinamik

özellikleri olan yeni teknolojiye sahip olması gibi önemli parametrelere dikkat edilmiştir.

Çalışmada yeni kompresör ve türbin tasarımı için parçaların boyutları, akışkan için açıcı değeri, yükleme ve akış faktörü, reaksiyon derecesi üzerinde değişimler yapılarak değerlendirilmiştir. Yapılan düzenlemelerle orijinal türbin verim değerlerinden %9-%26 arasında daha fazla verim elde edildiği ifade edilmiştir. Modifiye edilen bu sistemlerde egzoz ısı değerleri, orjinallere göre reküperatör kullanarak yükseltilmiştir. Yenileme işleri için oluşan maliyetin, sistemden sağlanacak güç ve verim artışı ile telafi edilebileceği açıklanmıştır.

Bhargava vd. gibi Franco ve arkadaşı da (2004) kojenerasyon sistemi üzerindeki parçaların modifiye edilerek sistemin toplam veriminin artırılmasını araştırmışlardır. Franco ve Casarosa, kojenerasyon sisteminin fizibilite analizini yapmışlar, verimliliğini artırmak için farklı parçaların analizini değerlendirmişlerdir.

Sistem bileşenlerinin optimizasyonu ile %60 verime sahip santralin, verim değerinin daha yukarılara çekilebileceği gösterilmiştir. Birim güç başına santral toplam maliyetinin düşürülmesi ve ekserji kayıplarının maliyet ekonomisine dayandırılması ile gaz türbinleri için teknolojik gelişim olmadan ve mevcut sistemin en iyi şekilde sisteme uydurulmasıyla %62 den fazla verim alınabileceğini göstermişlerdir.

Çalışmada; atık ısının termo-ekonomik optimizasyonu yapılarak verimin artırılacağı ifade edilmiştir. Bu amaçla, sisteme rejeneratör ilavesi yapılmıştır. Uygulama ile verimin %68 değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Elhanan (2006), sayısal modelleme yaparak farklı sistemleri karşılaştırmıştır. Çalışmasında gaz türbini, atık ısı kazanı, buhar türbini ve absorpsiyonlu soğutucudan oluşan kombine ısı-güç sisteminin sayısal bir modelini oluşturmuştur. Bu modelleme ile enerjiden yararlanma oranı belirlenmiştir. Sistemde buhar çevrimi ve absorpsiyonlu soğutucu, gaz türbini çevrimine atık ısı kazanı ile bağlanmıştır. Yakıt olarak doğalgaz kullanılan sistemin analiz sonucuna göre enerjiden yararlanma oranı %70 olarak bulunmuştur. Sistemlerin tekil olarak çalıştırılması durumunda ise verimlerinin ortalama %50 azaldığı görülmüştür. Maliyet analizi yapılan sistemin geri ödeme süresi 7-9 yıl olarak bulunmuştur.

Şahin ve Bekdemir (1995), çalışmalarında; maliyet metodu ile kojenerasyon çevrim santrallerinin birim enerji üretim maliyetlerini alternatif tesislerin birim enerji üretim maliyetleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada “bir değere getirilmiş maliyet” isimli metod kullanılmıştır. Metodun tekniği verilerin doğruluğu ve hassasiyetine bağlıdır.

Alınan veriler, OECD ve IAEA ülkeleri tarafından hesaplanan son değerler olmuş, Türkiye verileri ile birlikte kullanılarak hassas bir enerji üretim maliyeti çıkarılmıştır. Ayrıca ekonomik bölge araştırmasının sonuçları bu hesaplamalar ile özetlenmiştir.

Çalışmada, enerji tesis gücü artırılırsa birim enerji üretim maliyetinin düşeceği, Türkiye’de mevcut fiyatlarla hesaplama yapıldığında daha düşük birim enerji üretim maliyetinin oluşacağı, doğalgaz ortalama fiyatları OECD ülkelerinin ortalamasına yaklaştığı zaman yerli kömür kullanan buhar tesisinin daha ekonomik olacağı tespit edilmiştir.

Kojenerasyon ve klasik sistemlerin verimliliğinin karşılaştırılması ve daha verimli olduğu, kısa sürede dönüşüm sağlayacağı Zhi-Gao’nun (2008) yaptığı çalışma ile gösterilmiştir.

Zhi-Gao, çalışmasında gaz motorlu kojenerasyon sistemlerini incelemiştir. Sistemden elde edilen enerji verim değeri klasik sistemlerle karşılaştırılmıştır. Yıllık kazanç, yıllık gelir ve geri ödeme süresine göre karşılaştırılan kojenerasyon sisteminin, klasik sisteme göre %37 daha tasarruflu olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamada elektrik ve gazın birim fiyatları Çin ülkesine göre referans alınmıştır. Farklı illerdeki birim değerlerine göre en düşük 2,65 yılda ve en yüksek 4,52 yılda geri dönüşüm sağlayacağı gösterilmiştir.

Wickart & Madlener (2007), çalışmalarında hem konvansiyonel sistemlerin kurulumuyla ısı elde edilmesi, hem de şebekeden elektrik alınmasına izin verilecek kojenerasyon sistemlerinin firma için kurulumunun uygun olup olmayacağını analizini yapmışlardır. Yatırım için etkili olacak analizde, enerji fiyatlarındaki değişkenlik riskleri de hesaplama katılmıştır. Ayrıca bu çalışmada gerçek maliyet değerlerine dayalı olarak gaz yakıtlı kojenerasyon sistemi ve sadece ısı üretimi yapan sistemlerin sayısal analizi yer almıştır. Sistemlerin mukayese kolaylığı için durdurma

ve sistemin tekrar devreye alınma sıklığı dikkate alınmamıştır. Yani herbir sistem bir defa da devreye alınmış olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada, teknolojinin seçiminden veya yatırım zamanının belirlenmesinden önce yatırım değerinin belirlenmesi gerektiği ve bunların analizde bir sıra şeklinde olması vurgulanmıştır. Ayrıca elektrik ve yakıt birim fiyatları arasındaki farkı gösteren bir model oluşturulmuştur. Bu fiyat farkının yüksek olmaması ile oluşturulan modelin uygulamalı örnek bir model olacağı gösterilmiştir.

Kojenerasyon sistemlerinde enerji eldesini sağlayan soğutma suyu dolaşımının kontrol altına alınabileceği Haungfu ve diğerlerinin (2006) yaptığı prototip çalışması ile gösterilmiştir.

Huangfu ve arkadaşları, çalışmalarında içten yanmalı motorların soğutma suyu sıcaklık kontrolü ve atık ısı geri kazanım uygulamalarında karşılaşılan sorunlar üzerinde durmuşlardır. Bu sorunları çözmek için "entegrelenmiş termal yönetim denetleyicisi" (ITMC) kullanılmıştır.

Prototip uygulaması ile çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, farklı çalışma koşullarında, prototip'in etkili olarak kontrol edilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca buhar sıcaklığının yoğuşmayan gaz hacim oranına bağlı olduğu, su/R22'nin en yüksek sıcaklık kontrol performansı verdiği, ısı kontrolünde entegrelenmiş ısı yönetim denetleyicisinin etkili olduğu gösterilmiştir.

Lemar (2001) çalışmasında, kojenerasyon sistemlerinin verimi artırdığını, çevre kirliliğini göreceli olarak düşürdüğünü belirtmiş, sistemlerin yaygınlaşması için bürokratik engellerin kaldırması gerekliliğini vurgulamıştır.

Lemar, Amerikan endüstrisinde enerjinin nasıl kullanıldığını ve kojenerasyon sistemlerinin çevresel etkisini incelemiştir. Endüstride kojenerasyon sistemlerinin kullanılması ile yakıt tüketiminin ve dolayısıyla atık gaz salımlarının azaltılacağı ifade edilmiştir. Ayrıca kojenerasyon teknolojisinin verimi artırması sebebiyle birim enerji maliyetinin düşeceği ifade edilmiştir.

Çalışmasında 2010 yılına kadar (9 yıllık sürede) kojenerasyon sistemlerinin aktif hale getirilmesi ile karbon salımında 26×10^6 metrik ton azalma olacağı

hesaplanmıştır. Gerçekleşmesi de ülkede kojenerasyon sistemlerinin üzerindeki politik engellerin kaldırılması gerekliliğine bağlanmıştır.

Kojenerasyon sistemlerinin ısı pompaları ile birlikte çalıştırılarak, çevre kirliliğini minimuma düşürmek amaçlı çalışma Mancarella (2009) tarafından yapılmıştır. Mancarella, çalışmasında elektrikli ısı pompası, elektrik ve ısı verim değerleri bakımından kojenerasyon sistemi ile karakterize etmiştir. Eşdeğer kojenerasyon değerleri ve termal çarpım katsayısı vurgulanarak kojenerasyon ve ısı pompası performansını araştırmıştır.

Çalışma sonucunda eşdeğer model tanıtımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bileşik karakterizasyon ve performans değerlendirmesinde, özellikle küçük kojenerasyon uygulamaları için %50 daha az emisyon salımı ve yüksek enerji tasarrufu olduğu tespit edilmiştir. Isı pompalı kojenerasyon bileşimi için ayrıntılı enerji planlaması bu çalışma ile formüle edilmiştir.

Abusoğlu ve Kanoğlu (2009), dizel motorlu kojenerasyon sistemleri için ekserji analizi yaparak salınım değerlerini düşürme sistemini incelemişlerdir. Abusoglu ve Kanoglu, çalışmalarında ekserji analizini esas alarak, dizel motorlu kojenerasyon sisteminde kükürtoksit ve azotoksit bileşiklerini arıtma sistemini incelemişlerdir. Egzoz salım değerleri, yakıt tasarruf analiz yöntemi ve ekserji veriminin esas alınması ile değerlendirilmiştir.

Çalışmada, ayrık(klasik) sistemlerden enerji üretiminde %34.8 fazla yakıt tüketiminin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kojenerasyon sistemlerinin egzoz salımlarında, klasik sistemlere göre, %87,6 azotoksit, %50 karbondioksit ve %41,3 kükürtdioksit azalması tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, kojenerasyon uygulaması kullanılan sistemin yakıt ve salım değerleri için önemli azalmalar sağlandığı gösterilmiştir.

Costa ve Balestieri (2001) tarafından kojenerasyon sisteminin Brezilya alt yapısına uygunluğu ve özel bir kimya firması için verimliliği incelenmiştir.

Costa ve Balestieri, çalışmalarında kimya sanayinde kojenerasyon sistemlerinin kurulumu ve diğer sistemler ile karşılaştırılması, doğal gazın kojenerasyon sistemi ile uyumluluğu gösterilmek istenmiştir. Ayrıca, firma içerisindeki mevcut sistemlerin

korunarak, gerekli enerjinin kojenerasyon sistemleri ile temininin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmalarında, ekonomik durum açısından geri dönüşüm yöntemli bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerinde içten yanmalı motorlu sistemler; güneş paneli, gaz tbinli kombine sistemler ve gaz türbinli sistemlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışma ile, kimya firması iiniten yanmalı sistemlerin diğer sistemlere göre daha etkili olacağı, bu sistemler ile düzenlenen soğutma santrallerinin geri dönüşümünün üç yıl olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca Brezilya enerji sektöründe düzenleme yapılmadan üretilen enerjinin şebekeye satışının karlı olmayacağı tespit edilmiştir.

Site halindeki evlerde kojenerasyon sisteminin yakıt maliyeti üzerine etkisi Aussant ve diğerleri (2008) tarafından özel bir programla analiz edilmiştir.

Aussant ve diğerleri çalışmalarında, bir niversite tarafından geliştirilen, yüksek çözünürlüklü bina simülasyon programını kullanmışlardır. Test durumundaki evlere grup modelleme yapılarak, içten yanmalı motorlar için kojenerasyonun uygunluğu ve yakıt maliyetine göre analizi yapılmıştır.

Çalışma ile, hanenin yıllık yakıt maliyet artışı olsa da, içten yanmalı motorlara dayalı kojenerasyon sistemlerinde, elektrik üretimi ve dağıtımı ile ilgili çeşitli yönlerde tasarruf sağlandığı görülmüştür. Kojenerasyon sistemleri klasik sistemler ile karşılaştırıldığında, 1kW kojenerasyon sisteminin veriminin 2kW klasik sistemin veriminden daha fazla olduğu, elektrik üretiminde transfer kaybının çok düşük olduğu, ısıtmanın gereksiz olduğu zamanlarda yüksek birim maliyetle üretimin yapılmaması gerektiği belirtilmiştir.

Termodinamik temellere dayalı olarak kojenerasyon sisteminin özel bir niversite için verimliliği Luz-Silveria (2002) tarafından incelenmiştir.

Luz-Silveira ve diğerleri çalışmalarında Termodinamiğin I. ve II. kanunları referans alınarak, niversiteye uygulanacak kojenerasyon sisteminin ekipmanları yenilenmiş, sisteme termo-ekonomik analiz metodu uygulanmıştır.

Üniversite elektrik ihtiyaı 9MW olduğu halde kojenerasyon sistemi bunun üçte birini karşılamaktadır. Yapılan analizle, geri ödemeli ve maksimum kazançlı sistemin gaz türbini olacağına karar verilmiştir. Hesaplama süresini en düşük seçen ekserji

Üretim maliyeti metodu kullanılmıştır. Ayrıca alışma ile, geri ödemeye göre yapılan hesaplamada en iyi sistemin Kawasaki ağır endüstri motoru olduğu, maksimum karlılığa göre en iyi sistemin ise Hitachi motorunun olduğu tespit edilmiştir.

Bir hastane için kojenerasyon sisteminin verimliliği ve yakıt tasarrufu, Si-Doek tarafından yapılan çalışma ile vurgulanmıştır.

Si-Doek ve arkadaşları (2007), çalışmada kojenerasyon sistemlerinin boyutları, sayısı ve yardımcı ekipmanları, bir ticari binanın yıllık elektrik taleplerine göre seçilerek optimal tesis yapılındırması gösterilmek istenmiştir. Optimal zm elde etmek için algoritmalıkarışık tamsayı doğrusal programlaması kullanılmıştır.

Hastaneye uygulanacak kojenerasyon sistemi için yıllık maliyet yöntemine dayalı en uygun yapılandırma sistemi, ekipman ve çalışma süresine göre tespit edilmiştir. Ayrıca yakıt tarife sistemine bağlı olarak en uygun kojenerasyon sistemi için ekonomik değerlendirme hesaplaması yapılmıştır. Bu analize göre hem kr değerinin yüksek olduğu hem de kısa sürede geri dönüşüm sağladığı tespit edilmiştir. Yakıttaki artışlara göre önemsenecek kadar az olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Kojenerasyon sistemlerinin elektrik ve ısı enerjisini aynı süreçte ürettiği giriş kısmında ifade edilmiş ve gerekli bilgiler verilmiştir. Çalışmamızda, kojenerasyon sisteminin 22.000 m² kapalı alana sahip, 109 yatak kapasiteli hastaneye uygulanması halinde yatırım maliyetinin ekonomik açıdan uygunluğu araştırılmıştır. Analizler için uygulama yapılacak olan hastanenin 2011 yılı içerisinde tükettiği elektrik ve doğalgaz fatura değerleri dikkate alınmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : 2011 yılı elektrik ve doğalgaz fatura değerleri

TÜKETİM AYLAR	Aylık Elektrik Tüketim Ücreti (TL/ay)	Aylık Doğalgaz Tüketim Ücreti (TL/ay)
Ocak	141.431	42.623
Şubat	124.331	31.461
Mart	131.307	28.730
Nisan	124.707	26.854
Mayıs	127.613	23.384
Haziran	124.184	13.238
Temmuz	136.510	7.359
Ağustos	143.679	11.223
Eylül	126.549	16.894
Ekim	116.601	24.246
Kasım	117.639	27.441
Aralık	122.901	28.610
TOPLAM	1.537.452	282.064

Faturadeğerleri üzerinden,elektrik ve ısı tüketim miktarlarının belirlenmesi için elektrik dağıtım şirketi ile doğalgaz dağıtım şirketinin 2011 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. İlgili firmalardan temin edilen birim fiyatlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Hesaplamalarda esas alınan birim değerler

Doğalgaz birim fiyatı (TL/m ³)-Ticari	0,521
Elektrik birim fiyatı (TL/kW _h)	0,214

Çizelge 4.1’deki hastaneye ait fatura değerleri, Çizelge 4.2’de verilen birim fiyat değerleriyle değerlendirilmiş ve aylık tüketim değerleri hesaplanmıştır.

- Elektrik tüketim miktarı;

Ocak ayı elektrik tüketimi :141.431TL/ay

Elektrik birim fiyatı : 0,214TL/kW_h(TEDAŞ, 2011) ise,

Ocak ayında hastanenin elektrik tüketim miktarı 660.895kW/ay’dır.

- Doğalgaz tüketim miktarı;

Ocak ayı doğalgaz tüketimi :42.623TL/ay

Doğalgaz birim fiyatı : 0,521TL/m³ (EPDK, 2011) ise,

Ocak ayı doğalgaz tüketimi : 81.810m³/ay

Ocak ayında hastanenin doğalgaz tüketim miktarı 744.852kW/ay’dır.

Kojenerasyon sistem seçiminde enerji ve ısı oranının belirlenmesinde değerlerin eşdeğer olması gerekliliği dikkate alınarak, tüketim değerleri kW bazında hesaplanmıştır. Ocak ayı için yapılan hesaplama işlemleri diğer aylar için de tekrarlanmış elde edilen değerler Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Hastanenin 2011 yılı elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri

TÜKETİM AYLAR	Elektrik Tüketimi (kW/ay)	Doğalgaz Tüketimi (m³/ay)	Doğalgaz Tüketimi(kW/ay)
Ocak	660.895	81.810	744.852
Şubat	580.985	60.386	549.793
Mart	613.582	55.145	502.076
Nisan	582.741	51.543	469.281
Mayıs	596.324	44.883	408.644
Haziran	580.298	25.409	231.340
Temmuz	637.899	14.126	128.612
Ağustos	671.397	21.541	196.123
Eylül	591.348	32.426	295.227
Ekim	544.865	46.538	423.712
Kasım	549.715	52.670	479.542
Aralık	574.305	54.914	499.973
TOPLAM	7.184.355	541.389	4.929.176

3.1 Tahrik Ünitesinin Seçimi

En uygun tahrik ünitesinin belirlenmesindeki amaç; maksimum enerji ihtiyacını karşılamının yanı sıra ilk yatırım maliyetini daha kısa sürede karşılayan sistemin seçilmesidir.

Kojenerasyon sistemlerinde tahrik üniteleri, Bölüm 1.5’de ifade edildiği gibi türbinli sistemler ve içten yanmalı sistemler olmak üzere 2 ayrı grupta toplanır. Türbinli sistemler, çalışma performansı açısından esnekliğe sahip değildir. Yani hem sistemin devreye girme süresi için hem de bakım süreçlerinde sistemin devreden çıkarılması esnasında uzun süreye ihtiyaç duyulur. Ayrıca türbinli sistemlerde ısı verimi, elektrik veriminden daha fazladır. Buna rağmen, içten yanmalı

kojenerasyon sistemlerinde devreye alınma ve kapatılma süreleri çok kısadır. Elektrik ve ısı verim değerleri birbirine yakındır. Bunlar, sistemin tahrik ünitesinin belirlenmesinde dikkate alınacak en önemli unsurlardır.

Çalışmanın yapıldığı tesisten alınan enerji tüketim değerlerine göre elektrik tüketim maliyetleri, doğalgaz tüketim maliyetlerinin yaklaşık üç katı olduğu görülmüştür. Bu sebeple kojenerasyon sisteminin analizi, elektrik bazda yapılmıştır. Ayrıca hastanelerde sistemin devreye alınması ve devreden çıkarılması için gereğinden uzun süre beklenmesinin artı maliyet oluşturacağı, bunun da geri dönüşüm süresini uzatacağı görülmüştür.

7x24 saat çalışan hastane için, başlaması ve durdurulması türbin tipi sistemlere göre hızlı olan, elektrik ve ısı enerji değerleri hemen hemen aynı olan motor tipi kojenerasyon sisteminin seçimi, bu seçime yapılan yatırımın ne kadar sürede geri dönüşüm göstereceği değerlendirilmiştir.

Bu bilgilerle, tesis için, daha çevreci ve ısı verimi yüksek olan, doğalgaz yakıtına uyumlu örnek görüntüsü Şekil 3.1'de verilen içten yanmalı motorlu sistem seçilmiştir.



Şekil 3.1 : Motor tipi kojenerasyon ünitesi

3.2 Tahrik Gücü Seçimi

“Tesisin gerekli enerji ihtiyacını karşılayacak kojenerasyon sisteminin tahrik gücü, tesisin enerji tüketim değerleri ile uyumlu olmalıdır” prensibinden hareketle, doğru seçimin yapılması için aşağıdaki kriterler eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir.

- Elektrik ihtiyacının maksimum oranda karşılanması,
- Isı ihtiyacının maksimum oranda karşılanması,
- Sistemin maksimum seviyede çalışması,
- Sistem için minimum sürede geri dönüşümün sağlanması.

Aşağıdaki kriterler de ısı ve elektrik ihtiyacının maksimum oranda karşılanmasını sağlayan seçimlerde dikkate aldığımız içinsınır değerleridir.

- Yaz-kış aylarında meydana gelen mevsimsel değişiklikler,
- Gündüz ve gece saatlerinde oluşan zamansal değişiklikler.

Tahrik gücünü belirlemede, enerji tüketim değeri yüksek kış aylarından Ocak ile yaz aylarından Ağustos ayı referans olarak seçilmiştir. Bu aylarda kojenerasyon sisteminin çalışma ve ihtiyacı karşılama durumu dikkate alınmıştır.

Tesisin saatlik elektrik tüketim değerleri ilgili birimden alınarak, grafik haline getirilmiştir. Şekil 3.2’de verilen Ağustos ve Ocak aylarındaki elektrik enerjisi grafiği, ilgili ayların herhangi bir günü için alınan değerler üzerinden çizilmiştir. Bu grafiğe göre, yaz aylarındaki enerji ihtiyacı, kış aylarındaki enerji ihtiyacına göre daha fazladır. Bu fark; gözönüne alınan tesisin coğrafi yapısına bağlı olarak, yaz aylarında iklimlendirme sistemlerinin çalıştırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda; kurumun 24 saat çalışma gerekliliği ve tükettiği enerji değerlerine bağlı analiz için gün iki farklı periyota göre düşünülmüştür. Bunlar, sabah 10:00’den akşam 22:00’ye kadar birinci periyot, akşam 22:00’den sabah 10:00’a kadar ikinci periyot olarak analize katılmıştır.

Ocak ayı saatlik tüketim değerleri birinci ve ikinci periyotlarda, hem elektrik hem de doğalgaz sayaçlarından okuma yapılarak belirlenmiştir. Grafikten gündüz saatlerindeki elektrik ihtiyacının, gece saatlerine göre yaklaşık %20 daha fazla

olduğu görülmektedir. Bunun da nedeni hastanenin gündüz saatlerinde çalışan birimlerinin ve cihazlarının daha aktif olmasıdır.

Ayrıca 1. ve 2. periyotlarda ölçülen tüketim değerlerinin ayrı ayrı ortalamaları alınarak hastanenin bulunduğu zamana ait elektrik ihtiyaç değerleri belirlenmiştir.

Bu enerji tüketim bilgileriyle bir ay, 30 gün, bir gün 24 saat alınmıştır. Böylece toplam çalışma süresi 720 saatolarak hesaplanmıştır. Bir gün iki ayrı periyot olarak kabul edildiği için, bir ay'ın gündüz saatleri çalışma süresi 360 saat, gece saatleri çalışma süresi de 360 saat olarak hesaplamaya katılmıştır.

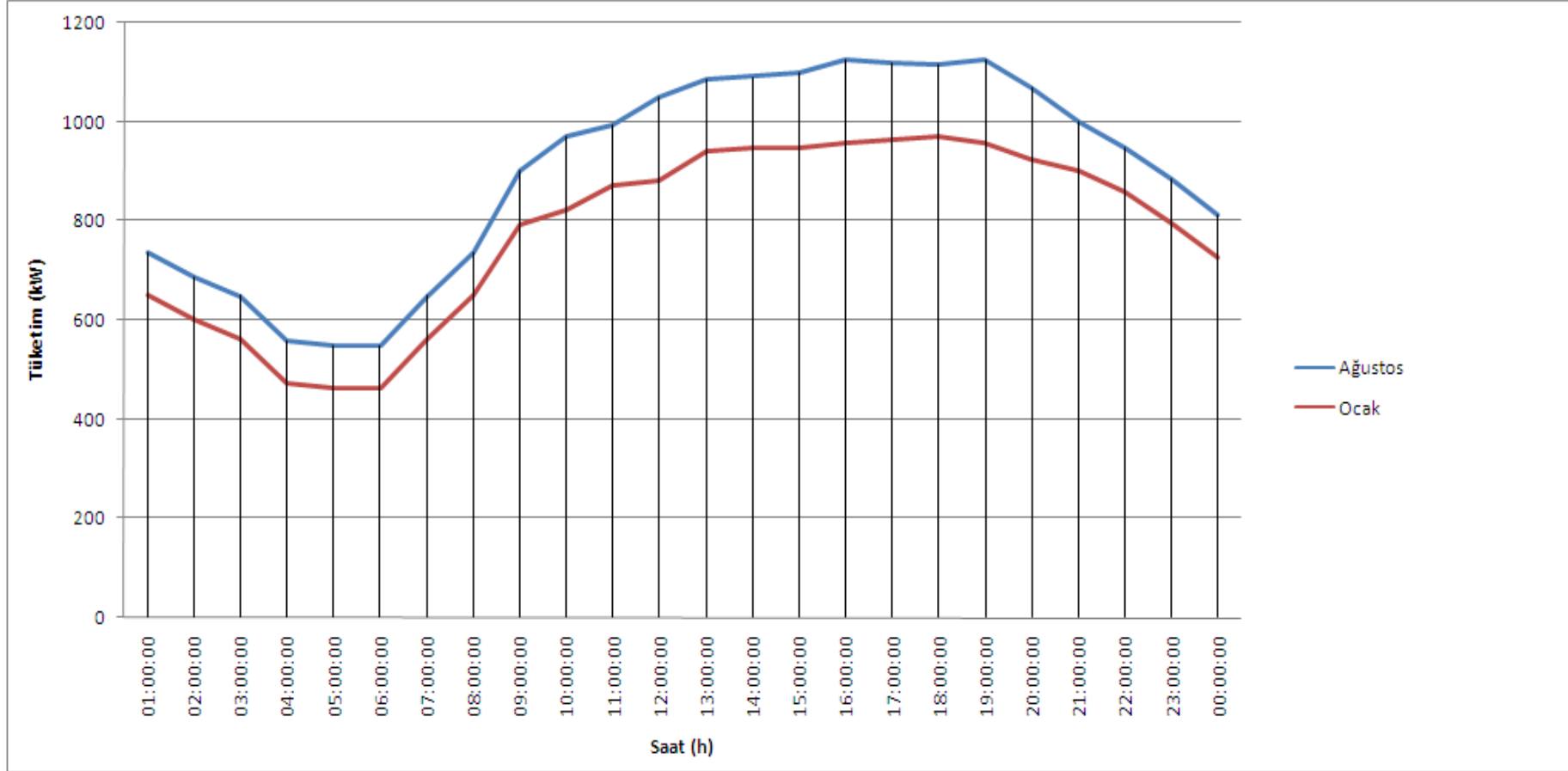
Değerlendirmelerde birliktelik sağlamak için doğalgaz metre küp tüketimi, kW değerine dnştirlmştir. Ocak ayı için çalışma saatlerine göre tesisin enerji tüketim değerleri izelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Ocakayındakibirgniinperiyodikenerjitetimdeğerleri

Çalışma Saatleri	Birim	Elektrik Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi
10:00 – 22:00	kW	1.056	940
22:00 – 10:00	kW	780	1.129

Hastanenin ocak ayındaki elektrik ve ısı enerjisi kW değerleri, (10.00-22:00 ve 22:00-10:00 arasındaki tüketimlerinin toplamı) x 30 gün x 24 saat formülü ile hesaplanmıştır.

Yeni tip doğalgazlı ısıtma kazanları için yanma verimi %90 alınır (Arısoy, 1999). Hastanenin kullandığı doğalgazlı sistemde buna uyarlanarak yanma verimi %90 alınmıştır. Doğalgaz eşdeğerlik katsayısı için de yakıtın alt ısıl değerleri (8.250 kcal/m³) dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Çizelge 3.1'de verilen birim fiyatların kullanımı ile oluşturulan tüketim değerleri izelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Hastaneye ait günlük elektrik tüketim

Çizelge 3.5 : Ocakayenerjitüketimdeğerleri

Elektrik Tüketimi (kW)	Elektrik Maliyeti (TL)	Doğalgaz Tüketimi (kW)	Doğalgaz Tüketimi (m ³)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Toplam Tüketim (TL)
660.960	141.445	744.840	86.271	44.947	186.393

Ağustos ayı saatlik tüketim değerleri, sabah 10:00 ile akşam 22:00 ve akşam 22:00 ile sabah 10:00 arasında hem elektrik hem de doğalgaz sayaçlarından okuma yapılarak belirlenen doğalgaz metre küp tüketim değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Ağustosayındakibirgününiçinperiyodikenerjitüketimdeğerleri

Çalışma Saatleri	Birim	Elektrik Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi
10:00 – 22:00	kW	1121	744
22:00 – 10:00	kW	297	248

Ölçülen değerler 9,59kW/m³ (EPDK) değeri ile çarpılarak kW tüketim değeri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Ağustosayıenerjitüketimdeğerleri

Elektrik Tüketimi (kW)	Elektrik Maliyeti (TL)	Doğalgaz Tüketimi (kW)	Doğalgaz Tüketimi (m ³)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Toplam Maliyet (TL)
671.400	143.680	196.200	22.275	11.840	155.520

Yukarıda örnek olarak iki ay için hesaplanan değerler, diğer aylar için de ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 4.2 incelenirse saatli olarak elektrik enerji tüketim değerlerinin en düşük seviyesinin yaklaşık 500kW, en yüksek değerinin ise yaklaşık 1.200kW olduğu görülür. Bu tüketim değerlerine en yakın kojenerasyon motoru olarak; 600kW, 800kW ve 1.200kW olan üç ayrı motordan birisini seçmenin uygun olacağı

düşünülmüştür. Ancak, en uygun olanının seçimi karlılık ve geri ödeme süresinin kısılalığı açısından (maliyet muhasebesi) önemlidir.

3.2.1 600kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi

600kW_e enerji üreten motorlu kojenerasyon sisteminin teknik özellikleri ilgili firmadan alınmıştır. Söz konusu teknik özellikler;

- Elektriksel güç :600 kW_e
- Isıl güç :693kW_{th}
- Toplam enerji :1.293kW
- Yakıt tüketimi :1.430kW (%100)
- Elektriksel verim :%42,0
- Isıl verim :%48,4
- Sistem verimi :%90,4
- Tip :4zamanlı, su soğutmalı, intercooler'li,turbocharger'lı
- Silindir sayısı :12
- Devir :1500d/d
- Silindir dizilişi :V Tip
- Çap ve strok boyu :132 x 160mm
- Silindir hacmi :2.192cm³ (cc)
- Toplam hacim :26.300cm³ (cc)
- Sıkıştırma oranı :12:1
- Ateşleme sistemi :Buji Ateşlemeli
- Motor ağırlığı :26.750 kg (İşletme ağırlığı)
- Makine boyutları :L x W x H = (10.000 x 2.500 x 3.000) mm
- Yağ tüketimi :0,2 g/kW_h

Analiz hesaplamalarında, kojenerasyon sisteminin bakımı için, aylık 20saat çalışmayacağı düşünülmüştür. Böylece sistemin aylık toplam çalışma süresi 700saat olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca kojenerasyon sisteminin çalışmasında, gün 2 periyottan oluşturulduğu için, sistem 350saat/ay + 350saat/ay olacak şekilde çalışacağı düşünülmüştür.

Klasik sistemler ile, ocak ayı tüketim değerlerine göre, 10:00-22:00 arası elektrik enerjisi tüketim miktarı 1.056kW/h'dir. Seçilen kojenerasyon sistemi bu saatler arasında 600kWh olarak, tam yükte çalıştırılırsa 12 saatte 7.200kW enerji üretmiş olacaktır ki bu değer birinci periyot için toplama tüketilen 12.672kW değerinin altındadır. Talep edilen enerjinin karşılanması için sistem tam yükte çalıştırılmalıdır. Tam yükte çalışan bu sistemin ısı enerjisi, katalog değerine göre 693kW olacaktır. Aynı şekilde 22:00-10:00 arası elektrik tüketim değeri klasik sistemlerde 780kW olduğu için, seçilen kojenerasyon sistemi yine tam yükte çalıştırılacaktır. Bu değerler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : 600kW CHP sisteminin enerji üretim değerleri

Çalışma Saatleri	Birim	Elektrik Üretimi	Isı Üretimi
10:00 – 22:00	kW/h	600	693
22:00 – 10:00	kW/h	600	693

600kW CHP sisteminin, bakım süresi hariç, bir aylık elektrik enerjisi üretim kapasitesi (kW/ay) = Sistemin gücü x Çalışma süresi

600kW CHP sisteminin, gece ve gündüz toplamında aylık elektrik enerjisi üretebilme miktarı (kW/ay) = (Sistemin gücü x Gündüz çalışma süresi) + (Sistemin gücü x Gece çalışma süresi)

600kW CHP sisteminin çalıştırılma yüküne göre maksimum ısı üretim kapasitesi (kW/ay) = (Çalıştırılma yüküne göre ısı miktarı x Gündüz çalışma süresi) + (Çalıştırılma yüküne göre ısı miktarı x Gündüz çalışma süresi)

600kW CHP sisteminin aylık çalışma yüzdesi (%) = Sistemin üretebileceği elektrik enerjisi miktarı / Şartlara bağlı olarak üretilen elektrik enerji miktarı

600kW CHP sisteminin, hastane için, ocak ayı elektrik enerjisi karşılama yüzdesi (%) = Sistemin üretebileceği elektrik enerjisi miktarı / Klasik sistemler ile tüketilen elektrik enerjisi miktarı

600kW CHP sisteminin, hastane için, ocak ayı ısı enerjisi karşılama yüzdesi (%)= Sistemin üretebileceği ısı enerjisi miktarı / Klasik sistemler ile tüketilen ısı enerjisi miktarı

Yukarıdaki ifadeler çerçevesinde yapılan hesaplama sonuçları ile, 600kW elektrik enerjisi üreten, motorlu kojenreasyon sistemi için elde edilen değerler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : 600kW CHP sisteminin Ocak ayı üretim ve performans değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	420.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	420.000
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	485.100
Aylık çalışma	%	100
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	64
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	65

Klasik sistemler ile, ağustos ayı tüketim değerlerine göre, 10:00-22:00 arası elektrik tüketim 1.121kW olduğu için seçilen kojenerasyon sistemi bu saatler arasında 600kW olarak, tam yükte çalıştırılmalıdır. Aynı şekilde 22:00-10:00 arası elektrik tüketim değeri klasik sistemlerde 744kW olduğu için, seçilen kojenerasyon sistemi yine tam yükte çalıştırılmalıdır.

600kW CHP sisteminin ürettiği ısı enerjisi sabit olmakla birlikte, tüketim değerleri Ocak ve Ağustos aylarında farklılık göstermektedir. Bu sebeple sistemin ürettiği ısı enerjisi ocak ayında %100 kullanılırken, Ağustos ayında %30 (248/815) kullanılmaktadır. Ağustos ayında gerekli elektrik ihtiyacı için sistem tam yükte çalıştırılmaktadır. Fakat tam yükte çalışan sistem, katalog değerine göre, gerekli ısı

enerjisinden daha fazla ısı enerjisi üretmektedir. Bu yüzden, hesaplarda sistemin ürettiği ısı yerine hastanenin ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi değeri referans alınmıştır. Çizelge 3.6’da verilen bu değerler üstündeki üretim, kullanılmayan enerji olarak ortama salınacaktır. Ağustos ayına göre hesaplanan değerler de Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10 : 600kW CHP sisteminin Ağustos ayı üretim değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	420.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	420.000
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	190.750
Aylık çalışma	%	100
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	63
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	97

3.2.2 800kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi

800kW_e enerji üreten kojenerasyon sisteminin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Elektriksel güç :800kW_e
- Isıl güç :858kW_{th}
- Toplam enerji :1.715kW
- Yakıt tüketimi :1.891kW (%100)
- Elektriksel verim :%42,2
- Isıl Verim :%48,2
- Sistem verimi :%90,2
- Tip :4zamanlı, su soğutmalı, intercooler’li,turbocharger’lı

- Silindir Sayısı :16
- Devir :1.500d/d
- Silindir DiziliŖi :V Tip
- ap ve Strok boyu :132 x 160mm
- Silindir Hacmi :2.188cm³ (cc)
- Toplam Hacim :35.000cm³ (cc)
- SıkıŖtırma Oranı :12:1
- AteŖleme Sistemi :Buji AteŖlemeli
- Motor ağırlığı :31.430 kg (İŖletme ağırlığı)
- Makine Boyutları :L x W x H = (12.200 x 3.000 x 3.000) mm
- Yağ Tüketimi :0,2 g/kW_h

800kW_e kojenerasyon sisteminin analizi de 600kW_ekojenerasyon sistemdeki formüller kullanılarak hesap edilmiŖtir.

Bu seçilen sistem tam yük ile alıŖtıđı zaman katalog değerine göre 800kW_eelektrik enerjisi üretecektir. Fakat hastanenin Ocak ayındaki elektrik enerjisi ihtiyacı 780kW_e'tir. Bu sistem Ŗebeke ile paralel alıŖtırılacaktır. Bu yüzden üretilen elektriğin fazla olup Ŗebekeye gitmemesi için, hastane ihtiyacı 760kW_eolarak dŖnlmŖtir. Bu Ŗekilde hesaplanan değerler, Ocak ayı için izelge 3.11'deverilmiŖtir.

Çizelge 3.11 : 800kW CHP sistemine göre Ocak ayı analiz değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	560.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	546.000
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	585.550
Aylık çalışma	%	98
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	83
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	79

Ağustos ayı için de gerekli enerji ihtiyaçlarına göre aynı hesaplamalar yapılarak, çıkan değerler Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 : 800kW CHP sistemine göre Ağustos ayı analiz değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	560.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	533.400
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	190.750
Aylık çalışma	%	95
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	81
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	97

3.2.3 1200kW Kojenerasyon Sistemi ve Analizi

1200kW_e enerji üreten kojenerasyon sisteminin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Elektriksel güç :1.200kW_e
- Isıl güç :1.303kW_{th}
- Toplam enerji :2.503kW
- Yakıt tüketimi :2.750kW (% 100)
- Elektriksel verim :%43,6
- Isıl Verim :%47,3
- Sistem verimi :%90,9
- Tip :4zamanlı, su soğutmalı, intercooler'li,turbocharger'lı
- Silindir Sayısı :12
- Devir :1.500d/d
- Silindir Dizilişi :V Tip
- Çap ve Strok boyu :170 x 195mm
- Silindir Hacmi :4.425cm³ (cc)
- Toplam Hacim :53.100cm³ (cc)
- Sıkıştırma Oranı :13,5:1
- Ateşleme Sistemi :Buji Ateşlemeli
- Motor ağırlığı :44.565kg (İşletme ağırlığı)
- Makine Boyutları :L x W x H = (12.500 x 3.000 x 3.500) mm
- Yağ Tüketimi :0,2g/kW_h

Sistem tam yük ile 1.200kW_e elektrik enerjisi üretecektir. Fakat hesaplama hastane ihtiyacına göre yapılacaktır. Bu şekilde hastanenin Ocak ayı değerleri Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13 : 1200kW CHP sistemine göre Ocak ayı analiz değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	840.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	628.600
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	682.500
Aylık çalışma	%	75
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	95
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	92

Ağustos ayı için hesaplamalar ile oluşturulan değerler Çizelge 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.14 : 1200kW CHP sistemine göre Ağustos ayı analiz değerleri

Parametreler	Birim	Değerler
Üretim kapasitesi	kW/ay	840.000
Maksimum üretebileceği elektrik enerjisi	kW/ay	628.600
Maksimum üretebileceği ısı enerjisi	kW/ay	682.500
Aylık çalışma	%	75
Aylık elektrik ihtiyacını karşılama	%	95
Aylık ısı ihtiyacını karşılama	%	92

Yukarıdaki hesaplamalarda elde edilen üç farklı kojenerasyon sisteminin yüzde değerleri, hastane için uygun olan tahrik sisteminin seçilmesinde önemli parametrelerdir. Bu yüzde değerleri;

- Sistemin tam yükte çalışması,
- Elektrik ihtiyacını karşılması,

- Isı ihtiyacını karşılamasıdır.

Bu parametreler dikkate alınarak;hem sistemden maksimum verim eldesi, hem de yatırımın kısa sürede geri dönüşümü için minimum maliyet hedeflenir.Hesaplamaları yapılan sistemlerinçalışmaları ve ihtiyacı karşılama yüzde oranları Çizelge 3.15 ile Ocak ve Ağustos ayları için verilmiştir.

Çizelge 3.15 : CHP sistemlerinin Ocak ve Ağustos enerji karşılama yüzdeleri

Sistemler	Ocak			Ağustos		
	Çalışma	Elektrik İhtiyacı	Isı İhtiyacı	Çalışma	Elektrik İhtiyacı	Isı İhtiyacı
600kW CHP	100	64	65	100	64	65
800kW CHP	98	83	79	95	79	97
1.200kW CHP	75	95	92	76	95	97

Üç ayrı kojenerasyon sistemi üzerinde yapılan analiz çalışmaları şu şekilde yorumlanabilir:

600kW gücündeki kojenerasyon sisteme yapılan yatırım, sistemin %100 çalışması durumunda ihtiyacın ancak %65’ni karşılayacaktır. Kalan ısı ve elektrik ihtiyacı için şebekeye başvurmak gerekecektir. Bu da amorti süresini uzatacak ve yatırımı anlamsız hale getirecektir.

1.200kW gücündeki kojenerasyon sistemi, ihtiyacın büyük bir yüzdesini karşılayacaktır. Fakat sistem, tam yükte değil, %75 yük ile çalışacaktır. Yani yatırım maliyeti gereksiz fazla olacak, geri dönüşüm süresi uzatılacağından seçimin uygun olmayacağı belirlenmiştir. Önceden söylendiği üzere kojenerasyon sistemleri, ihtiyacın %100’nü karşılama amacıyla kurulan yatırımlar değil, tasarruf yatırımları olacaktır.

800kW enerji üreten kojenerasyon sistemi, diğer sistemlere göre en uygunu olduğu görülmüştür. Çünkü bu sistem hastanenin %80’lik enerji ihtiyacını karşılayacaktır. Enerji yönetmeliğe göre %80 ve üzerindeki verimlerde lisanssız çalışma izni vardır. Bu da hastaneyi ek maliyetten kurtarmaktadır. Ayrıca sistem, ihtiyaç duyulan elektrik ve ısı değerlerinin %80 den fazlasına karşılık vereceği için geri dönüşüm süresi vekar elde etme değerleri diğer sistemlerden daha fazla olacaktır.

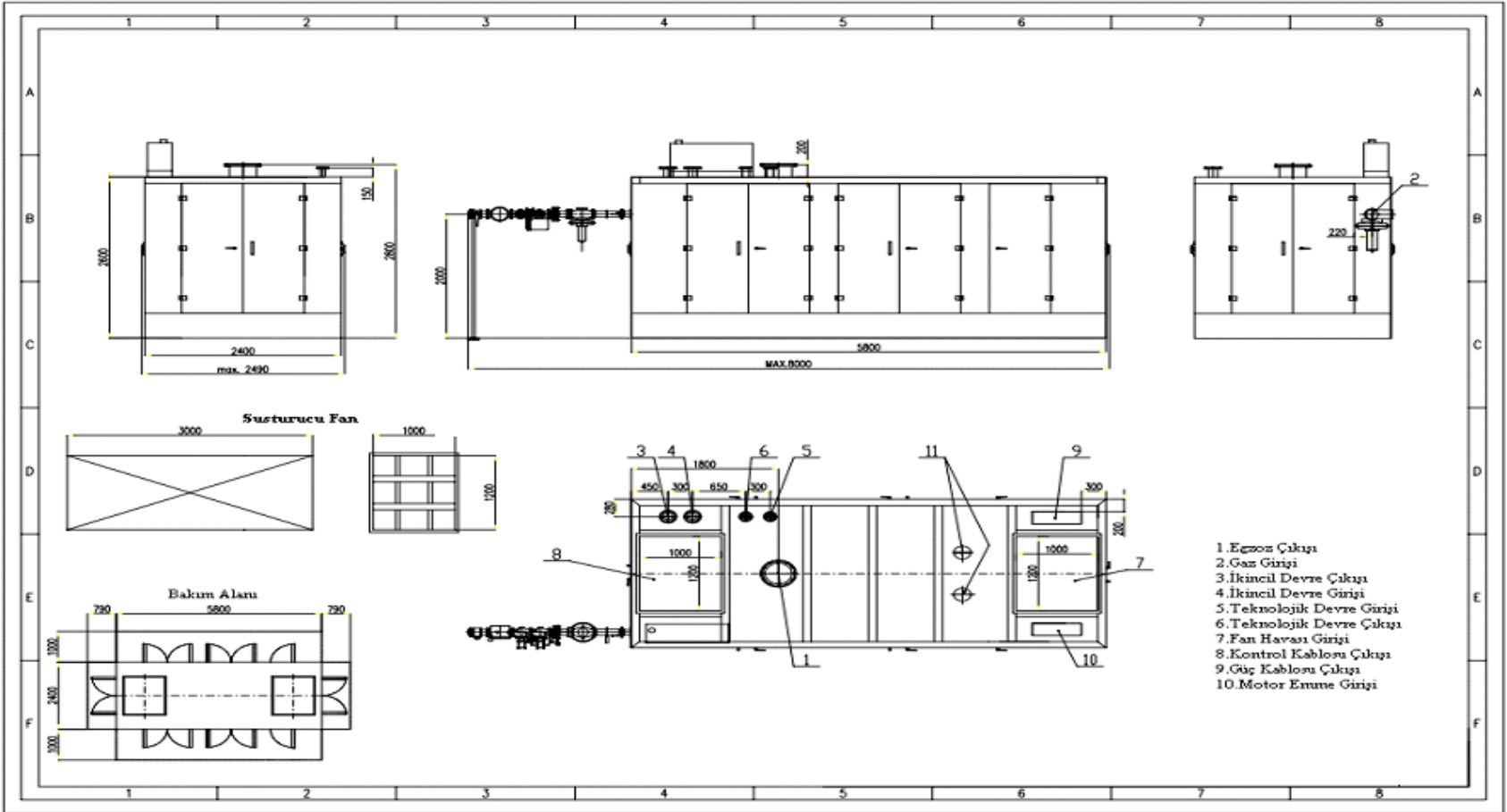
Sonuç olarak, özel hastane için uygulanması düşünülen kojenerasyon sisteminin tahrik gücü 800kW olması daha uygun olacaktır.

3.3 800 kW Kojenerasyon Sistemine ait Ekipman Listesi

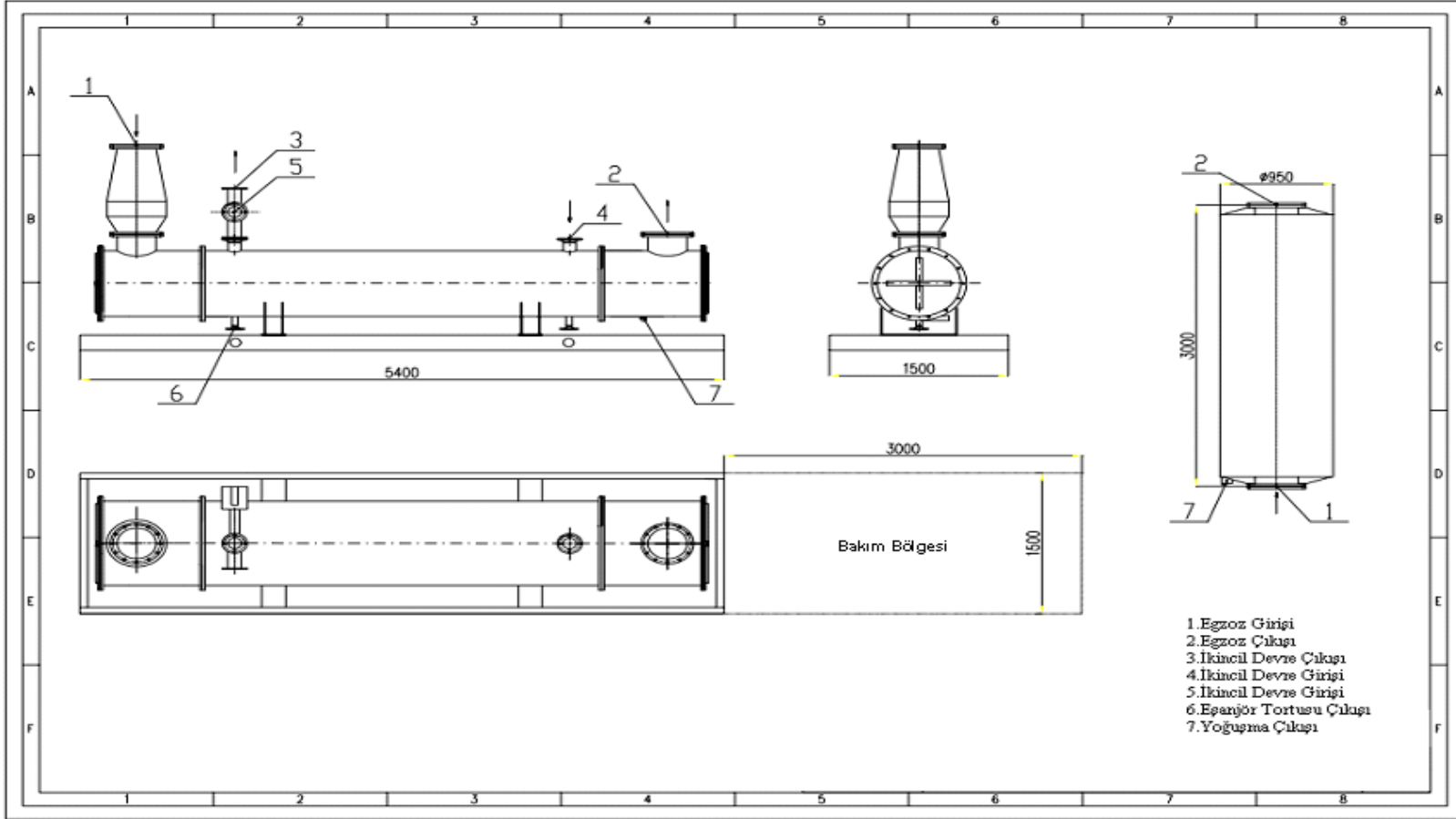
Özel hastane için kurulması planlanan 800kW'lık kojenerasyon sistemin (ısı kaynağı olan atık ısı kazanı dahil) teknik resimleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Seçilen kojenerasyon sisteminin yapısına bağlı olarak ölçülendirilmiş olan teknik resimler dikkate alınarak gerekli kurulum sahasının hazırlanması gerekli olacaktır.

Uygulamadaki kojenerasyon sistemi, yardımcı ekipmanları ile birlikte yalıtımlı bir ses izolasyon kabininde servis edilmektedir. Kabin havalandırması, üzerindeki 2 adet fan ile kontrollü bir şekilde sağlanmaktadır. Bu sayede kış aylarında kabinin aşırı soğuması engellenerek fanların harcayacağı elektrik tüketimi de azaltılmıştır. Ayrıca bu izolasyon sistemiyle hem gürültü kirliliği önlenmekte, hem de sistemin korunması dah iyi yapılmaktadır. Kabinli bu sistemin sahip olduğu ekipmanlar;

- 800 kW_e Doğal gaz motoru,
- Alternatör,
- Kontrol panosu,
- Güç panosu,
- Isı geri kazanım sistemi,
- Ceket suyu soğutma radyatörü,
- After-cooler soğutma radyatörü,
- Otomatik beslemeli yağlama yağı tankı,
- Oksidasyon katalist,
- 1.Kademe egzoz gazı susturucusu (80 dB(A)),
- İnternet üzerinden uzaktan kontrol sistemi,
- İç ortam tipi ses izolasyon kabinidir.



Şekil 3.3 : 800kW_e Kojenerasyon sistemi teknik resmi



Şekil 3.4 : 800kW_e için atık ısı kazanı teknik resmi

Hastanelerin içinde kabul edilebilir ses basınç düzeyi 35 dB(A), sistemin tanıtım kataloğundaki 1m mesafeden ölçülen gürültü seviyesi ise 80 dB(A) olması nedeniyle sistemin hastane bahçesine kurulması uygun olacaktır. Sistem kabin içinde olmalı ve hastane tarafına ilave ses bariyerinin konulması uygun olacaktır.

Alternatör Özellikleri:

- Frekans :50Hz
- Gücü :1.300kVA
- Devir hızı :1.500d/d
- Güç katsayısı :0,8 / 1(Cos ϕ)
- Gerilim :400V
- Verim :% 96,8 (Cos ϕ = 1)
- İkaz şekli :Kendinden
- Koruma sınıfı :IP23
- İşletme sıcaklığı : 40°C (Max.)

Kullanılacak alternatör motora monte edilmiş haldedir. Kojenerasyon motorunun çalışma esnasında gücünden dolayı titreşime sahip olacağı açıktır. Bu durum dikkate alınarak, alternatör sisteminin zarar görmemesi için motor ve alternatör elektro kaynaklı çelik şase üzerinde, titreşim sönümleyiciler ile montajlanacaktır.



Şekil 3.5 : Kojenerasyon sistemi görüntü ünitesi

Şekil 3.5’de kurulacak sistemin görüntü ünitesi yer almaktadır. Bu ekran, sistemin günlük bakımı için kolaylıklar sağlamaktadır. Sistemin çalışma gücünü, verimini, bakım zamanlarını gösterir. Ayrıca gerçekleşen hatalar ve hata çıkış yerleri, tarihsel olarak hafızasına kayıt ettiği için bakıma gelen uzman kişileri haberdar ederek kısa zamanda sorunun çözülmesi sağlar. Bu ekrana kurulan çalışma programı ile ortaya çıkan hatalar danışman firma tarafından da görülür ve ilk olarak uzaktan bilgisayar yardımı ile sorunun halledilme imkanını sağlar.

3.4 800 kW Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Maliyet analizi, seçimi uygun görülen 800kW CHP sistemine göre yapılmıştır. Analizin detaylı olması için, yılın tüm ayları aithastane fatura bilgileri dikkate alınmıştır.

Önceki bölümde yapılan tahrik ünitesi gücünü belirleme hesaplamasına ek olarak, kojenerasyon sisteminin yakıt masrafları, ihtiyaç halinde şebekeden alınması gereken doğalgaz ve elektrik masrafları, bakım masrafları, sistemin kurulum masrafları gibi parametreler de dikkate alınarak bu bölümde kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Böylece her ay’a ait net tasarruf değerleri belirlenerek, hastane için yapılan yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Ek hesaplamalar aşağıdaki açık formüller ile yapılmıştır:

CHP sisteminin yakıt tüketim maliyeti (TL/ay) = Sistemin katalog tüketim değeri x Sistemin aylık çalışma yüzdesi x Sistemin toplam çalışma süresi x Birim kW değeri x Doğalgaz birim maliyet değeri_(E_{pdk})

Ek elektrik maliyeti (TL/ay) = Aylık elektrik tüketim değeri – CHP sistemi ile üretilebilecek elektrik değeri) x Birim Fiyat _(Tedaş)

Ek ısıtma maliyeti (TL/ay): İhtiyaç duyulan ek tüketim değeri x Doğalgaz birim maliyet değeri_(E_{pdk})

CHP sisteminin yağlama maliyeti (TL/ay) : Katalog günlük tüketim değeri x 30 gün x Sistemin çalışma yüzdesi x Yağ birim fiyatı

CHP sisteminin bakım maliyeti (TL/ay) : Sistemin aylık çalışma süresi x Birim bakım maliyeti

CHP sisteminin net tasarrufu (TL/ay) : Klasik sistem ile aylık tüketim maliyeti – CHP sistemi toplam maliyetleri – Ek elektrik maliyeti – Ek doğalgaz maliyeti

Hastane için kojenerasyon sistemi kurulması ile, ocak ayında oluşan ek maliyetler, yukarıdaki formüllerle hesaplanarak Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16 : CHP’li hastanede Ocak ayı net tasarruf ve maliyet değerleri

Parametreler	Birim	Ocak
Klasik sistemde elektrik tüketim maliyeti	(TL/ay)	186.393
CHP sistemde yakıt tüketim maliyeti	(TL/ay)	70.093
CHP sistemindeki ek elektrik tüketim maliyeti	(TL/ay)	24.601
CHP sistemindeki ek ısı tüketim maliyeti	(TL/ay)	7.526
CHP sistemi yağlama maliyeti	(TL/ay)	3.717
CHP sistemi bakım maliyeti	(TL/ay)	11.900
Net Tasarruf	(TL/ay)	68.555

Ağustos ayı için oluşan ek maliyetler de Çizelge 3.17’de verilmiştir. Kış aylarında elektrik tüketim maliyetleri, yaz aylarında daha düşük olmuştur. Çünkü yaz aylarında

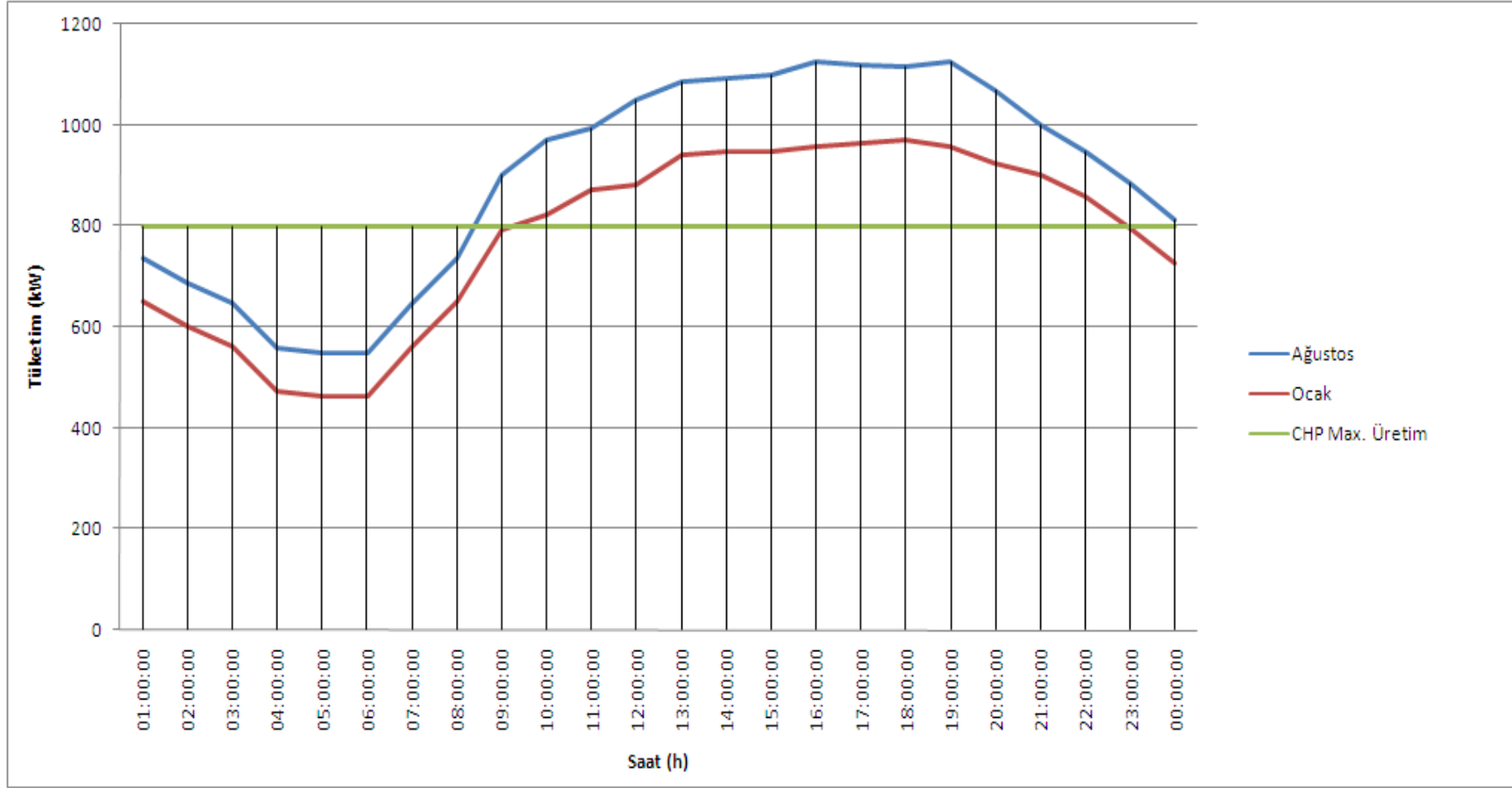
hastanedeki soğutma ihtiyacı, elektrikli iklimlendirme cihazları ile yapıldığı için tüketimin daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla bağlantılı olarak, kojenerasyon sisteminin aylara göre verdiği net tasarruf değerleri, yaz aylarında daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 3.17 : CHP'li hastanede Ağustos ayı net tasarruf ve maliyet değerleri

Parametreler	Birim	Ağustos
Klasik sistemde elektrik tüketim maliyeti	(TL/ay)	155.520
CHP sistemde yakıt tüketim maliyeti	(TL/ay)	67.947
CHP sistemindeki ek elektrik tüketim maliyeti	(TL/ay)	29.531
CHP sistemindeki ek ısı tüketim maliyeti	(TL/ay)	329
CHP sistemi yağlama maliyeti	(TL/ay)	3.717
CHP sistemi bakım maliyeti	(TL/ay)	11.900
Net Tasarruf	(TL/ay)	42.425

800kW_e kojenerasyon sistemi için yapılmış olan Ocak ve Ağustos aylarının maliyet analiz hesapları karşılaştırılmıştır (Şekil 3.6). Bu hesaplamalar diğer aylar için de tekrarlanarak kojenerasyon sistemine ait yıllık toplam net tasarruf değeri bulunmuştur.

Seçilen kojenerasyon ünitesi, ihtiyaç olan en yüksek veya en düşük değerde üretim yapması için seçilmemiştir. Yani, hastanenin en yüksek ihtiyaç değerine göre seçim yapılmayarak hem yatırım maliyetinin fazla olması, hem de sistemin az kapasite ile çalışarak üretim kaybının oluşmaması sağlanmıştır. Aynı zamanda hastanenin en düşük ihtiyaç değerine göre seçim yapılmayarak, kalan enerji ihtiyacının şebekeden alınmaması sağlanmıştır. Böylece geri dönüşüm süresi minimize edilmiştir. Kojenerasyon sisteminin hastane için kurulumu ile her ay'a ait ayrı olarak hesaplanan net tasarruf değerleri ve geri dönüşüm süresi Çizelge 3.18'de verilmiştir. Karşılaştırılan diğer ünitelerin tabloları da Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.6 : Saatlik tüketim ve üretimin karşılaştırması

Çizelge 3.18 : CHP'li hastane için geri dönüşüm tablosu (800kW)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Elektrik Tüketimi (kWh/ay)	660.895	580.985	613.582	582.741	596.324	580.298	637.899	671.397	591.348	544.865	549.715	574.305	7.184.354
Elektrik Maliyeti (TL/ay)	141.432	124.331	131.307	124.707	127.613	124.184	136.510	143.679	126.548	116.601	117.639	122.901	1.537.452
Doğalgaz Tüketimi (m3/ay)	81.810	60.386	55.145	51.543	44.883	25.409	14.126	21.541	32.426	46.538	52.670	54.914	541.391
Doğalgaz Tüketimi (kWh/ay)	744.852	549.793	502.076	469.281	408.644	231.340	128.612	196.123	295.227	423.712	479.542	499.973	4.929.176
Doğalgaz Maliyeti (TL/ay)	42.623	31.461	28.731	26.854	23.384	13.238	7.360	11.223	16.894	24.246	27.441	28.610	282.065
10-22 arası İhtiyaç Gücü (kW)	1.056	928	980	967	981	975	1.072	1.121	944	896	912	918	11.750
22-10 arası İhtiyaç Gücü (kW)	780	686	724	651	676	637	700	744	649	618	615	678	8.158
10-22 arası İhtiyaç Isısı (kW)	940	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.520
22-10 arası İhtiyaç Isısı (kW)	1.129	836	761	672	619	289	162	248	369	642	687	758	7.172
10-22 arası Sisteminden alınacak Max. Güç (kW)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	9.600
22-10 arası Sisteminden alınacak Max. Güç (kW)	760	666	704	631	656	617	680	724	629	598	595	658	7.918
10-22 arası Sisteminden alınacak Max. Isı (kW)	858	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.438
22-10 arası Sisteminden alınacak Max. Isı (kW)	815	714	755	672	619	289	162	248	369	641	638	706	6.628
Sistemin Enerji Üretim Kapasitesi (kW)	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	6.720.000
İhtiyaç Duyulan Max. Enerji (kW)	546.000	513.100	526.400	500.850	509.600	495.950	518.000	533.400	500.150	489.300	488.250	510.300	6.131.300
Sistemin Isı Üretim Kapasitesi (kW)	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	600.600	7.207.200
İhtiyaç Duyulan Max. Isı (kW)	585.585	492.100	486.164	456.050	397.250	224.700	124.950	190.750	287.000	411.600	449.050	467.950	4.573.149
Sistemin Çalışma Yüzdesi	%98	%92	%94	%89	%91	%89	%93	%95	%89	%87	%87	%91	91%
Elektrik İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%83	%88	%86	%86	%85	%85	%81	%79	%85	%90	%89	%89	86%
Isı İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%79	%90	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%94	%94	94%
Sistemin Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	66.714	62.694	64.319	61.197	62.266	60.598	63.293	65.174	61.112	59.786	59.658	62.352	749.162
Ek Elektrik Tüketim Maliyeti (TL/ay)	24.588	14.527	18.657	17.525	18.559	18.050	25.658	29.531	19.516	11.891	13.154	13.697	225.354
Ek Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	8.320	3.073	906	746	650	368	204	312	469	692	1.645	1.732	19.117
Bakım Maliyeti (TL/ay)	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	142.800
Yağ Maliyeti (TL/ay)	3.624	3.406	3.494	3.324	3.382	3.292	3.438	3.540	3.320	3.248	3.241	3.387	40.697
Toplam Net Tasarruf (TL/ay)	68.909	60.192	60.762	56.868	54.240	43.213	39.376	44.444	47.125	53.331	55.483	58.443	642.388
Kojenerasyon Yatırım Maliyeti (Euro)													458.000
Mühendislik Hizmetleri (Euro)													85.000
Toplam Yatırım Maliyeti (TL) 1 Euro:2.3820 TL													1.293.426
Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)													2,01

Çizelge 3.19 : CHP'li hastane için geridönüşüm tablosu (600kW)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Elektrik Tüketimi (kWh/ay)	660.895	580.985	613.582	582.741	596.324	580.298	637.899	671.397	591.348	544.865	549.715	574.305	7.184.354
Elektrik Maliyeti (TL/ay)	141.432	124.331	131.307	124.707	127.613	124.184	136.510	143.679	126.548	116.601	117.639	122.901	1.537.452
Doğalgaz Tüketimi (m3/ay)	81.810	60.386	55.145	51.543	44.883	25.409	14.126	21.541	32.426	46.538	52.670	54.914	541.391
Doğalgaz Tüketimi (kWh/ay)	744.852	549.793	502.076	469.281	408.644	231.340	128.612	196.123	295.227	423.712	479.542	499.973	4.929.176
Doğalgaz Maliyeti (TL/ay)	42.623	31.461	28.731	26.854	23.384	13.238	7.360	11.223	16.894	24.246	27.441	28.610	282.065
10-22 arası İhtiyaç Gücü (kW)	1.056	928	980	967	981	975	1.072	1.121	944	896	912	918	11.750
22-10 arası İhtiyaç Gücü (kW)	780	686	724	651	676	637	700	744	649	618	615	678	8.158
10-22 arası İhtiyaç Isısı (kW)	940	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.520
22-10 arası İhtiyaç Isısı (kW)	1.129	836	761	672	619	289	162	248	369	642	687	758	7.172
10-22 arası Sistemden alınacak Max. Güç (kW)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7.200
22-10 arası Sistemden alınacak Max. Güç (kW)	600	600	704	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7.304
10-22 arası Sistemden alınacak Max. Isı (kW)	858	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.438
22-10 arası Sistemden alınacak Max. Isı (kW)	693	714	813	672	619	289	162	248	369	641	638	706	6.564
Sistemin Enerji Üretim Kapasitesi (kW)	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	5.040.000
İhtiyaç Duyulan Max. Enerji (kW)	420.000	420.000	456.400	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	5.076.400
Sistemin Isı Üretim Kapasitesi (kW)	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	485.100	5.821.200
İhtiyaç Duyulan Max. Isı (kW)	542.850	492.100	506.492	456.050	397.250	224.700	124.950	190.750	287.000	411.600	449.050	467.950	4.550.742
Sistemin Çalışma Yüzdesi	%100	%100	%109	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	101%
Elektrik İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%64	%72	%74	%72	%70	%72	%66	%63	%71	%77	%76	%73	71%
Isı İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%73	%90	%101	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%94	%94	94%
Sistemin Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	51.553	51.553	56.021	51.553	51.553	51.553	51.553	51.553	51.553	51.553	51.553	51.553	623.100
Ek Elektrik Tüketim Maliyeti (TL/ay)	51.552	34.451	33.637	34.827	37.733	34.304	46.630	53.799	36.668	26.721	27.759	33.021	451.102
Ek Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	10.521	3.073	-141	746	650	368	204	312	469	692	1.645	1.732	20.270
Bakım Maliyeti (TL/ay)	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	142.800
Yağ Maliyeti (TL/ay)	3.717	3.717	4.039	3.717	3.717	3.717	3.717	3.717	3.717	3.717	3.717	3.717	44.926
Toplam Net Tasarruf (TL/ay)	54.812	51.098	54.582	48.818	45.445	35.581	29.866	33.621	39.135	46.265	48.506	49.588	537.318
Kojenerasyon Yatırım Maliyeti (Euro)													405.000
Mühendislik Hizmetleri (Euro)													85.000
Toplam Yatırım Maliyeti (TL) 1 Euro:2.3820 TL													1.167.180
Geridönüşüm Süresi (Yıl)													2,17

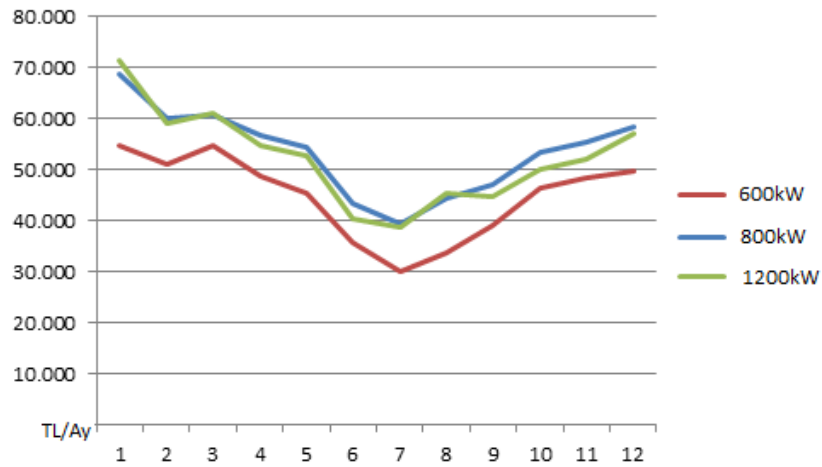
Çizelge 3.20 : CHP'li hastane için geri dönüşüm tablosu (1.200kW)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Elektrik Tüketimi (kWh/ay)	660.895	580.985	613.582	582.741	596.324	580.298	637.899	671.397	591.348	544.865	549.715	574.305	7.184.354
Elektrik Maliyeti (TL/ay)	141.432	124.331	131.307	124.707	127.613	124.184	136.510	143.679	126.548	116.601	117.639	122.901	1.537.452
Doğalgaz Tüketimi (m3/ay)	81.810	60.386	55.145	51.543	44.883	25.409	14.126	21.541	32.426	46.538	52.670	54.914	541.391
Doğalgaz Tüketimi (kWh/ay)	744.852	549.793	502.076	469.281	408.644	231.340	128.612	196.123	295.227	423.712	479.542	499.973	4.929.176
Doğalgaz Maliyeti (TL/ay)	42.623	31.461	28.731	26.854	23.384	13.238	7.360	11.223	16.894	24.246	27.441	28.610	282.065
10-22 arası İhtiyaç Gücü (kW)	1.056	928	980	967	981	975	1.072	1.121	944	896	912	918	11.750
22-10 arası İhtiyaç Gücü (kW)	780	686	724	651	676	637	700	744	649	618	615	678	8.158
10-22 arası İhtiyaç Isısı (kW)	940	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.520
22-10 arası İhtiyaç Isısı (kW)	1.129	836	761	672	619	289	162	248	369	642	687	758	7.172
10-22 arası Sistemden alınacak Max. Güç (kW)	760	666	704	631	656	617	680	724	629	598	595	658	7.918
22-10 arası Sistemden alınacak Max. Güç (kW)	760	666	704	631	656	617	680	724	629	598	595	658	7.918
10-22 arası Sistemden alınacak Max. Isı (kW)	858	692	634	631	516	353	195	297	451	535	645	631	6.438
22-10 arası Sistemden alınacak Max. Isı (kW)	825	714	764	672	619	289	162	248	369	641	638	706	6.648
Sistemin Enerji Üretim Kapasitesi (kW)	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	840.000	10.080.000
İhtiyaç Duyulan Max. Enerji (kW)	532.000	466.200	492.800	441.700	459.200	431.900	476.000	506.800	440.300	418.600	416.500	460.600	5.542.600
Sistemin Isı Üretim Kapasitesi (kW)	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	912.100	10.945.200
İhtiyaç Duyulan Max. Isı (kW)	589.132	492.100	489.449	456.050	397.250	224.700	124.950	190.750	287.000	411.600	449.050	467.950	4.579.981
Sistemin Çalışma Yüzdesi	%63	%56	%59	%53	%55	%51	%57	%60	%52	%50	%50	%55	55%
Elektrik İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%80	%80	%80	%76	%77	%74	%75	%75	%74	%77	%76	%80	77%
Isı İhtiyacını Karşılama Yüzdesi	%79	%90	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%97	%94	%94	94%
Sistemin Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	62.788	55.023	58.162	52.131	54.196	50.974	56.179	59.814	51.966	49.405	49.157	54.362	654.157
Ek Elektrik Tüketim Maliyeti (TL/ay)	27.584	24.564	25.847	30.183	29.345	31.757	34.646	35.224	32.324	27.021	28.508	24.333	351.335
Ek Doğalgaz Tüketim Maliyeti (TL/ay)	8.138	3.073	736	746	650	368	204	312	469	692	1.645	1.732	18.765
Bakım Maliyeti (TL/ay)	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900	142.800
Yağ Maliyeti (TL/ay)	2.354	2.063	2.181	1.955	2.032	1.911	2.106	2.243	1.948	1.852	1.843	2.038	24.526
Toplam Net Tasarruf (TL/ay)	71.291	59.169	61.211	54.646	52.875	40.511	38.834	45.409	44.835	49.978	52.027	57.147	627.934
Kojenerasyon Yatırım Maliyeti (Euro)													595.000
Mühendislik Hizmetleri (Euro)													85.000
Toplam Yatırım Maliyeti (TL) 1 Euro:2.3820 TL													1.619.760
Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)													2,58

4. SONUÇ

Kojenerasyon tesislerinin kurulumunda kapasite ve elektrik/ısı oranı öncelikli olarak dikkate alınır. 22.000m² kapalı alana sahip, 109 yatak kapasiteli özel bir hastaneye kojenerasyon sisteminin kurulması analizi olan çalışmamızda da böyle yapılmıştır. Referans alınan hastanenin toplam enerji tüketimi, çalışma şartları ve enerji tüketiminin elektrik/ısı oranı değerlendirilmiştir. Hastaneye ait bir yıllık enerji tüketim değerleri Çizelge 3.18’de verilmiştir. Bu bilgilere göre hastanede bir yılda elektrik gereksiniminin 7.184.354kW, 541.391m³ doğalgaz tüketimine karşılık da ısınma için 4.929.176kW enerji eşdeğeri tüketim yapıldığı görülmektedir. Hastane de günlük enerji ve aylık enerji tüketim değerleri incelendiğinde; elektrik tüketim değerlerinin ısı tüketim değerlerinden fazla olması motor tipi tahrik ünitesine sahip kojenerasyon sistemi seçimini gerekli kılmıştır.

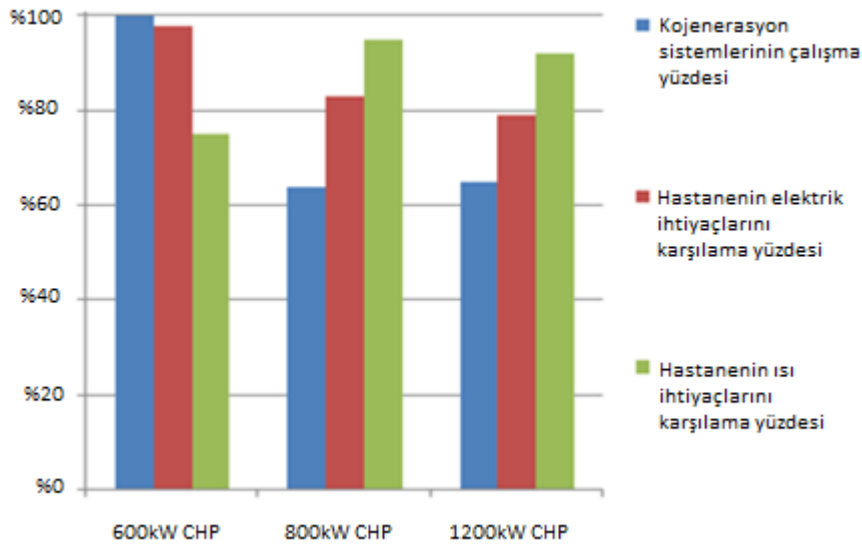
Seçilen sistem kapasitesinin belirlenmesinde minimum, maksimum ve bu iki değer arasında ortası tüketim değerleri esas alınmıştır. 600kW, 800kW ve 1.200kW değerinde üç tip kojenerasyon sisteminden birisinin uygun olacağı değerlendirilmiş, en uygununun belirlenmesi için de fizibilite yapılmıştır. Maliyet ve geri dönüş süresi bakımından yapılan değerlendirmeler sonucunda en uygun gücün 800kW olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1).



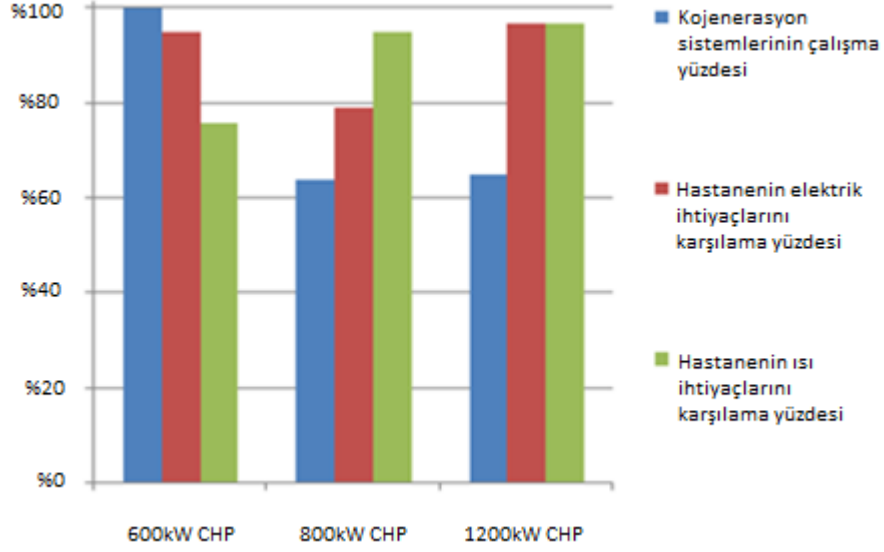
Şekil 4.1 : Farklı kojenerasyon sistemlerinin yıllık gelir mukayesesi

Şekil 4.2’de Ocak ayı için, Şekil 4.3’de ise Ağustos ayı için seçilen kojenerasyon sistemlerinin çalışma yüzdeleri ve çalışma şartlarında enerji ihtiyaçlarını karşılama oranları verilmiştir.

Kojenerasyon sistemi tahrik ünitesi 600kW olarak seçildiğinde, sistem tam kapasite ile (%100) çalışmak zorundadır. Seçilen bu değer, hastanenin minimum enerji tüketim değerini karşılamak üzere seçildiği için doğal bir durumdur. Sistemin elektrik ve ısı ihtiyaçlarını karşılama oranı %65 değerindedir. Kojenerasyon sisteminin yetersiz kaldığı saatlerde enerji gereksinimi şebekeden sağlanacaktır. Yani bu sistem için yatırım yapılacak, fakat gerekli enerji ihtiyaçlarını karşılama oranları düşük seviyede olduğu için ekstra enerji harcaması da gerekecektir. Bu da geri dönüşüm süresini uzattığı gibi yatırımı da anlamsız hale getirecektir.



Şekil 4.2 : Kojenerasyon sistemlerinin Ocak ayı yüzde oranları



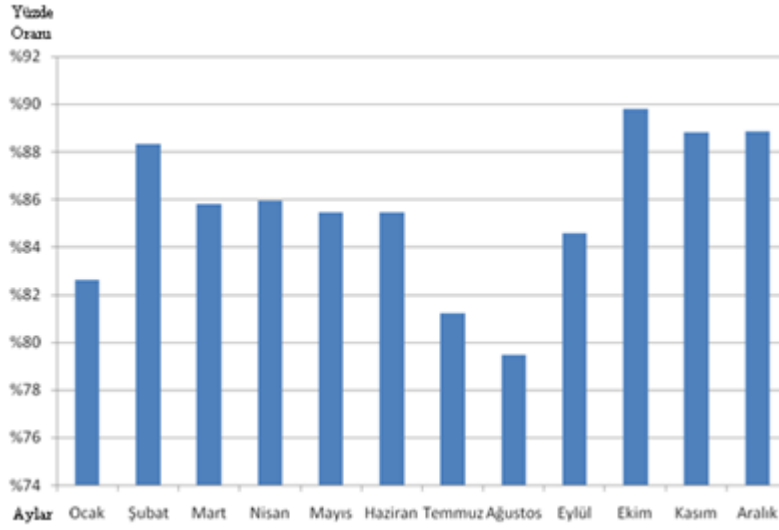
Şekil 4.3 : Kojenerasyon sistemlerinin Ağustos ayı yüzde oranları

1.200kW CHP sistemi günün belirli saatlerinde maksimum enerji gereksinimlerini karşılayacaktır. Ancak, diğer zamanlarda tam kapasite, enerji gereksinimden yüksek olduğu için daha düşük kapasite değerlerinde çalışacaktır. Değerlendirmeler çalışma yüzdesinin %75 oranında kaldığını göstermektedir. Bu durum, sisteme yapılan yatırımın $\frac{1}{4}$ 'lük kesiminden yararlanılmaması demektir. Sistem kapasitesinin büyüklüğü nedeniyle ilk yatırım maliyeti artmakta, çalışma kapasitesinin düşüklüğü ile de geri dönüşüm süresi daha uzun olmaktadır.

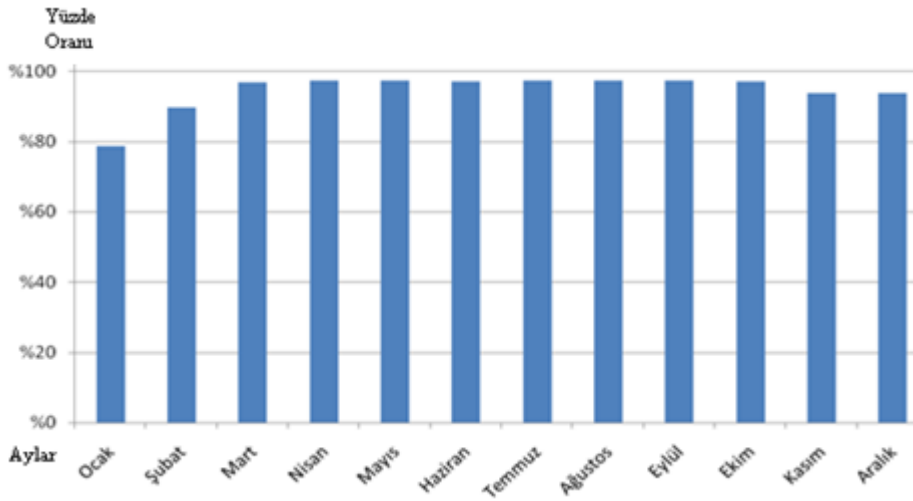
800kW CHP sisteminde etkin çalışma oranının diğer sistemlere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Böylece hem elektrik hem de ısı ihtiyacını karşılama oranları daha yüksek olacaktır. Ayrıca ilk yatırım maliyetinin de uygun olması ile geri dönüşümünün kısa sürede olacağı hesaplanmıştır. Bu yüzden sistemin tahrik gücünün 800kW olarak seçilmesi düşünülmüştür. Seçilen bu sistemin ocak ayı çalışma yüzdesi %98 ile en yüksek seviyede olduğu, kasım ayı çalışma yüzdesi %87 ile en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir.

Hesaplamalarda bir gün, 10:00-22:00 ve 22:00-10:00 olarak iki farklı periyota ayrılmıştır. Hastanede konvansiyonel sisteminin çalışma saati 24 saat ve 30 gün olarak kabul edilmiştir. Fakat hastaneye kurulacak kojenerasyon sisteminde yıllık 20 saat bakım süresi kabul edildiğinden ve aylık toplam çalışma süresi 700 saat (350saat + 350saat) olarak belirlenmiştir.

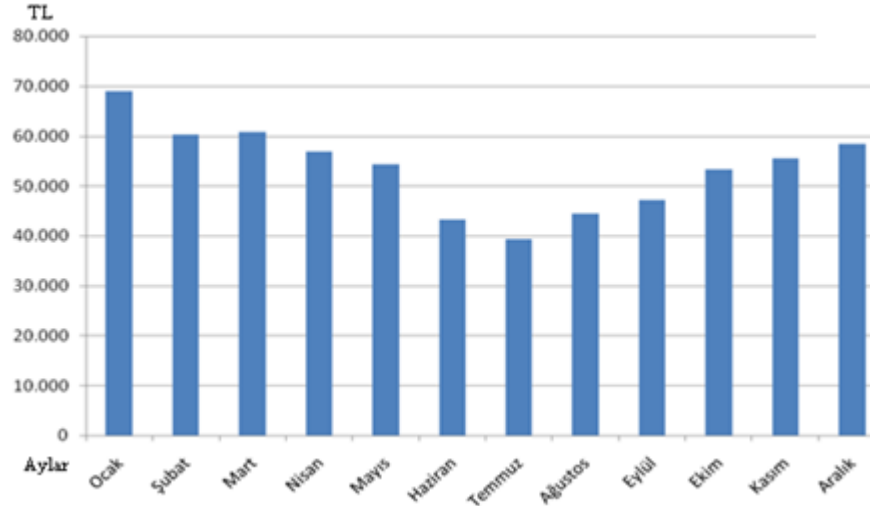
Seçilen 800kW CHP sisteminin aylara göre elektrik enerjisini karşılama grafiği Şekil 4.4'de, ısı enerjisini karşılama oranı Şekil 4.5'te verilmiştir.Şekil 4.6'da ise klasik sistemler ile kıyaslanarak aylık net tasarruf değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4 : Sistemin aylara göre elektrik ihtiyacını karşılama yüzdesi



Şekil 4.5 : Sistemin aylara göre ısı ihtiyacını karşılama oranları



Şekil 4.6 : Kojenerasyon sisteminin aylara göre net tasarruf değerleri

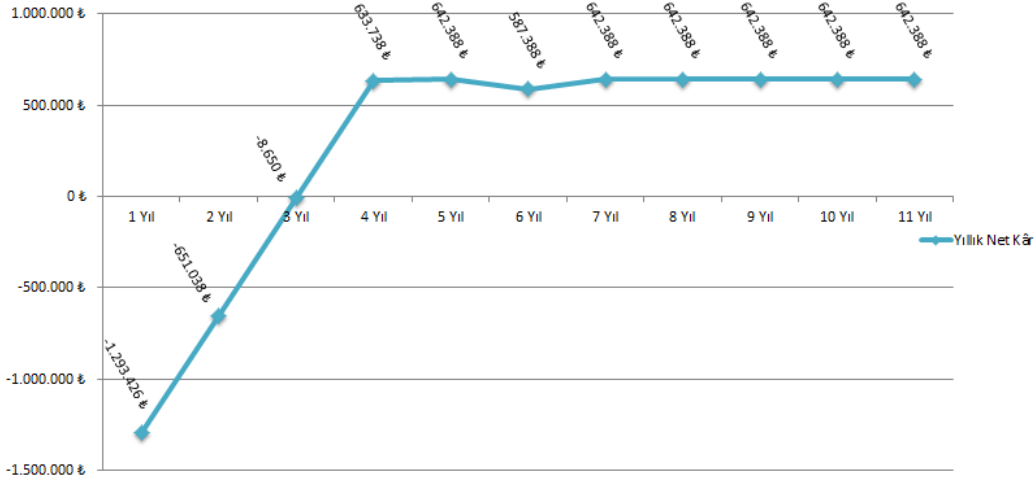
Seçilen sistemin yıllık ortalama çalışma oranı %91, yıllık elektrik ihtiyacını karşılama oranı %86 ve yıllık ısı ihtiyacını karşılama oranı %94 olarak bulunmuştur. Geri kalan ihtiyaç farkları da Tedaştan elektrik, İğdaştan da doğalgaz şeklinde ek maliyet olarak yansıtılmıştır.

Çizelge 3.18’den da görüleceği üzere kurulacak kojenerasyon sistemi ile hastanenin yıllık net tasarruf 642.388TL/yıl olacaktır. Üretim yapan firmalardan edinilen bilgiler çerçevesinde; motor tipi, doğalgaz yakıtlı, 800kW kurulu güce sahip kojenerasyon sisteminin 460.000€/adet, mühendislik hizmetlerinin ise yaklaşık 90.000€ olduğu toplamda ise 550.000€/adet yatırım maliyeti gerektiği bilgilerine ulaşılmıştır.

Sistemin bakım giderleri, kojenerasyon sistemi için kullanılan yakıt ve yağ tüketim değerleri, ek doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri seçilen sistemin teknik özellikleri çerçevesinde Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Seçilen sistem için yapılacak yatırımın geri dönüşümünün belirlenmesinde en basit yöntem, yatırımın net kâr ile kendini karşılama süresinin belirlenmesidir. İlk yatırımın Çizelge 3.18’de verilen sabit (ilk yatırım maliyetleri) ve değişken giderler (aylık doğalgaz tüketimi, yağ tüketimi vb.) dikkate alındığında, sistemin yıllık net tasarruf değeri dahilinde hastane için geri dönüşüm süresi 2,01 yıl olarak hesaplanmıştır. Motorlu kojenerasyon sistemleri için 40.000saat (yaklaşık 5 yıl) çalışmadan sonra büyük bir bakım gerekliliği, hareketli parçaların aşınmasına bağlı olarak parça değişimi vb. sebeplerle, bu değerın 55.000TL maliyet gerektireceği de

dikkate alınmıştır. Büyük bakım olarak ifade edilen bu bakımdan sonra verimde yaklaşık %10 kayıp olacağı beklenmektedir (Türkoted). Fakat sistem kendini 5 yıldan önce amorti ettiği için, oluşan bakım maliyeti kârdan düşmekte ve zarar oluşturmamaktadır. Şekil 4.6’da, analizi yapılan hastanenin geri dönüşüm ve kâr elde etme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.7 : Sistemin geri dönüşümünün yıllara göre grafiği

Sistemin değerlendirilmesi için bir diğer kriter ise paranın bugünkü değeri üzerinden değerlendirmenin yapılmasıdır. Böyle bir değerlendirmede bağıntımız;

$-Yatırımyapılanpara + \frac{kar}{(1+r)^n} + ..$ eşitliğini sıfıra eşitleyen “n” değerinin hesaplanmasıdır. Bağıntı aylık bazda hesaplanırsa r; aylık faiz değeri, n ise; yatırımdan sonra geçen birinci ay için 1, ikinci ay için 2 şeklindedir. Paranın bugünkü değeri üzerinden başabaş noktasının belirlenmesi olarak tanımlanan bu bağıntıda r = 0,1 alınır, Çizelge 3.18 değerleri üzerinden;

$$-1293426 - \frac{68909}{(1+0.01)^1} + \frac{60192}{(1+0.01)^2} + \frac{60762}{(1+0.01)^3} + \dots$$

Bağıntısı devam eden aylarda dikkate alınarak hesaplanırsa; 2 yıl 4 ayda sistemin ilk yatırım maliyeni karşılayacağı görülür.

İlk değerlendirme kriterimiz olan net kâr üzerinde yapılan değerlendirme ile paranın bugünkü değeri üzerinden yapılan değerlendirme arasında iki aylık bir fark oluşmaktadır. Paranın bugünkü değeri üzerinde yapılan değerlendirmenin daha efektif olacağı düşünülebilir.

Kojenerasyon sistemlerinin çalışma ömrü 15 yıl olarak değerlendirilebilir. Sistemin hareketli parçaları zamanla aşınmaya maruz kaldığı için, bu süre sonunda yapılacak parça değişimlerine ödenecek ücretler, sistemin veriminde meydana gelecek kayıp değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde çok pahalıya mal olabilir. Ancak, belirlenen bu sürenin, sistemin kurulu gücünde etkin bir verim kaybı olmadan, çalışma ömrünü devam ettirme süresi olduğu da gözardı edilmemelidir. Sistemin geri dönüşüm süresi 2 yıl 3 ay olarak hesaplandığı için, kalan süre sistemin kâr değerini göstermiştir. Bu sürede hastane, kurulan kojenerasyon sistemi ile hem 3.500.000€ gelir elde edecek hem de gerekli enerji ihtiyacını mevcut ihtiyaçlar oranında karşılayacaktır.

Kojenerasyon sisteminin teknik alt yapısının hazırlaması önemli olup sistemin kurulum süresinin kısa tutulması, ilk yatırım ücretinin geri dönüşüm sürecine yayılması, ancak bu süre içerisinde ek maliyet oluşturmaması önemlidir. Bu sebeple ek maliyetleri minimize etmede devlet teşviklerinin etkili olacağı düşünülmektedir.

Kojenerasyon sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan yakıtların kullanılması da mümkün olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarının uzun vadede kullanılmaları değerlendirilmelidir.

Kojenerasyon sisteminin periyodik bakımlarının zamanında uzman kişilerce yapılmasına özen gösterilmelidir. Sistem çalışma kontrollerinde de hassas olunmalı problem tespitinde, gerekli müdahale geciktirilmeden zamanında yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abusoglu, A.ve Kanoglu, M.**, 2008: First and second law analyses of diesel engine powered cogeneration systems, August.
- Abusoglu, A.ve Kanoglu, M.**, 2009: Exergetic and thermoeconomic analyses of diesel engine powered cogeneration, February.
- Abusoğlu, A, Kanoğlu M.**, 2008:Dizel motorlu kojenerasyon sistemlerinin emisyon ozelliklerinin incelenmesi, Aralık.
- Ağış, Ö.**, 2012:Enerji çevrim sektöründe enerji verimliliği,Turkoted, Ocak.
- Anonim**, 2010: BP.,Enerji istatistik raporu, <http://www.bp.com>, 10.08.2011
- Anonim**,2007:TEİAŞ, 10yıllık üretim kapasite projeksiyonu; 2007-2016, Temmuz.
- Anonim**, 2008:TEDAŞ,Türkiye elektrik dağıtım ve tüketim istatistikleri, <http://www.oib.gov.tr/tedas/tedas.htm>, Şubat.
- Anonim.**, 2005: ETKB,Enerji sektöründe sera gazı Azaltımı çalışma grubu raporu,www.ressiad.org.tr/doc/iddk.doc
- Anonim**, 2005:TEİAŞ,Enerji istatistik verileri
- Anonim.**, 2012: ETKB, Plan ve bütçe komisyonu. Ankara, [www.enerji.gov.tr /](http://www.enerji.gov.tr/)
- Anonim.**, 2012: ETKB, Türkiye enerji üretimi., www.enerji.gov.tr
- Anonim.**, 2008: Türkiyede kojenerasyon. İstanbul : [www.icci.com.tr /](http://www.icci.com.tr) 04.05.2011
- Aktaş, M.**, 2006: Stratejik enerji planlaması. : Türkiye enerji kongresi, Kasım.
- Arısoy, A.**, 1999: Buhar kazanlarında ve tesisatında enerji tasarrufu,Nisan-Mart
- Aussant, C.D., Fung, A.S., Ugursal, V.I., Taherian, H.**, 2009: Residential application of internal combustion engine based cogeneration in cold climate, December.
- Aygün, F.**, 2009: Mikro kojenerasyon semineri,Tübitak, Nisan.
- Bhargava, R., Bianchi, M., Peretto, A., Spina, P.**, 2002: Afeasibility study of existing gas turbines for recuperated, intercooled and reheat cycle, June.

- Costa, M., Balesteri, J., 2001:** Comparative study of cogeneration systems in a chemical industry, March.
- Çakır, D., 2006:** Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde doğalgazın yakıt olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fbe.
- Çakır, U.,2007:** Aziziye araştırma hastanesi enerji gereksinimi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi,Fbe.
- Çengel, Y. ve A.Boles, M., 1996:** Thermodynamics: An engineering approach s.l. : Mc Graw Hill.
- Çetin, B., 2005:** Çok amaçlı enerji üretim sistemlerinin termoeconomik optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart.
- Davidson, K. G.,2002:** Energy nexus group, PA Consulting independent power database, February
- Demir, B. ve Güngör, A., 2010:** Alfa tipi tek yer değiştirmeli bir Stirling motorun tasarımı ve performans testi.: CBÜ MYO Teknik bilimler dergisi.
- Edwards, J.D., 2000:** Market Assessment of combined heat and power,California.
- Ekren, N. ve Yılmaz, Ö., 2004:** Kojenerasyon teknolojisi, 3E Dergisi, Temmuz.
- Elhanan, A., 2006:** Gaz türbinleri ile bileşik elektrik üretimi ve soğutma, PHD
- Etemoğlu, A.B., İşman, M.K., 2004:** Enerji Kullanımının teknik ve ekonomik analizi. 529, s.l. : MMO.
- Franco, A., Casarosa, C., 2004:** Thermo-economic evaluation of the feasibility of highly efficient combined cycle power plants, October.
- Gün,V., 2007:** ETKB, Türkiyenin enerji politikalarına ve planlamasına genel bakış
- Gürhan, L., 2003:** Kojenerasyon sistemleri ve amortisman sürelerine etki eden parametrelerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fbe.
- Huangfu, Y., Wang, R., Xia, Z., Li, S.,2007:** Development of an experimental prototype of an integrated thermal management controller for internal-combustion-engine-basedcogeneration systems, December.

- Işık, E & İnallı, M.,** 2005:Kojenerasyon ve bölgesel ısıtma sistemlerindeki gelişmeler. 550, s.l. : MMO, Cilt 46.
- İster, İ.,** 2006: Mevcut bir fabrikada trijenerasyon uygulaması Yüksek Lisans. İstanbul : YTÜ Fbe.
- Kamate, S.C, Gangavati P.B.,**2009: Exergy analysis of cogeneration power plants in sugar industries, April.
- Kas, Ö.,** 2012: Sözlü görüşme. Kojenerasyon sistemlerinde uygulama, 15.02.2012
- Kerr, T.,** 2009 : Cogeneration and district energy, IEA, April.
- Koçak, O ve Gülşen, T.,** 1998:Kojenerasyon nedir? Teknikleri ve sistem seçimi. İstanbul : MMO, s. 35-38.
- Lemar, P.L.,** 2001: The potential impact of policies to promote combined heat and power in US industry, November.
- Luz-Silveira, J., Beyene,A., Leal,E., Santana,J., Okada, D.,**2002: Thermo economic analysis of a cogeneration system of a university campus, September.
- Mancarella, P.,**2009: Cogeneration systems with electric heat pumps: Energy-shifting properties and equivalent plant modelling, August.
- Malamatenios, Ch.** 2001:European Commision,Training guide on combine heat and power systems.
- Mez L. ve Michael S.,** 2008: Europeancommunity for renewable energy, ERENE, Berlin, May.
- Oymak, O. ve Batu, A.** 2001:Kojenerasyon ve akışkan yataklı kazanlar, Aralık.
- Öztürk, İ. ve Karaali, R.,**2007: Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerin verimini iyileştirme yöntemlerinin incelenmesi. Kocaeli : MMO, Sayı: 577
- Ramsey, B.** 2001: The European educational tool on cogeneratio, December.
- Si-Doek O. ve Diğ.,** 2007: Optimal planning and economic evaluation of cogeneration system, May.

- Tsai, W.T., Hsien, K.J.,** 2007: Renewable energy and sustainable energy reviews. An analysis of cogeneration system utilized as suitable energy, December.
- Türkel, M.** 2009: Kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojileri, Turkoted, Mayıs.
- Si-Doek., L., H., Jung, J., Kwak, H.,**2007: Optimal planning and economic evaluation of cogeneration system, May.
- Şahin, B., Bekdemir, Ş.,** 1995: Kombine çevrim güç santrallerinin mukayeseli ekonomik etüdü ve ekonomik çalışma bölgelerinin belirlenmesi.
- Ugursal, I. ve Knight, I.,** 2005: Residential cogeneration systems. A review of the current technologies, April.
- Ünver, Ü., Kılıç, M.,** 2005: Çevre sıcaklığının bir kombine çevrim güç santralinin performansına etkisi
- Wickart, M., Reinhard Madlener, R.,**2007: Optimal technology choice and investment timing: A stochastic model of industrial cogeneration vs. heat-only production, July.
- Varal, V.,** 2008: Kojenerasyonun durumu ve geleceği, Turkoted, Mayıs.
- Yüksel, F.,** 2007: Kojenerasyon ve yöremize uygulanması, Enerji formu, Mayıs
- Zaparowski, B., Szczerbowski, R.,** 2003: Energy analysis of technological systems of natural gas fired combined heat and power plants, January.
- Zhi.G. S,**2008: Energy efficiency and economic feasibility analysis of cogeneration system driven by gas engine.

ÖZGEÇMİŞ

İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı.

Yıldız Teknik Üniversitesi MYO İnşaat Teknikerliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olduktan sonra idealleri doğrultusunda, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu.