

**AZİZİYE ARAŞTIRMA HASTANESİ ENERJİ  
GEREKSİNİMİ İÇİN KOJENERASYON  
SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

**Uğur ÇAKIR**

**Y.Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doç. Dr. Fikret YÜKSEL  
2007  
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y.LİSANS TEZİ

**AZİZİYE ARAŞTIRMA HASTANESİ ENERJİ GEREKSİNİMİ İÇİN  
KOJENERASYON SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

Uğur ÇAKIR

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM  
2007

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Fikret YÜKSEL'in danışmanlığında, Uğur ÇAKIR tarafından hazırlanan bu çalışma 21.08.2007 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hanifi SARAÇ *İmza* :

Üye : Prof. Dr. Kadir BİLEN *İmza* :

Üye : Doç. Dr. Fikret YÜKSEL *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(İmza)

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### **AZİZİYE ARAŞTIRMA HASTANESİ ENERJİ GEREKSİNİMİ İÇİN KOJENERASYON SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

Uğur ÇAKIR

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fikret YÜKSEL

Teknolojinin toplum hayatına girmesiyle enerjiye olan talep oldukça artmıştır. Diğer taraftan birincil enerji kaynakları da azalmıştır. Dolayısıyla enerjinin verimli bir şekilde kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

Bu durum araştırmacıları enerjiyi daha verimli kullanan, daha güvenilir, ve enerji maliyetlerini azaltan sistemler üzerine yoğunlaştırmıştır. Bu yöntemlerin başında II. Dünya Savaşından beri kullanılmakta olan ve ülkemizde de son zamanlarda oldukça rağbet gören bileşik ısı-güç sistemleri gelmektedir.

Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve bu sistemlerde kullanılan ilk çevrim elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca Erzurum Aziziye Araştırma hastanesi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

**2007, 136 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kojenerasyon, enerji, enerji maliyeti, enerji kullanılabilirliği, enerji tasarrufu.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **APPLICABILITY OF THE COGENERATION SYSTEM OF THE AZİZİYE APPLIED HOSPİTAL**

Uğur ÇAKIR

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fikret YÜKSEL

The introduction of technology to people's lives demands more energy utilization making main energy sources of the world to decrease drastically.

This situation directed researchers led to use primer energy resources productively, and to search alternative methods to decrease production cost. One of the method used since the second world war is the combined heat and power production systems (cogeneration systems).

In this study, cogeneration systems are investigated in detail and information about primer cycle elements used by cogeneration systems is given. Further more the applicability of the cogeneration system for the Aziziye Araştırma Hastanesi energy requirement is analyzed.

**2007, 136 Pages**

**Keywords:** Cogeneration, energy, energy cost, energy utility, energy saving

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır. Çalışmalarım süresince her türlü desteğini benden esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Fikret YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında maddi ve manevi hiç bir fedakârlıktan kaçınmayarak daima bana destek veren ve yanımda olan sevgili nişanlım Yüksek Ziraat Mühendisi Sayın Özlem ÖZDEMİR hanımefendiye katkılarından dolayı sonsuz şükranlarımı sunarım.

Sayın Arş. Gör. Burak DİKİCİ, Sayın Arş. Gör. Murat BALCI'ya, Borusan Güç Sistemleri-Kojen Grubunun öncelikle makine mühendisleri olmak üzere değerli çalışanlarına ve diğer arkadaşlarıma, tezimin hazırlanması esnasında göstermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmanın gerçekleşmesine imkân sağlayan Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünün değerli öğretim üyelerine ve Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün değerli yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana göstermiş oldukları destek ve teşviklerinden dolayı çok değerli aileme de özellikle teşekkür ederim.

Uğur ÇAKIR

Ağustos 2007

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Kojenerasyon nedir ?.....	2
1.2. Kojenerasyon sistemlerinin tarihçesi.....	4
1.3. Kojenerasyon sistemlerinin genel prensibi.....	5
1.4. Kojenerasyonun faydaları.....	7
1.5. Kojenerasyon sistemlerinin enerji ve maliyet kazancı.....	9
1.6. Kojenerasyon sistemlerinin çevresel kazançları.....	9
1.6.1. Kojenerasyon sistemleri CO <sub>2</sub> yayılımı açısından faydaları.....	9
1.7. Kojenerasyonun kullanıldığı yerler.....	10
1.7.1 Kojenerasyonun endüstriyel kullanım alanları.....	11
1.7.2. Yapılarda kojenerasyonun uygulanabilirliği.....	11
1.7.3. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından kojenerasyonun uygulanabilirliği.....	11
1.8. Türkiye’de kojenerasyon.....	11
1.8.1. Türkiye’de kojenerasyonun kullanımını destekleyen faktörler.....	12
1.8.2. Türkiye’de kojenerasyon kullanımının olumsuz yönleri.....	12
1.9. Kojenerasyon teknolojileri.....	13
1.9.1 Buhar türbinleri.....	16
1.9.1.1. Karşı basınçlı türbinler.....	18
1.9.1.2. Kondenseli türbinler.....	18
1.9.1.3. Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde ısı uygulamalar.....	19
1.9.1.4. Karşı basınçlı türbinlerin avantajları.....	19
1.9.1.5. Karşı basınçlı türbinlerin dezavantajları.....	20

1.9.1.6. Karşı basınçlı buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinin ekonomik performansı.....	20
1.9.2. Gaz türbinleri .....	22
1.9.2.1. Gaz türbinlerinde ısı uygulamalar.....	24
1.9.2.2. Gaz türbin sistemlerinin avantajları.....	25
1.9.2.3. Gaz türbin sistemlerinin dezavantajları.....	26
1.9.2.4. Gaz türbin sistemlerinin ekonomik performansı.....	26
1.9.3. Pistonlu motorlar.....	27
1.9.3.1. Sıkıştırma ateşlemeli motorlar.....	28
1.9.3.2. Kıvılcım ateşlemeli motorlar.....	30
1.9.3.3. Motorlu kojenerasyon sistemlerinde ısı uygulamalar.....	31
1.9.3.4. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin avantajları.....	31
1.9.3.5. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin dezavantajları.....	32
1.9.3.6. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin ekonomik performansı.....	32
1.9.4. Stirling motorları.....	33
1.9.4.1. Stirling motorlarında ısı uygulamalar.....	35
1.9.4.2. Stirling motorlarının genel avantajları.....	35
1.9.4.3. Stirling motorlarının genel dezavantajları.....	36
1.9.4.4. Stirling motorlarının ekonomik performansı.....	36
1.9.5. Mikro türbinler.....	36
1.9.5.1. Mikro türbinlerde ısı uygulamalar.....	37
1.9.5.2. Mikro türbinlerin avantajları.....	38
1.9.5.3. Mikro türbinlerin dezavantajları.....	38
1.9.5.4. Mikro türbinlerin ekonomik performansı.....	38
1.9.6. Yakıt pilleri.....	39
1.9.6.1. Yakıt pillerin avantajları.....	40
1.9.6.2. Yakıt pillerinin dezavantajları.....	40
1.9.6.3. Yakıt pillerinin ekonomik performansı.....	41
1.10. Tez çalışmasının amacı.....	41
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>42</b>
2.1. Kojenerasyon çalışmalarına genel bakış.....	42

<b>3. MATERİYAL ve YÖNTEM</b>	49
3.1. Aziziye Araştırma Hastanesinin ısı enerjisi ihtiyaçları ve ısı merkezi...	49
3.2. Aziziye Araştırma Hastanesi elektrik enerjisi ihtiyacı.....	53
3.3. Aziziye Araştırma Hastanesi için kojenerasyon sistemi seçimi.....	55
3.4. Aziziye Araştırma Hastanesinde kojenerasyonla elektrik üretimi.....	55
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b>	66
4.1. Maksimum güce göre (Şubat Ayı Tüketimi) sistem tayini yapılarak sistem seçimi ve analizi.....	66
4.1.1. Ocak Ayı.....	67
4.1.2. Şubat Ayı.....	69
4.1.3. Mart Ayı.....	70
4.1.4. Nisan Ayı.....	72
4.1.5. Mayıs Ayı.....	73
4.1.6. Haziran Ayı.....	74
4.1.7. Temmuz Ayı.....	75
4.1.8. Ağustos Ayı.....	77
4.1.9. Eylül Ayı.....	78
4.1.10. Ekim Ayı.....	79
4.1.11. Kasım Ayı.....	80
4.1.12. Aralık Ayı.....	82
4.1.13. Maksimum güce göre (Şubat Ayı Tüketimi) sistem tayini yapılarak kojenerasyon sistem seçiminin analizi.....	83
4.2. Yılın en düşük elektrik tüketiminin olduğu aya (Temmuz) göre sistem gücü belirleyerek .....	91
4.2.1. Ocak Ayı.....	93
4.2.2. Şubat Ayı.....	94
4.2.3. Mart Ayı.....	95
4.2.4. Nisan Ayı.....	97
4.2.5. Mayıs Ayı.....	98
4.2.6. Haziran Ayı.....	99
4.2.7. Temmuz Ayı.....	100
4.2.8. Ağustos Ayı.....	102

4.2.9. Eylül Ayı.....	103
4.2.10. Ekim Ayı.....	104
4.2.11. Kasım Ayı.....	106
4.2.12. Aralık Ayı.....	107
4.2.13. Minimum güce göre (Temmuz ayı tüketimi) sistem tayini yapılarak kojenerasyon sistem seçiminin analizi .....	108
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....</b>	<b>115</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>125</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>127</b>
EK 1.....	127
EK 2.....	128
EK 3.....	129
EK 4.....	132
EK 5.....	134
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$Q_g$	Motor gövde soğutucusundan elde edilen ısı
$Q_e$	Egzoz gazından elde edilen ısı
$m_g$	Motor gövde suyu kütleli debisi
$m_e$	Egzoz gazı kütleli debisi
$c_p$	Sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$Q_T$	Sistemin toplam ısısı
$m_{ks}$	Kızgın su kütleli debisi
$m_{ss}$	Soğuk su kütleli debisi
$G_i$	Yıllık net kazanç
$G_y$	İlk yatırım maliyeti
$f$	Yıllık faiz oranı
$t_g$	Geri ödeme süresi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kimyasal Yakıt Kullanan Konvansiyonel Elektrik Üretim Yöntemi	3
Şekil 1.2. Klasik Yöntemlerle Isı ve Elektrik Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması.....	4
Şekil 1.3. Klasik Bir Kojenerasyon Sisteminin Şeması.....	6
Şekil 1.4 Konvansiyonel Elektrik Üretim ve Dağıtım Sistemi.....	7
Şekil.1.5. Konvansiyonel sistemlerle kojenerasyonun kıyaslanması.....	13
Şekil 1.6. Örnek bir kojenerasyon sistemi.....	14
Şekil 1.7. Kondenseli ve Kondensesiz Türbinler.....	17
Şekil 1.8. Gaz Türbin Sistemi.....	24
Şekil.1.9. Motorlu kojenerasyon sistemi .....	28
Şekil.1.10. Motorlu kojenerasyon sistemlerini maliyet dağılımı.....	33
Şekil.1.11. Stirling motoru .....	34
Şekil.1.12. Mikro Türbinler .....	37
Şekil 3.1. Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz tüketimi.....	52
Şekil 3.2. Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki ısı enerjisi tüketimi.....	52
Şekil 3.3. Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki elektrik Tüketimi.....	54
Şekil 3.4. Örnek bir tesisin gün içindeki elektrik tüketim dağılımı ve kojenerasyon seçimi şeması.....	57
Şekil 3.5. Aziziye Araştırma Hastanesinin günlük elektrik tüketim eğrisi.....	59
Şekil 3.6. Aziziye Araştırma Hastanesinin örnek kojenerasyon seçimi.....	61
Şekil 3.7. Doğalgaz motorlarının kısmi yüklemelere göre verim değişimi.....	62
Şekil 3.8. Doğalgaz motorlarının kısmi yüklemelere göre elektrik üretimi birim maliyet değişimi.....	64
Şekil 4.1. 1656 kW’lık Motorla Ocak ayı elektrik üretim dağılımı.....	68
Şekil 4.2. 1656 kW’lık Motorun Ocak ayı çalışma yükü dağılımı.....	68
Şekil 4.3. 1656 kW’lık Motorla Şubat ayı elektrik üretim dağılımı.....	69
Şekil 4.4 . 1656 kW’lık Motorun Şubat ayı çalışma yükü dağılımı.....	70
Şekil 4.5. 1656 kW’lık Motorla Mart ayı elektrik üretim dağılımı.....	71

Şekil 4.6. 1656 kW'lık Motorun Mart ayı çalışma yükü dağılımı.....	71
Şekil 4.7. 1656 kW'lık Motorla Nisan ayı elektrik üretim dağılımı.....	72
Şekil 4.8. 1656 kW'lık Motorun Nisan ayı çalışma yükü dağılımı.....	73
Şekil 4.9. 1656 kW'lık Motorla Mayıs ayı elektrik üretim dağılımı.....	73
Şekil 4.10. 1656 kW'lık Motorun Mayıs ayı çalışma yükü dağılımı.....	74
Şekil 4.11. 1656 kW'lık Motorla Haziran ayı elektrik üretim dağılımı.....	74
Şekil 4.12. 1656 kW'lık Motorun Haziran ayı çalışma yükü dağılımı.....	75
Şekil 4.13. 1656 kW'lık Motorla Temmuz ayı elektrik üretim dağılımı.....	76
Şekil 4.14. 1656 kW'lık Motorun Temmuz ayı çalışma yükü dağılımı.....	76
Şekil 4.15. 1656 kW'lık Motorla Ağustos ayı elektrik üretim dağılımı.....	77
Şekil 4.16. 1656 kW'lık Motorun Ağustos ayı çalışma yükü dağılımı.....	77
Şekil 4.17. 1656 kW'lık Motorla Eylül ayı elektrik üretim dağılımı.....	78
Şekil 4.18. 1656 kW'lık Motorun Eylül ayı çalışma yükü dağılımı.....	79
Şekil 4.19. 1656 kW'lık Motorla Ekim ayı elektrik üretim dağılımı.....	79
Şekil 4.20. 1656 kW'lık Motorun Ekim ayı çalışma yükü dağılımı.....	80
Şekil 4.21. 1656 kW'lık Motorla Kasım ayı elektrik üretim dağılımı.....	81
Şekil 4.22. 1656 kW'lık Motorun Kasım ayı çalışma yükü dağılımı.....	81
Şekil 4.23. 1656 kW'lık Motorla Aralık ayı elektrik üretim dağılımı.....	82
Şekil 4.24. 1656 kW'lık Motorun Aralık ayı çalışma yükü dağılımı.....	83
Şekil 4.25. 1010 kW'lık Motorla Ocak ayı elektrik üretim dağılımı.....	93
Şekil 4.26. 1010 kW'lık Motorla Ocak ayı çalışma yükü dağılımı.....	94
Şekil 4.27. 1010 kW'lık Motorla Şubat ayı elektrik üretim dağılımı.....	94
Şekil 4.28. 1010 kW'lık Motorun Şubat ayı çalışma yükü dağılımı.....	95
Şekil 4.29. 1010 kW'lık Motorla Mart ayı elektrik üretim dağılımı.....	96
Şekil 4.30. 1010 kW'lık Motorun Mart ayı çalışma yükü dağılımı.....	96
Şekil 4.31. 1010 kW'lık Motorla Nisan ayı elektrik üretim dağılımı.....	97
Şekil 4.32. 1010 kW'lık Motorun Nisan ayı çalışma yükü dağılımı.....	98
Şekil 4.33. 1010 kW'lık Motorla Mayıs ayı elektrik üretim dağılımı.....	98
Şekil 4.34. 1010 kW'lık Motorun Mayıs ayı çalışma yükü dağılımı.....	99
Şekil 4.35. 1010 kW'lık Motorla Haziran ayı elektrik üretim dağılımı.....	100
Şekil 4.36. 1010 kW'lık Motorun Haziran ayı çalışma yükü dağılımı.....	100

Şekil 4.37. 1010 kW'lık Motorla Temmuz ayı elektrik üretim dağılımı.....	101
Şekil 4.38. 1010 kW'lık Motorun Temmuz ayı çalışma yükü dağılımı.....	102
Şekil 4.39. 1010 kW'lık Motorla Ağustos ayı elektrik üretim dağılımı.....	102
Şekil 4.40. 1010 kW'lık Motorun Ağustos ayı çalışma yükü dağılımı.....	103
Şekil 4.41. 1010 kW'lık Motorla Eylül ayı elektrik üretim dağılımı.....	104
Şekil 4.42. 1010 kW'lık Motorun Eylül ayı çalışma yükü dağılımı.....	104
Şekil 4.43. 1010 kW'lık Motorla Ekim ayı elektrik üretim dağılımı.....	105
Şekil 4.44. 1010 kW'lık Motorun Ekim ayı çalışma yükü dağılımı.....	105
Şekil 4.45. 1010 kW'lık Motorla Kasım ayı elektrik üretim dağılımı.....	106
Şekil 4.46. 1010 kW'lık Motorun Kasım ayı çalışma yükü dağılımı.....	107
Şekil 4.47. 1010 kW'lık Motorla Aralık ayı elektrik üretim dağılımı.....	107
Şekil 4.48. 1010 kW'lık Motorun Aralık ayı çalışma yükü dağılımı.....	108
Şekil 5.1. Seçilen motorların %50-%100 yük aralıklarında çalışması.....	117
Şekil 5.2. Seçilen motorların %50-%100 yük aralıklarında ve tam yükte çalışması .....	119
Şekil 5.3. Seçilen motorların yılda 8000 saat ve %100 yükte çalışması .....	121

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Gaz Türbini ve Atık Isı Kazanından Oluşan Örnek Bir Kojenerasyon Sisteminin Genel Özellikleri.....	12
Çizelge 1.2. Türkiye Konvansiyonel ve Desantralize Elektrik Üretim Oranları.....	10
Çizelge 1.3. Buhar Türbinli Sistemlerin Maliyetleri.....	21
Çizelge 1.4. Gaz Türbinli Sistemlerin Maliyetleri.....	27
Çizelge 1.5. Motorlu Sistemlerin Maliyetleri.....	33
Çizelge 1.6. Stirling Motorlu Sistemlerin Maliyetleri.....	36
Çizelge 1.7. Mikro Türbinli Sistemlerin Maliyetleri.....	38
Çizelge 1.8. Yakıt Pilli Sistemlerin Maliyetleri.....	41
Çizelge 3.1. Aziziye Araştırma Hastanesi Isı Merkezinde kullanılan kazanların genel özellikleri.....	50
Çizelge 3.2. Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz ve ısıt enerji tüketimi ve maliyetleri.....	51
Çizelge 3.3. Aziziye araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz ve ısıt enerji tüketimi ve maliyetleri.....	54
Çizelge 3.4. Doğalgaz motorlarının çalışma yüklerine göre mekanik verimleri.....	61
Çizelge 3.5. Doğalgaz motorlarının çalışma yüklerine göre elektrik üretimi birim maliyetleri.....	64
Çizelge 4.1. CAT G3516 C Tipi Motor Özellikleri.....	66
Çizelge 4.2. 1656 kW'lık motorun Ocak ayı çalışma saatleri.....	68
Çizelge 4.3. 1656 kW'lık motorun Şubat ayı çalışma saatleri.....	70
Çizelge 4.4. 1656 kW'lık motorun Mart ayı çalışma saatleri.....	71
Çizelge 4.5. 1656 kW'lık motorun Nisan ayı çalışma saatleri.....	72
Çizelge 4.6. 1656 kW'lık motorun Mayıs ayı çalışma saatleri.....	74
Çizelge 4.7. 1656 kW'lık motorun Haziran ayı çalışma saatleri.....	75
Çizelge 4.8. 1656 kW'lık motorun Temmuz ayı çalışma saatleri.....	76
Çizelge 4.9. 1656 kW'lık motorun Ağustos ayı çalışma saatleri.....	78
Çizelge 4.10. 1656 kW'lık motorun Eylül ayı çalışma saatleri.....	79
Çizelge 4.11. 1656 kW'lık motorun Ekim ayı çalışma saatleri.....	80

Çizelge 4.12. 1656 kW’lık motorun Kasım ayı çalışma saatleri.....	81
Çizelge 4.13. 1656 kW’lık motorun Aralık ayı çalışma saatleri.....	82
Çizelge 4.14. CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki çalışma özellikleri.....	83
Çizelge 4.15. CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki maliyet ve yakıt tüketim çizelgesi.....	85
Çizelge 4.16. CAT G3516 C Motorunun değişik yük aralıklarındaki ortalama çalışma özellikleri.....	85
Çizelge 4.17. CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki egzoz gazı özellikleri.....	87
Çizelge 4.18. CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yüklerine göre egzoz gazlarından attığı ısı .....	87
Çizelge 4.19. CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında egzoz gazlarından attığı ortalama ısı enerjisi.....	88
Çizelge 4.20. CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yüklerinde soğutma suyunun enerjisi.....	88
Çizelge 4.21. CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında soğutma suyunun enerjisi.....	89
Çizelge 4.22. CAT G3516 LE Motorunun genel özellikleri.....	92
Çizelge 4.23. 1010 kW’lık motorun Ocak ayı çalışma saatleri.....	94
Çizelge 4.24. 1010kW’lık motorun Şubat ayı çalışma saatleri.....	95
Çizelge 4.25. 1010 kW’lık motorun Mart ayı çalışma saatleri.....	96
Çizelge 4.26. 1010 kW’lık motorun Nisan ayı çalışma saatleri.....	97
Çizelge 4.27. 1010 kW’lık motorun Mayıs ayı çalışma saatleri.....	99
Çizelge 4.28. 1010 kW’lık motorun Haziran ayı çalışma saatleri.....	100
Çizelge 4.29. 1010 kW’lık motorun Temmuz ayı çalışma saatleri.....	101
Çizelge 4.30. 1010 kW’lık motorun Ağustos ayı çalışma saatleri.....	103
Çizelge 4.31. 1010 kW’lık motorun Eylül ayı çalışma saatleri.....	104
Çizelge 4.32. 1010 kW’lık motorun Ekim ayı çalışma saatleri.....	105
Çizelge 4.33. 1010 kW’lık motorun Kasım ayı çalışma saatleri.....	106
Çizelge 4.34. 1010 kW’lık motorun Aralık ayı çalışma saatleri.....	108
Çizelge 4.35. CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki çalışma özellikleri.....	109
Çizelge 4.36. CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki maliyet ve yakıt tüketim çizelgesi.....	109

Çizelge 4.37. CAT G3516 LE Motorunun değişik yük aralıklarında ortalama çalışma özellikleri.....	110
Çizelge 4.38. CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki egzoz gazı özellikleri.....	111
Çizelge 4.39. CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yüklerine göre egzoz gazlarından attığı ısı.....	112
Çizelge 4.40. CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında egzoz gazlarından attığı ortalama ısı enerjisi .....	112
Çizelge 4.41. CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yüklerinde soğutma suyunun enerjisi.....	112
Çizelge 4.42. CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yük aralıklarında soğutma suyunun enerjisi.....	113
Çizelge 5.1. İki farklı motor seçeneğinin normal çalışma şartlarının kıyaslanması.....	118
Çizelge 5.2. İki farklı motor seçeneğinin belirlenen süreler içinde tam yükte çalışma şartlarının kıyaslanması .....	120
Çizelge 5.3. İki farklı motor seçeneğinin yılın tamamında tam yükte çalışma şartlarının kıyaslanması.....	121

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu varlığı ile birlikte yaşamını devam ettirmek için hayatının her evresinde enerjiye gereksinim duymuştur ve daima da duyacaktır. İnsanlar ilk zamanlar sadece günlük yaşamını devam ettirmek ve olası tehlikelerden korunmak için enerjiye ihtiyaç duyuyor ve bu enerjiyi de besin maddelerinden sağlıyorlardı. Fakat yaşam tarzının değişmesi sonucu zamanla ihtiyaçlarının artması ile birlikte gereksinim duyduğu enerjinin türü, çeşidi, miktarı ve kalitesi de değişmiştir. İlk zamanlar korunabilmek, yiyecek bulabilmek için; sadece vücut enerjisini karşılayabilecek kadar besine gerek duyulmuştur. İnsanlar için doğada söz konusu kaynaklar fazlasıyla yeterli idi. Ateşin bulunması ile insanların konfor anlayışı ve yemek alışkanlıkları değişmiştir. Bu noktadan sonra yaşamın devamı için ısı enerjisine de ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Söz konusu ısı enerjisi zamanla hayatımızın olmazsa olmaz bir parçası olmuştur. Teknolojinin gelişimine paralel olarak ısı enerjisine olan talep artmış, elde etme yöntemleri ve kullanım amaçları da değişmiştir.

Gelişen yaşam şartları ve sosyalleşen insan daha yeni, daha farklı enerji türleri aramaya başlamıştır. İnsan kendi enerjisinin yetmediği durumlar için hayvanların enerjisinden faydalanmayı öğrenmiştir. Bunun sonucu olarak günümüz teknolojik motorların gücü halen beygir gücü olarak ifade edilmektedir. Zamanla değişen ihtiyaçlara bağlı olarak farklı özelliklerde enerji türlerine ihtiyaç duyulmuş ve bu yönde arayışlar başlamıştır. Bu arayışlar sonucunda rüzgârın itici gücü fark edilmiştir. Dünyada sıcak ve soğuk hava kütleleri arasında var olan basınç farkından dolayı ortaya çıkan rüzgârdan 3200 yıl önce faydalanılmaya başlanmıştır. Elde edilen enerji ile yelkenli deniz taşıtlarına hareket kazandırılmıştır. Elektrik ile gündeme gelen manyetik alanların çekim gücünün yaklaşık 5000 yıl önce Çin’de bulunduğu dair bilgiler vardır. Demir objelerin toplanmasında ve daima kuzeyi gösteren pusulada kullanılıyordu. (Anonim 2005)

Enerji ile ilgili sorunlar uzun süreden beri ulusal sorun olmaktan çıkmış ve günümüzde bir dünya sorunu haline gelmiştir. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında bilim mühendislik ve insan yaratıcılığının birleşmesi ile birlikte ortaya çıkan teknolojik devrimler yaşamı

nerdeyse tamamen değiştirmiştir. Enerji de bu değişimden en çok etkilenen parametre olmuştur. Hayatımıza giren yeniliklerin hemen hepsinin temelinde enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve enerji dönüşüm sistemlerinin çeşitliliği vardır. Ortaya çıkan yeni teknolojilerin hayatımıza girmesi ve benimsenmesi sonucu ihtiyaç duyulan enerji miktarı da artmıştır. Fakat teknolojik gelişmeler sürekli ve hızlı biçimde artış gösterirken, sabit olan enerji kaynakları azalma trendine girmiştir.

Enerji sektöründeki gelişme başarısı; teknolojik ilerlemelerden çok temel sorunların çözülmesine bağlıdır. Enerjinin temel sorunlarının başında bulunabilirliği ve sürekliliği gelmektedir. Bu konular enerjinin sağlanabilmesi ve toplumun sürekliliğini ve gelişimini devam ettirmek için yeterli enerji ikmalinin yapılması gerekliliğini ortaya çıkar mıştır.

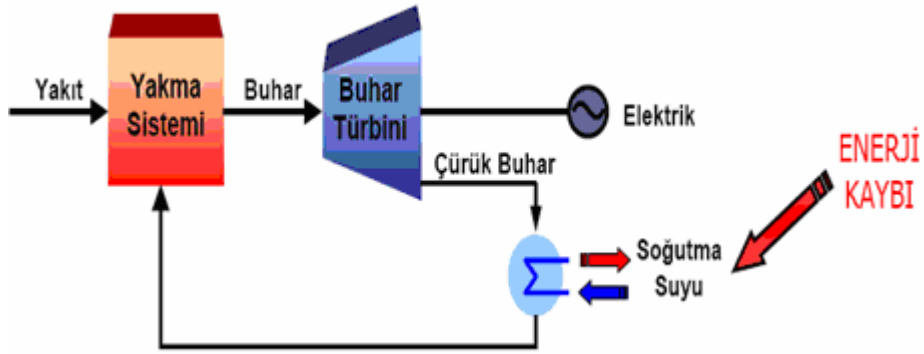
Günümüzde enerji kullanımı yaşamımızı devam ettirilmesi için gereklidir. Ancak, enerjiye en çok ihtiyaç duyulan çağda mevcut enerji kaynaklarının çok yakın zamanda tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu noktadan sonra yapılabilircek iki şey vardır. Bunlardan birincisi yeni, yenilenebilen ve çevreye duyarlı yakıt türleri ve enerji kaynakları bulunması veya geliştirilmesidir. İkincisi ise; mevcut enerji kaynaklarının daha verimli ve etkin biçimde tketerек daha uzun süre onlardan faydalanılmasıdır. Günümüzde enerji kaynaklarının etkin kullanılması bağlamında kojenerasyon sistemleri önerilmektedir. Söz konusu sistemlerin amacı enerji kaynağından yalnızca ısı veya elektrik enerjisi elde etmek değil her ikisini birlikte elde edebilmektir.

### **1.1. Kojenerasyon Nedir?**

Kojenerasyon en genel halde eş zamanlı ısı-güç üretimi olarak tanımlanabilir. Kojenerasyon sistemlerinde kimyasal yakıt kullanılarak klasik yollarla elektrik enerjisi üretilmesi esnasında oluşan soğutma suyunun ve çok sıcak baca gazlarının sahip olduğu ısı enerjisi yardımcı sistemlerle değerlendirilerek farklı amaçlara yönelik olarak kullanılır. Bu sayede baca gazları ile doğaya salınacak olan ısı enerjisinin geri kazanılması sağlanır ve yakıt enerjisinden daha fazla yararlanılmış olunur.

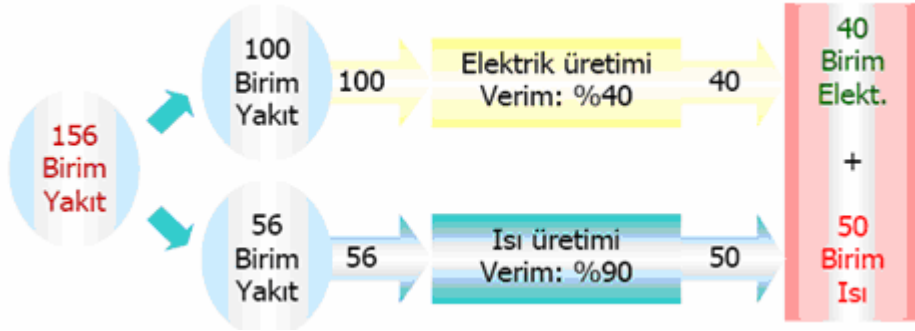
Kojenerasyon sistemlerinde toplam verim %80–90 arasındadır. Kojenerasyon sistemlerinde üretilen enerjinin birim maliyeti de oldukça düşüktür (Rosen *et al.* 2004).

Kojenerasyon sistemlerinde çok çeşitli ve farklı teknolojilerden ve yöntemlerden faydalanılabilir. Ortalama bir kojenerasyon ünitesinde genel olarak elektrik jeneratörünün rotorunu döndürmeye yarayan ilk tahrik elemanı (motor, türbin), elektrik üretim jeneratörü, atık ısı kazanı ve ısı değıştirciler bulunur.(Şekil 1.1) Kojenerasyon birleşik ısı güç sistemleri anlamına gelen CHP (Combined heat and power) ya da TE (total energy) olarak da isimlendirilmektedir (Anonymous 2001).



**Şekil 1.1.** Kimyasal Yakıt Kullanan Konvansiyonel Elektrik Üretim Yöntemi  
(www.mimag –samko.com.tr)

Elektrik ve ısı enerjisinin beraber üretiminin daha verimli olduğu prensibinden hareketle ortaya atılan kojenerasyonun aksine ısı ve elektrik enerjisinin ayrı üretiminin verim çok daha düşük olmaktadır (Şekil 1.2 ).



**Şekil 1.2.** Klasik Yöntemlerle Isı ve Elektrik Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması  
([www.mimag-samko.com.tr](http://www.mimag-samko.com.tr))

## 1.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihçesi

Kojenerasyon teknolojisinin, ilk basit örnekleri 20. yüzyılın ilk yarısında görülmüştür. Ancak ucuz yakıt döneminde ise terk edilmiştir. 1973–1979 petrol krizlerinin ardından geliştirilerek yeniden uygulanmaya konulmuştur.

Kojenerasyon, 20. yüzyılın başlarından itibaren, güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulması ve bölgesel ısıtmanın yapılmasıyla başlamıştır. Bölgesel ısıtma konutların ve işyerlerinin ısıtılması, sıcak su ve proses ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. Bu uygulama, 1940’lı yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitirmiştir. 1970’li yıllarda yakıt fiyatlarının hızla yükselmesiyle ilgi dünya çapında yeniden artmıştır. Kojenerasyon ekonomik açıdan kazançlı olmuştur. Bunun sonucu olarak son yıllarda bu tür santrallerin kurulması hızlanmıştır

Kojenerasyon, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanılma olanağı bulmuştur. Örneğin ABD’ de binalar çok yüksek olduğundan sıcak su ile ısıtma yapılamamakta, bunun yerine düşük basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Bu sistemin kullanılmasının bir diğer sebebi ise yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhara olan ihtiyaçtır. Bu nedenle bileşik ısı – güç üreten merkezlerin yıllık verimi yüksek olmaktadır. Yirmi birinci yüzyılın sonuna kadar ABD’de elektriğin %15’inin kojenerasyon tesislerinden sağlanması

beklenmektedir. İngiltere’de 1945 yılından itibaren gelişen bölge ısıtması özellikle son 25 yıllık dönem içinde kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi ile oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Fransa’da bölge ısıtması ile ilgili ilk büyük tesis Paris’te yapılmıştır. Buharlı olan bu sistem devamlı olarak geliştirilmekte olup, hem bileşik ısı–güç üreten merkezlerden hem de yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri tarafından beslenmektedir. Almanya’da ise bölge ısıtma uygulamaları 1930’lardan sonra kaynar suya ve özellikle bileşik ısı – güç üretimine geçilmiştir. Merkezde ayrıca çöp yakan büyük kapasitedeki buhar kazanları da bulunduğundan işletme rantabilitesi yüksek olmaktadır. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç’te binaların %30–80’ i kojenerasyon sistemleriyle ısıtılmaktadır (İnallı vd. 2002).

### 1.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Genel Prensibi

Geleneksel yollarla elektrik üretiminde ortalama verim %35 ve kayıplar ise atık ısı veya başka şekilde olmak üzere toplam %65’lerdedir. Geleneksel yollarla kullanım noktalarından çok uzak mesafelerde elektrik üretilmesi durumunda üretilen elektriğin yaklaşık %10 ila 25’i dağıtım santrallerinde ve buradan kullanım yerlerine iletilmesi esnasında kayıp olarak verilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinde ise sistemin türüne bağlı olarak iletim kayıplarının da dikkate alınmasıyla birlikte elektrik üretimindeki verim %55’lere kadar çıkabilmektedir. Sistemde elektrik üretimi esnasında soğutma ekipmanlarında oluşan ve egzoz gazlarının ihtiva ettiği ısı enerjisi çekilerek atık ısı değerlendirme sistemlerinde (atık ısı kazanları) çekilerek kullanılır. Elde edilen enerji konut ısıtma-soğutmasında ya da endüstriyel tesislerde amacına uygun olarak kullanılır. Bu sayede toplam verim %90’lara kadar çıkabilmektedir (R. Casten *et al.* 2003).

Elektrik üretimi sırasında oluşan atık ısısında kullanılması ile birlikte kojenerasyon sistemlerinin verimliliği %90’lara ulaşabilmektedir.(Şekil 1.3) Bunun yanında kojenerasyon sistemleri yerel olarak kurulduğu için yukarıda bahsi geçen iletim kayıpları da ihmal edilebilir seviyelere gerilemektedir. Bu yüzden kojenerasyon sistemleri konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında %15 ile %40 arasında değişen oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca yerel elektrik üretimi demek daha

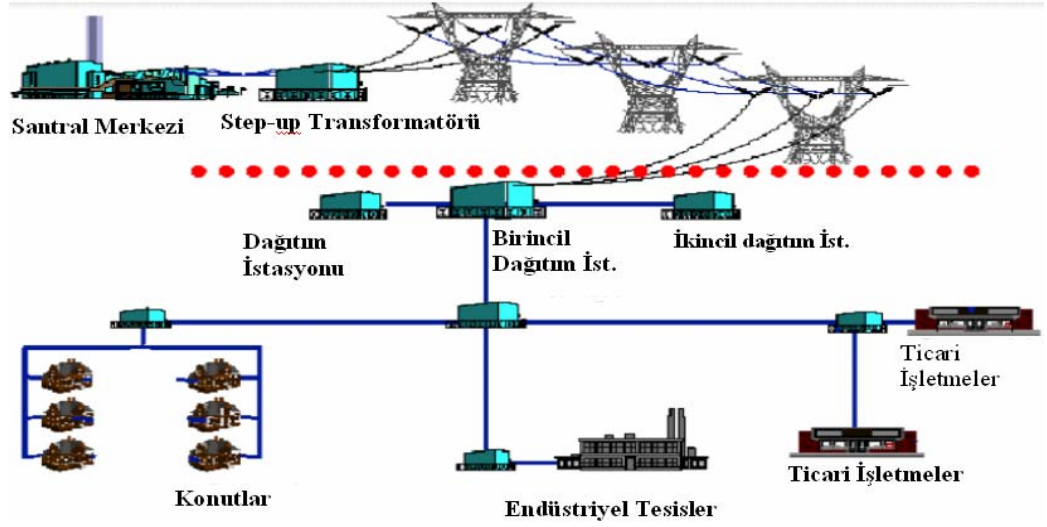
ergonomik olarak elektriğin üretilip kullanıma sunulması anlamına da gelmektedir. Çünkü konvansiyonel sistemler (hidroelektrik santraller; termik santraller vs.) genellikle tüketim bölgelerinden çok uzak yerlere kurulduğu için elektriğin iletilmesi için çok uzun mesafelere iletim hatları yapmanın zorluğu, maliyeti ve kayıpları dikkate alınması gereken önemli etkenlerdir. Bunların yanı sıra zor doğa koşulları ve iklim şartları hem iletim hatlarının inşasının hem de kurulum sonrasında bakım ve olası aksaklıkların tamiri bakımından da olumsuz etkisi de oldukça fazladır (Hernoe *et al.* 2004).



**Şekil 1.3.** Klasik Bir Kojenerasyon Sisteminin Üretim Şeması

([www.mimag-samko.com.tr](http://www.mimag-samko.com.tr))

Kojenerasyon sistemleri genellikle mümkün olduğunca ısının ve elektriğin kullanıldığı yere yakın kurulduğu için hem daha az kayıp verir hem de yukarıda bahsi geçen bakım ve tamir zorluklarının birçoğundan uzak olur. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerji miktarına çok yakın kapasitede tasarlanırlar. Konvansiyonel sistemlerde ise olası kayıplar göz önüne alınarak tüketiciye sunulan enerji miktarının biraz daha üstünde kapasitede üretim yapan tesisler tasarlamak gerekir. (Şekil 1.4) Bu daha büyük kapasiteli sistemlerin kurulacağı anlamına gelir. Dolayısıyla konvansiyonel sistemlere nazaran ilk kurulum maliyeti açısından da avantajlıdır ([www.cogen3.net](http://www.cogen3.net)).



**Şekil 1.4** Konvansiyonel Elektrik Üretim ve Dağıtım Sistemi (www.cogen3.net)

Kojenerasyon sistemlerinde en genel halde iki ana parametre öne çıkmaktadır. Bunlar sistem kurulacak olan tesisin ısı ve elektrik ihtiyaçlarıdır. İhtiyaç duyulan elektrik enerjisi miktarından fazlasının üretilmesi durumunda yasal düzenlemelerin ve dağıtım şirketi ile yapılabilecek anlaşmaların elverdiği oranda ihtiyaç fazlası miktar dağıtım şirketine satılabilir. Bunun aksi olması durumunda ise eksik kalan enerji miktarı ulusal dağıtım şirketinden temin edilmektedir. Eğer kojenerasyon tesisi ihtiyaç duyulan ısı ihtiyacının tamamının karşılanması üzerine tasarlanırsa birinci durum ortaya çıkacaktır. Eğer tasarlanan sistem gerekli ısı ihtiyacını karşılayamıyorsa bu durumda da ek boylerler ve ısı kazanları sisteme dâhil edilmek sureti ile fazladan yakıt yakılarak bu sorun giderilebilmektedir (Hernoe 2004).

#### 1.4. Kojenerasyonun Faydaları

En genel haliyle kojenerasyon sistemlerinin yararları şu şekilde sıralanabilir:

- Enerjinin taşınmasında ve kullanımında kayda değer şekilde verim artışı sağlar.

- Doğaya eşdeğeri olan sistemlere göre daha az zararlı emisyon yayarlar. Özellikle sera etkisinin ana sebebi olarak gösterilen karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) yayımında azalma görülür.
- Geniş bir yelpazede bakıldığında enerji maliyeti açısından önemli oranlarda tasarruf sağlar bunun yanı sıra endüstriyel açıdan karlılık getirir ve domestik kullanım amacıyla ısı elde edilmesini sağlar
- Elektrik üretim şekli ve yeri açısından alternatif çözümler üreterek sistem kurulacağı yerdeki gereksinimi sağlayacak kadar kapasitede kurulur, iletim ve dağıtım kayıpları elemine edilmiş olur, yüksek verimlere ulaşılabilir ve sistemin işletmesinde esneklik sağlar.
- Enerjinin lokâl bölgelere ulaştırılmasında ve elektrik kullanımının genelinde emniyeti artırır. Kojenerasyonla lokâl olarak faydalanılması tüketicilerin elektriksiz ya da ısı enerjisi bakımından yetersiz kalması riskini azaltır ve enerji kullanım konforunu artırır. Bunların yanı sıra yakıt bakımından dışa bağımlılığı azaltır.
- Enerji üretimi ve enerji kaynaklarının değerlendirilmesi açısından yenilikler getirir. Enerji pazarını değerlendirme açısından liberalizasyona farklı bir bakış açısı oluşturur.
- Enerji kaynaklarının farklı şekilde değerlendirilmesi imkânını sunar. Örneğin biokütleli yakıtların, atık materyallerin, tarımsal ve üretimsel atıkların, rafineri artıklarının bulunduğu yerlerde değerlendirilebilmesini sağlar. Bu şekilde enerji maliyeti verimliliğini artırır ve bu tür atıkların uygun şekilde arıtılmasına katkıda bulunur.
- Kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaştırılması açısından bakıldığında enerji üretim noktalarının sayısı artacaktır. Bu da yeni bir sektör anlamına geldiği için işsizliğin azaltılmasında etkili olacaktır (Anonymous 2001).

### **1.5. Kojenerasyon Sistemlerinin Enerji ve Maliyet Kazancı**

İyi tasarlanmış ve uygun şartlarda çalıştırılan bir kojenerasyon tesisi birim maliyet farkı ve iki tür enerji çıkışı sağlamasına bağlı olarak konvansiyonel sistemlere nazaran daima daha verimlidir. Isı ve elektrik enerjisi üretmek amacıyla tek tür yakıt kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak maliyet kazancı, kullanılan yakıtın birim enerji maliyeti ile dağıtım şirketinden alınan elektrik enerjisinin birim maliyetine bağlı olarak değişmektedir. Ancak, kojenerasyon kurulum kriterlerinin başında atık ısının değerlendirilebilmesi gelmekte olduğu için optimum dizayn yapılabilirse maliyet kazancındaki artış çok daha iyi olmaktadır. Çok basit olarak değerlendirmek gerekirse kojenerasyonun en uygun verimde değerlendirilmesi için yılda en az 4500 saat çalıştırılması gerekmektedir. (www.cogen.org)

Kojenerasyonun karlı olup olmadığını anlayabilmek için bunların yanında elektrik gereksiniminin zamanlaması ve tarifenin zamanlara göre değişiminin bilinmesi de çok önemli bir parametredir. Geri ödeme periyodu 2-5 sene arasında olacak şekilde tasarlanabilen kojenerasyon tesisleri genellikle yatırım için yeterli şartları sağlamış olmaktadır (Anonymous 2001).

### **1.6. Kojenerasyon Sistemlerinin Çevresel Kazançları**

Kojenerasyon sistemleri yatırım maliyetinin yanı sıra fosil yakıtların daha verimli kullanılmış olmasına bağlı olarak çevresel açıdan da çok önemli kazanımlar getirmektedir. Örneğin karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) salınışının azaltılmasında ciddi faydaları vardır.

#### **1.6.1. Kojenerasyon sistemlerinin $\text{CO}_2$ yayılımı açısından faydaları**

Kojenerasyon sistemlerinde karbon bileşikleri salınışının sistemin elektrik kapasitesine bağlı olarak değerlendirilmeye tabi tutulması hala ilgililer tarafından müzakere edilen

bir konudur. Bu konu halen kojenerasyonla ilgili olanların üzerinde anlaşmaya varamadığı bir meseledir.

Karbondiyoksit yayılım oranları MW başına 100kg'dan 1000 kg'a kadar değişebilmektedir. Bu durum aynı yolla elektrik üretimi yapan bütün sistemlerde baş göstermektedir.

Mevcut kojenerasyon sistemlerinin çok büyük çoğunluğunu yakıt olarak doğalgaz kullanan sistemler oluşturmaktadır. Dolayısıyla gelecekte kurulacak olan tesislerin de doğalgaz kullanacağı tahminini yaparak CO<sub>2</sub> salınımı açısından Çizelge 1.1 incelenebilir:

**Çizelge 1.1** Gaz Türbini ve Atık Isı Kazanından Oluşan Kojenerasyon Sisteminin CO<sub>2</sub> salma oranları (www.eurocogen.org)

Isı-Güç Oranı	1.6
Verim	% 80
Birim Yakıt Başına CO <sub>2</sub> Salınımı	225 g/kWh
Birim Elektrik Enerjisi başına CO <sub>2</sub> Salınımı	581g/kWh

### 1.7. Kojenerasyonun Kullanıldığı Yerler

Kojenerasyon sistemleri ilk zamanlarında endüstriyel olarak ekseriyetle kâğıt ve kimya endüstrisi olmak üzere büyük oranda eşzamanlı ısı ve güce ihtiyaç duyan işletmelerde kullanılmıştır. Son zamanlarda daha verimli ve gelişmiş sistemlerin ortaya çıkması ve teknolojisinin geliştirilmesi ile birlikte kojenerasyona olan ilgi oldukça artmış ve birçok alanda (üretim endüstrisi, ticari ve konutsal yapılar, bölgesel ısıtma uygulamaları) pratik olarak uygulanmaya başlanmıştır (Anonymous 2001).

### 1.7.1. Kojenerasyonun endüstriyel kullanım alanları

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| * İlaç ve kimya sanayi             | * Kâğıt, ağaç ve kereste endüstrisi |
| * Distilasyon ve eritme endüstrisi | * Seramik sanayi                    |
| * Tuğla ve çimento sanayi          | * Gıda endüstrisi                   |
| * Tekstil sanayi                   | * Madencilik işletmeleri            |
| * Petrol rafinerileri              | * Demir çelik endüstrisi            |
| * Motor sanayi                     | * Cam fabrikaları                   |

### 1.7.2. Yapılarda kojenerasyonun uygulanabilirliği

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| * Bölgesel ısıtma uygulanan yerlerde | * Hastaneler                            |
| * Oteller                            | * Eğitim yapıları (okul ve kampuslar)   |
| * Hava alanları ve hapishaneler      | * İş merkezleri ve alışveriş merkezleri |

### 1.7.3. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından kojenerasyonun uygulanabilirliği

- |   |   |
|---|---|
| * Tarımsal atıkların bulunduğu çiftlikler           | * Enerji bitkilerinin yoğun olduğu bölgeler |
| * Kümes hayvanları besleyen yerler ya da mandıralar |   |

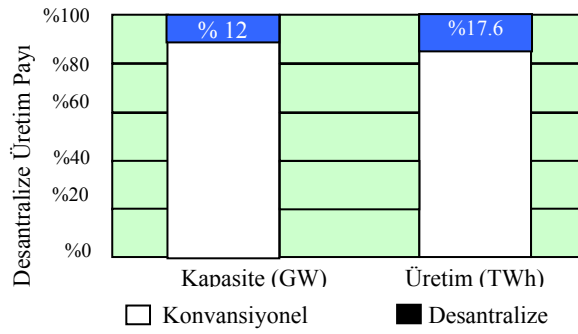
## 1. 8. Türkiye’de Kojenerasyon

Türkiye Avrupa, Asya ve Orta Doğunun ortasında enerji köprüsü olma konumunda olup enerjisinin %69’unu ithal ederek karşılamaktadır. Ayrıca ülkenin enerji ihtiyacının karşılanmasında hidroelektrik santrallerin çok ciddi bir payı vardır. Türkiye’de ilk kojenerasyon sistemi 1992 yılında kurulmuştur. 2005 yılına gelindiğinde doğal gazın yaygınlaşmasının sonucu, kojenerasyonla toplam elektrik üretimi 4.3 GWe ulaşmıştır. (Çizelge 1.2) Bu miktarla Türkiye kojenerasyon sistemlerinin çok hızlı geliştiği ülkeler

arasında yerini almıştır. Kojenerasyon sistemleri başta tekstil sanayi olmak üzere ağırlıklı olarak endüstriyel alanlarda kurulmuştur (%56) (www.kojenerasyon.com).

**Çizelge 1.2** Türkiye Konvansiyonel ve Desantralize Elektrik Üretim Oranları (2004)  
(www.localpower.org)

Toplam Elektrik Üretimi	149.0 TWh
Toplam Elektrik Kapasitesi	36.0 GWe
Desantralize Elektrik Üretimi	26.2 TWh
Toplam Desantralize Elektrik Kapas.	4.3 GWe



### 1.8.1. Türkiye’de kojenerasyonun kullanımını destekleyen faktörler

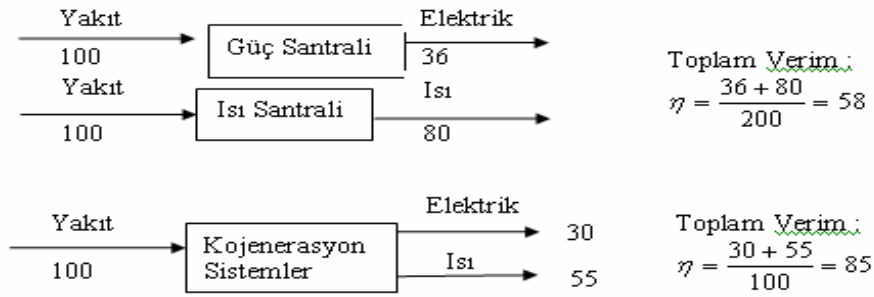
- Yetersiz elektrik iletim hizmetleri
- Sistemde var olan ve oldukça sık yaşanan elektrik kesintileri
- Geniş bölgelere yayılmış olan doğalgaz hatları
- Elverişli finanssal desteklere ulaşabilme kolaylığı
- Türkiye’nin Kyoto Protokolünü kabul eden ülkeler arasında yer alması

### 1.8.2. Türkiye’de kojenerasyon kullanımının olumsuz yönleri

- Kojenerasyonla ilgili yasanın uygun şartları sunamıyor olması
- Bürokratik zorlukların hem kuruluş hem de üretim esnasında zorlayıcı şekilde olması
- Kojenerasyonun tanıtımının yeterince yapılamamış olması ve bunun sonucu olarak faydalarının bilinmiyor olması

### 1.9. Kojenerasyon Teknolojileri

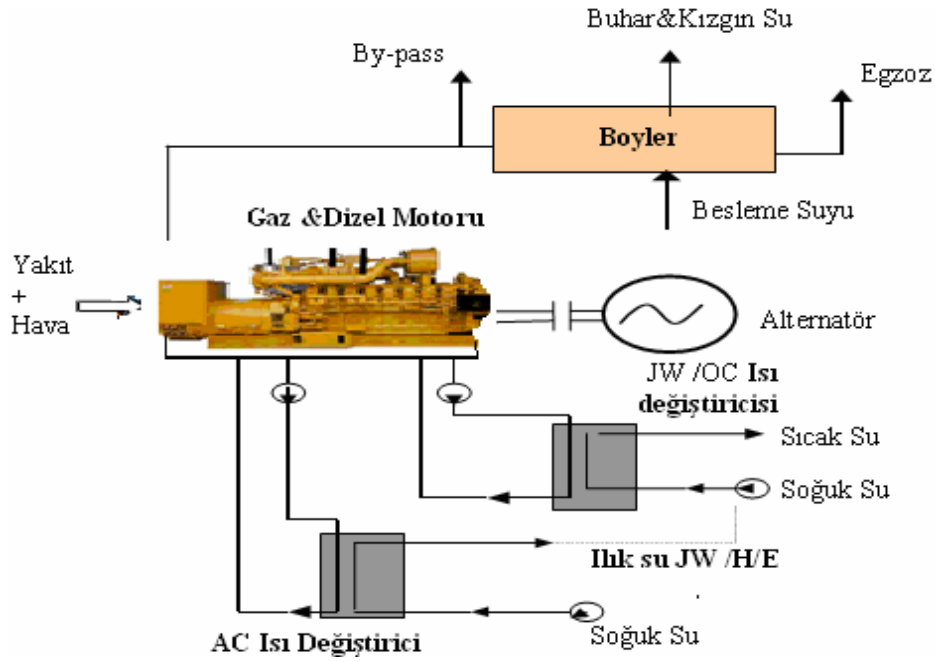
Kojenerasyon sistemleri yakıt enerjisinden mümkün olduğunca fazla faydalanabilmek amacıyla ısı enerjisi ile elektrik enerjisinin eş zamanlı olarak üretilmesini sağlayan sistemlerdir. Kojenerasyon uygulamalarının çoğunda sistemin öncelikle elektrik ihtiyacını karşılaması istenir, ikincil olarak ise elektrik üretimi esnasında ortaya çıkan atık ısı enerjisinden faydalanılarak ısı ihtiyacı giderilmeye çalışılır. (Şekil 1.5)



**Şekil 1.5** Konvansiyonel sistemlerle kojenerasyonun kıyaslanması

Kojenerasyon sistemleri ilk defa 1800'lü yıllarda özellikle eş zamanlı ısı ve güce ihtiyaç duyan endüstriyel işletmelerde ve çok az sayıda olmak üzere bazı ticari yapılarda yer almaya başlamıştır.

Bu sistemler ısı geri kazanım işlemi; motorlarda soğutma suyu ve egzoz gazlarının ısısından faydalanılarak, türbin sistemlerinde ise yanmış gazların ya da türbinden çıkan çürük buharın ihtiva ettiği ısı enerjisinden faydalanılmak sureti ile yapılmıştır. Şekil 1.6'da basit olarak motorlu bir kojenerasyon sistemi ve ısı kazanım metodu gösterilmiştir.



**Şekil 1.6** Örnek bir motorlu kojenerasyon sistemi (Anonim 2007, a)

1970’lerdeki enerji krizinin de etkisi ile son yirmi sene içinde kojenerasyon teknolojilerinin geliştirilmesine ve hemen her alanda kullanımının yaygınlaştırılmasına ağırlık verilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda daha farklı, yeni teknolojilerle donatılmış olan ve daha verimli kojenerasyon sistemleri ortaya çıkmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin gelişimine paralel olarak ülke yöneticileri de kojenerasyonun ülke ekonomisi ve çevresel açıdan ne denli önemli olduğunu fark etmişlerdir. Yasal olarak getirilen düzenlemeler ve ülke yöneticilerinin teşvik etmesinin de katkısı ile kojenerasyon sistemleri daha çok alanda tercih edilmeye başlamıştır.

Kojenerasyon sistemleri basit olarak kullanım amaçlarına ve kapasitelerine göre dört kısma ayrılabilir.

♦ Küçük çaplı kojenerasyon sistemleri; genellikle küçük alanların ısıtılması ve kullanım amaçlı sıcak su eldesi amacı ile ekseriyetle kıvılcım ateşlemeli motorlar tercih edilerek kurulur.

- ◆ Büyük çaplı kojenerasyon sistemleri; endüstriyel tesislerde, büyük çaplı ticari binalarda ve buhar ihtiyacı olan bazı işletmelerde kullanılır. Genellikle motorların, buhar türbini ve gaz türbinlerinin tercih edildiği sistemlerdir.
- ◆ Bölgesel ısıtma amaçlı kurulan büyük çaplı kojenerasyon sistemleri; bu sistemlerden genellikle çok fazla miktarda güç üreten santrallerin yerleşim yerlerine veya ısı ihtiyacının olduğu bölgelere kurulması yolu ile faydalanılabilir.
- ◆ Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha iyi ve verimli faydalanabilmek amacı ile kurulan kojenerasyon sistemleri; bu sistemler genellikle organik atıkların (biokütle v.s.) ve yanabilen sanayi atıklarının (kâğıt endüstrisi v.s.) değerlendirilmesi amacı ile kurulan sistemlerdir.

Kojenerasyon sistemleri genel olarak dört ana eleman ihtiva ederler. Bunlar:

- ◆ Birincil tahrik elemanı (Motor. Türbin v.s.)
- ◆ Elektrik jeneratörü
- ◆ Atık ısı değerlendirme sistemi (atık ısı kazanı, eşanjörler v.s.)
- ◆ Kontrol sistemi (çalıştırma sistemi, otomatik kontrol sistemleri)

Kojenerasyon üniteleri teknik olarak birincil tahrik elemanlarına göre sınıflandırılır. Çünkü ilk tahrik sistemi kojenerasyon sistemlerinin en önemli elemanıdır. Tercih edilecek tahrik sistemi uygulama yerine, istenen güç-ısı oranına ve kullanılacak yakıt türüne göre değişmektedir. Sistemin kurulum amacına erişmesi için, seçiminde en çok önem verilmesi gereken eleman ilk tahrik sistemleridir. Kojenerasyon sistemleri birincil çalıştırma sistemlerine göre şöyle sıralanabilir:

— Güncel olarak kullanılan kojenerasyon sistemleri:

- ◆ Buhar Türbinli Sistemler
- ◆ İçten yanmalı motorlu sistemler

- ◆ Gaz türbinleri
- ◆ Birleşik çevrimli sistemler (CCTG)

— Kullanımı yaygın olmayan ve halen geliştirilmekte olan sistemler:

- ◆ Mikro türbinler
- ◆ Stirling Motorları
- ◆ Yakıt pilleri

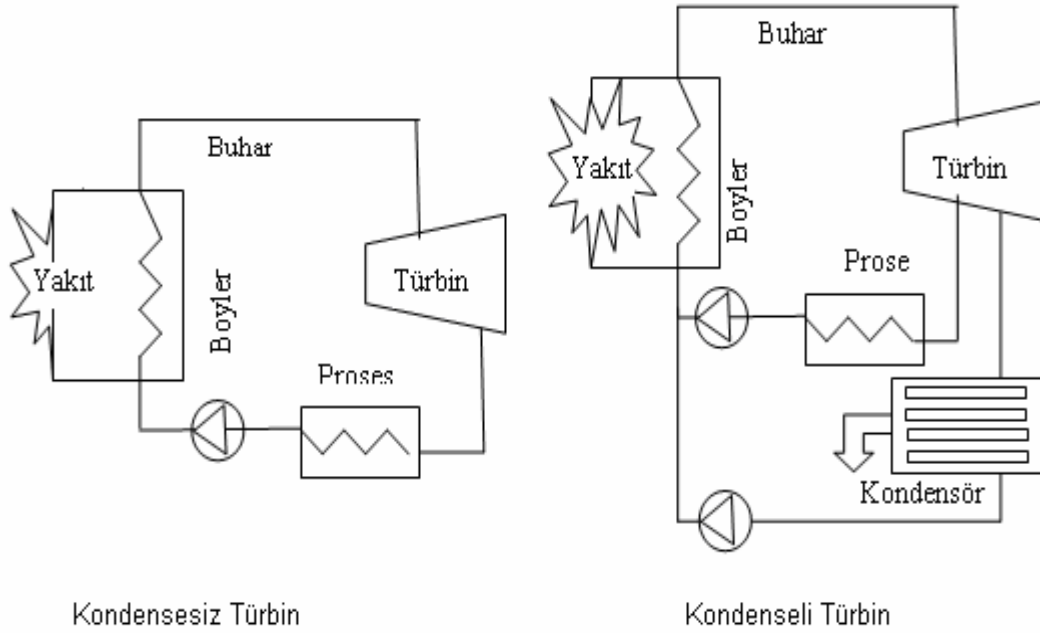
### 1.9.1. Buhar türbinleri

Günümüzde elektrik üretimi için en çok tercih edilen yöntemlerin başında rankine çevrimi prensibine göre tasarlanmış buhar türbin sistemleri gelmektedir. Dünyada katı yakıt kullanarak ve nükleer enerjiden faydalanarak elektrik üreten santrallerin neredeyse tamamında buhar türbinleri tercih edilmektedir. Ayrıca doğalgaz veya sıvı yakıt kullanan santrallerin çoğunda da aynı yöntem tercih edilmektedir. Bu sistemlerde suya fazla miktarda ısı enerjisi verilerek elde edilmiş olan yüksek basınçlı buhar çok yüksek hızda türbinlere gönderilir. Jeneratörle irtibatlı olan şaft tahrik edilmek sureti ile ve elektrik enerjisi üretilir.

Kojenerasyon sistemleri açısından buhar türbinleri genel olarak kondensli ve karşı basınçlı sistemler olmak üzere iki kısma ayrılır. (Şekil 1.7) Toplam verim kondensli sistemlerde %20 ila %30 arasında, karşı basınçlı türbinlerde ise %80 ila %90 arasında değişmektedir. Bu sistemlerde öncelikli olarak amaçlanan güç üretimini artırabilmektir. Günümüzde güç üretim amaçlı kurulan sistemlerde verimi %60'lara çıkarabilmenin yolları aranmaktadır. Ortalama olarak ulaşılabilen verim değeri %30- 40 arasındadır. Sisteme verilen toplam yakıt enerjisinin üçte ikisi atık ısı enerjisi olarak atmosfere verilmektedir.

Merkezi güç üretim santrallerinde kondensli sistemler tercih edilmektedir. Güç üretimi esnasında sistemde üretilen ısı enerjisinin değerlendirilebilme imkânı olmadığı için bu

yöntem diğerine nazaran ekonomiklikten uzaktır. Merkezi olmayan santrallerde ise tam tersi bir durum vardır. Kojenerasyon sistemlerinde santralin termal enerjiye ihtiyaç duyan yerlere inşa edilmesi ve konvansiyonel sistemlerdeki gibi iletim kayıplarının (%25) olmamasının sonucu olarak birim enerji maliyeti oldukça azdır.



**Şekil 1.7** Kondensli ve Kondenssiz Türbinler (Anonymous 2003)

Karşı basınçlı türbinler çoğunlukla desantralize ve 0.05 MW – 500 MW arasındaki kapasitelerde elektrik üreten kojenerasyon sistemlerinde tercih edilir. Toplam verim kojenerasyon teknolojisi sayesinde %80'leri geçebilmektedir. Üretim yerinin ve şartlarının uygun olması halinde atık ısının daha farklı amaçlarla değerlendirilebilmesinin mümkün olduğu durumlarda toplam verim %90'lara yaklaştırılabilmektedir. Kojenerasyon sistemleri haricinde kullanıldığında verimi düşük olmasına rağmen buhar türbinlerinin bu gibi amaçlarla tercih edilmesinin temel sebebi enerji kaynağı olarak çok çeşitli yakıtların (kömür, biyogaz, biyomas, dizel, doğal yakıtlar, endüstriyel atıklar) kullanılabilmesidir. Bu sistemlerde teknik açıdan yakıt direk olarak buharla, türbinle ya da üretim kısmı ile ilgili değildir. Yakıttan istenen buharın üretilmesi için gerekli olan enerjiyi daha kolay sağlayabilmesi amacıyla

kalorifik değerlerinin yeterli olmasıdır. Genel olarak yakıtlarda aranan maliyet, kolay bulunabilme ve çevreye olan etkiler gibi genel hususiyetler daha çok tesisin işletilmesiyle alakalıdır.

Bu sistemlerde ısı enerjisi yakıtın yakılarak elde edilen buharın basıncının ve sıcaklığının çok yüksek değerlere çıkarılması esnasında; güç ise elde edilen buharın türbinlerden geçirilmesi esnasında üretilir. Buhar türbinin çalışma şartlarını sağlayacak basınç ve sıcaklığa erişince çok yüksek hızda türbin kanatçıklarının arasından geçirilir. Buharın türbin kanatçıklarında meydana getirdiği etki ile türbin şaftında mekanik dönme hareketi meydana getirilerek jeneratör çalıştırılır. Buharın ihtiva ettiği toplam enerjinin düşürülebildiği orana bağlı olarak şaft döndürülür ve jeneratörde elektrik üretilir. Devam eden süreçte ise türbinden ayrılan çürük buharın ısısından işletme şartlarına bağlı olarak mümkün olduğunca fazla oranda faydalanılmaya çalışılır.

#### **1.9.1.1. Karşı basınçlı türbinler**

Kondenssiz türbinlerde yüksek basınçlı buhar türbinlerden geçirilmek kaydı ile genişletilir. Çıkan buhar termodinamik özelliklerine bağlı olarak ikincil düşük basınç türbinlerinden geçirilebilir ya da direk ısıtma amaçlı proseslerde kullanılabilir. Buhar türbinden geçerken çeşitli noktalarda farklı bir amaç için çıkarılabilir. Ancak bu durumda güç üretim verimi düşecektir.

#### **1.9.1.2. Kondensli türbinler**

Kondensli türbinlerde buharın enerjisinden maksimum düzeyde faydalanılarak genişletilir ve sonra kondensere gönderilir. Bu yüzden kondensli türbinlerde elektriksel verim kondenssiz türbinlere göre daha fazladır ancak çıkan buharın termal özellikleri ve kalitesi daha zayıf olduğundan ve ısı amaçlarıyla kullanımı olamayacağı için toplam verimi daha düşüktür.

### 1.9.1.3. Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde ısı uygulamalar

♦ Yüksek miktarda ısı enerjisi ihtiva eden ve ısı ihtiyacını karşılayabilecek kalitede buhar üretilir. Bu durum ısıнын değerlendirilemeyeceği durumlarda; yani kondensli sistemlerde türbinlere gönderilen buhar kütlesi değiştirilerek elektrik üretimi kontrolünün yapılması amacıyla yönelik olarak kullanılır. Karşı basınçlı sistemlerde ise termal ihtiyaçları karşılamak için kullanılır.

♦ Kondensli ve karşı basınçlı buhar türbinleri bölgesel ısıtma amaçlı kurulan kojenerasyon sistemleri için en uygun sistemlerdir. Buhar türbinlerinde hem kondensli hem karşı basınçlı uygulamalarda çok fazla ısı üretilir. Kondensli sistemlerde oluşan ısıyı kullanacak imkân bulunmadığı için buharı yoğuşturmak için kondensler kullanılır ve atık ısı değerlendirilemez.

♦ Su yerine izo-bütan veya propan gibi organik sıvıların kullanılması durumunda daha düşük sıcaklıklarda daha fazla elektrik üretimi yapılabilir. Ancak bu durum ısı verimi olumsuz yönde etkilemektedir.

### 1.9.1.4. Karşı basınçlı buhar türbinlerin avantajları

♦ Kojenerasyon verimi %80 gibi yüksek değerlere çıkabilir.

♦ Biyokütle ya da endüstriyel atıklar dâhil olmak üzere kullanılabilen yakıt türü bakımından çok geniş bir yelpazesi vardır. Katı sıvı ve gaz gibi konvansiyonel yakıt kullanan türlerinin yanı sıra nükleer santrallerde de kojenerasyon amaçlı kullanımı kolaydır. Bu vesile ile kojenerasyon sistemlerinin kullanım alanı oldukça fazladır.

♦ Bilinen ve teknolojik olarak yerleşmiş bir enerji üretim yöntemidir. Bu sebeple kurulması ve işletilmesi diğer sistemlere göre gerek yasal açıdan gerekse teknik açıdan daha kolaydır.

◆ Yüksek sıcaklıkta ve basınçta buhar elde edildiği için hem ısıtma amaçlı kullanımlarda avantajlıdır hem de endüstriyel işletmeler için elverişlidir. Ayrıca ağır sanayi tesislerinde gerekli kızgın buhar ihtiyacını karşılamak için uygundur.

#### **1.9.1.5. Karşı basınçlı buhar türbinlerin dezavantajları**

◆ Elektrik üretimi bakımından değerlendirme yapıldığında; verim benzer sistemlere nazaran oldukça düşüktür (%20)

◆ Yüksek basınçlı ve kızgın buhar üretimi olduğu için yüksek basınç boylerlere ihtiyaç duyulur. Boylerin yanı sıra diğer ısı ekipmanlarda üretilen buharın özelliklerine göre seçilmelidir. Uygun seçim yapılmazsa sistemin ilk yatırım ve bakım maliyetleri artar ekonomik açıdan olumsuz yönde etkilenir.

◆ Buhar türbinlerinin devreye alma ve ilk çalıştırmadan sonra normal çalışma rejimine gelmesi uzun zaman almaktadır.

◆ Güç ihtiyacının düşük olduğu zamanlarda sistemin tam yükte çalıştırılması verimini ve üretilen gücün birim maliyetini oldukça olumsuz etkilemektedir. Değişken yüklerde çalışmaya elverişli olmayan sistemlerdir.

#### **1.9.1.6. Karşı basınçlı buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinin ekonomik performansı**

Geri beslemeli buhar türbin sistemleri eskiden beri uygulanan yerleşmiş ve yeterince olgunlaştırılmış bir teknolojiye sahip olan enerji üretim yöntemidir. Özellikle elektrik enerjisine ve fazla miktarda kızgın buhara eş zamanlı olarak ihtiyaç duyulan yerlerde ekonomik performansı oldukça iyidir. Ayrıca enerjinin geri kazanımı bakımından avantajlı sistemlerdir. Çünkü yardımcı ekipmanların (ara ısıtıcı) ve sistem üzerine

yapılabilen ara işlemlerin (ara buhar alma, giriş sunun ısıtma) yardımıyla hem verimlilik hem de enerji geri çevrim oranı artırılabilir.

Buhar türbinlerinin yatırım ve işletme masrafları; kullanılacak olan buharın termodinamik özelliklerine, istenen güç oranlarına, konstrüksiyon şartlarına ve istenen devir sayısına göre değişiklik arz etmektedir. Çizelge 1.3’de görüldüğü gibi ortalama büyüklükteki buhar türbinlerinin toplam yatırım maliyeti birim enerji (kW) başına 400 dolar ile 1.500 dolar arasında değişmektedir.

**Çizelge 1.3.** Buhar Türbinli Sistemlerin Maliyetleri (Anonymous 2003)

Toplam Yatırım Maliyeti (\$c/kWh)	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$c/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$c/kWh)	
		8000 saat/yıl	4000 saat/yıl
400 – 1,500	< 2,0	2.5 – 6.5	4.0 – 12.0

Türbin sistemlerinde kullanılan ara ekipmanların toplam maliyet içinde ki payları şu şekilde sıralanabilir:

- ◆ %25 Boyler
- ◆ %25 yakıt depolama hazırlama ve yakma sistemleri
- ◆ %20 Baca gazlarının arıtılması ve bu amaçla kullanılan kirlilik kontrolü ekipmanları
- ◆ %15 Buhar türbini jeneratörü
- ◆ %15 Sisteme uygun yapının ve çalışma odalarının inşası

Buhar türbinleri gelişmiş ve uzun geçmişi olan sistemler olduğu için maliyetini düşürmek ya da daha iyi verim kazançlarının elde edilmesi bu aşamadan sonra zor görülmektedir. Kullanılan yakıt türünün iyileştirilmesi, daha ucuz yakıt türü seçilmesi, yakıt depolama sistemlerinin ve hazırlama aparatlarının geliştirilmesi güncelliğini sürdürmektedir. Geri beslemeli buhar türbinleri genellikle en az 40 kW enerji ihtiyacı

olan ve enerji tüketimi kısa zaman aralıklarında değişmeyen ticari işletmelerde tercih edilmektedir. Günümüze kadar kurulmuş ve işletilmiş olan rankine çevrimlerinin geneline bakıldığında 1MW altındaki kapasitede sistemlerin uygun verimlerde çalışmadığı ve karlı bir yatırım özelliği taşımadığı görülmüştür.

Buhar türbinlerinin toplam işletme ömrü 50 yılı aşmaktadır. İşletme bakım giderleri (O&M – operation and maintenance) genellikle \$ 0.1c/KWh'dan daha düşüktür. Sistemde su ve buhar fazı aynı çevrimde yer aldığı için işletme koşullarında önemlidir. Bu iki fazdan biri diğerinin çalışma sahasına girmesi halinde çok büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunun yanında kullanılan suyun saflığı ve zararlı kimyasallardan arındırılmış olması da çok önemli bir parametredir. Boyler operatörlerinin yeterli bilgi ve tecrübe sahibi olmasına bağlı olarak, çalışma koşullarının çok iyi ayarlanmasına ve titizlikle işletilmesine bağlı olarak bakım maliyetleri çok daha aşağılara ineabilmektedir. Buhar türbin sistemlerinde ihtiyaç duyulan düzenli bakım ve kontroller pompa ve dönel elemanların yağlanması ve yağın özelliğinin kontrol edilmesi, filtrelerin bakımı ve değiştirilmesi gibi basit müdahalelerden ibarettir.

### **1.9.2. Gaz türbinleri**

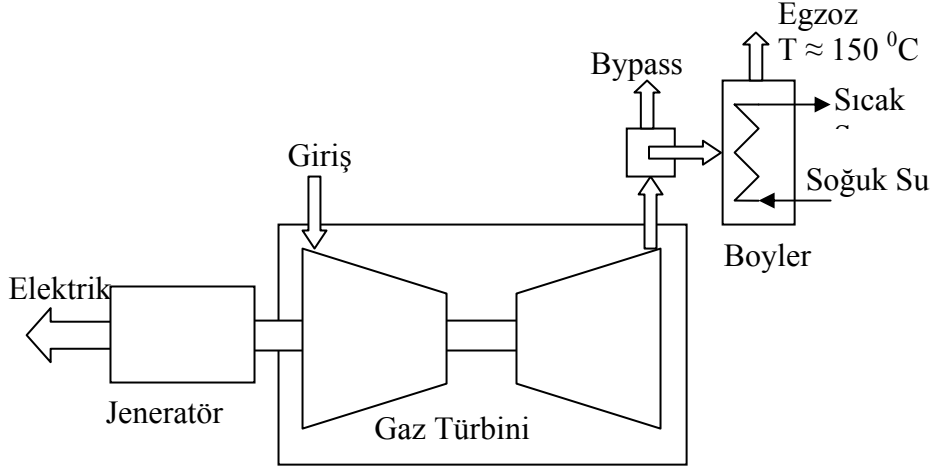
Birkaç yüz kilovattan yüzlerce megavat kapasitelere kadar güç üretimine elverişli olan gaz türbinleri genellikle doğalgazın kalorifik olarak katı ve sıvı yakıtlara göre üç dört kat daha ucuz olması halinde kurulabilecek çok büyük kapasitelerdeki kojenerasyon tesislerinde popüler olan sistemlerdir. Günümüzde kullanılan modern gaz türbinlerinin elektriksel verimi, şaft milinde ortaya çıkan gücün bir kısmının çevrimi oluşturan diğer elemanlarına verilmesi halinde %28 ila %45 arasında değişmektedir. Gaz türbinlerinin egzoz gazları yaklaşık olarak 540 °C'de çıkmaktadır ve genellikle ikinci bir alçak basınç jeneratöründe değerlendirilmek üzere veya buhar üretilmesi amacı ile kullanılabilir. Bu da elektrik verimini %45 ila %60'lara kadar çıkarabilmektedir. Egzoz gazlarından kullanım amaçlı ısı üretilerek faydalanılmak istenmesi halinde ise elektrik üretim miktarı düşmekte, buna karşılık sistemin ekonomikliği artmaktadır.

Gaz türbini teknolojisi de son 40 yılda (özellikle askeri ve ticari amaçlı hava taşıtlarının enerji ihtiyacının karşılanması) kayda değer ve çok önemli ilerlemeler ve yenilikler yaşanmıştır. Özellikle yüksek yanma sıcaklık ve basınçlarından dolayı kullanılabilir malzemeler açısından sorunların aşılması ve dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte gaz türbini kullanım alanları ve türbin özellikleri gelişmiştir. 1978 de teknolojik yapıda imal edilmiş olan basit bir gaz türbini çevriminin verimi maksimum %22 iken günümüzde bu oran %45'lere çıkarılmıştır.

Yeni teknolojilerin sistemlere adapte edilmesi sonucu çevresel açıdan da çarpıcı gelişmeler yaşanmıştır. 1978'lerde tipik bir gaz türbininin egzoz gazları 200 – 500 ppm azot ihtiva ederken günümüzde bu oran 2 -25'lere kadar gerilemiştir.

Gaz türbin sistemlerinde hava; yanma odasına girmeden önce kompresörlerle yeterli basınca kadar sıkıştırılır ve burada sıcaklığı da artmış halde yanma odasına gönderilerek yakılır. Yanma odasından oldukça yüksek sıcaklık ve basınçta çıkan yanmış gazlar türbine girer ve burada genişleyerek türbin milinde dönme hareketi meydana getirmek sureti ile jeneratör şaftını döndürürler. Burada üretilen gücün bir kısmı sistemin çalışması ve daha fazla verim elde edilmesi için can alıcı pozisyonda olan kompresörleri çalıştırmak için kullanılır.

Egzoz gazlarının içinde yüksek miktarda oksijen olması hasebiyle ekstra havaya gerek duyulmadan ısı verimi artırmak için egzoz gazlarının içine ekstra yakıt gönderilerek ikinci bir yanma olayı gerçekleştirilebilir. Bu olaya ilave yakma denir ve yanmış gazların sıcaklığı çok az yakıt harcanarak 500°C'den 1000 °C'ye kadar çıkabilir. Yanmış gazlar direk olarak türbinden geçtikleri için kanatçıkların zarar görmesini engellemek amacıyla burada bir miktar temiz hava kullanılır. (Şekil 1.8)



**Şekil 1.8** Gaz Türbin Sistemi (Anonymous 2003)

Gaz türbinlerinde temel yakıt olarak doğalgaz kullanılır. Ancak diğer yakıtlar da kullanılabilir. Distilasyondan geçirilmiş yağlar ve gaz yağı daha ucuz yakıtlarla uygun kombinasyonlarla birlikte kullanılabilir. Ayrıca yeterli kalorifik değerin elde edilebilmesi şartı ile biyogaz ve çöp gazı gibi organik atıklardan elde edilen yakıt türlerinden faydalanmak sureti ile oluşturulan yakıt birleşimleri de kullanılabilir. Elektrik verimini artırmak ve  $\text{NO}_x$  üretim oranını düşürmek için yanma çemberinin içine buhar enjekte edilebilmesi de mümkündür. Hali hazırda gaz türbinlerine  $\text{NO}_x$  oranını düşürebilmek için çok yeni gelişmeler yaşanmış ve başarılı olunmuştur. Ancak günümüzde hava kirliliğinin çok ciddi boyutlara ulaşması gene de bu tedbirlere ek olarak yanma sonrasında da önlemler alınmasını gerekli kılmıştır.

#### 1.9.2.1. Gaz türbinlerinde ısı uygulamalar

- ◆ Basit çevrimli gaz türbinleri genellikle maksimum enerji ihtiyacına göre kurulurlar ya da ısı amaçları göz ardı edilerek yedek güç ünitesi olarak kullanılırlar.
- ◆ Reküperatörlü gaz türbini çevrimlerinde egzoz gazları sıkıştırılmış giriş havasının yanma odasına girmeden ön ısıtılması amacıyla kullanılır.

♦ Kojenerasyon çevrimli gaz türbin sistemleri hem elektrik enerjisi hem de ısı enerjisi üreterek yaklaşık olarak %80 verimde çalışırlar.

- Yüksek kalitedeki ısı enerjisi buhar üretiminde veya endüstriyel ve ticari yapıların absorpsiyonlu Çillerler kullanılarak soğutulması amacı ile kullanılabilir

- Egzoz gazlarının açık ortamlarda kullanılmasının mümkün olduğu kurutma süreçlerinde de doğrudan kullanılabilir.

♦ 3 MW üstündeki kapasitelerde kurulu olan sistemlerde sıcak egzoz gazlarının buhar türbinlerinde kullanılarak elektrik üretmek ve elektriksel verimi %35 - %55 oranında artırabilmek amacıyla buhar üretimi için kullanılabilir. Bu tür sistemler birleşik çevrimli gaz türbinleri olarak adlandırılır. (combined cycle gas turbines – CCGP) Bu sistemler ısıtma amacı gütmeyen ve sadece elektrik üretim ve dağıtım amaçlı kurulan sistem için bir numaralı seçimdir. Uygun yer olması durumunda bu sistemlerde de buhar türbininden atılan buhar ısınma amaçlı kullanılarak verim %93'lere kadar çıkarılabilir.

#### **1.9.2.2. Gaz türbin sistemlerinin avantajları**

♦ Kurulması, buhar türbinlerinden ve yüksek basınçlı buhar boylerlerinden daha kolaydır. Daha küçük alanlara daha az maliyetlerle kurulabilirler.

♦ Toplam maliyete bağlı olarak sistem kapasitesi büyüdükçe daha verimli sistemler olmaktadır.

♦ Yüksek sıcaklıkta buhar üretim imkanı vardır

### 1.9.2.3. Gaz türbin sistemlerinin dezavantajları

- ◆ Gaz türbin sistemlerine güvencesi olan ve istikrarlı özellikleri olan yakıtlar kullanılmalıdır. Bu yüzden ve de bu sistemlerin başka yakıtların kullanımına elverişli olmayışından dolayı; yakıtın eldesi, sürekliliği ve özelliklerinin kararlı olması önemlidir.
- ◆ Gaz türbinlerinde çok yüksek sıcaklıklarda çalışılmaktadır. Bu sebeple malzemelerin dayanımına bağlı olarak hem sistem iyileştirmesi zorlaşmaktadır hem de ilk yatırım maliyetleri düşürülememektedir.
- ◆ Kısmi yüklerde çalıştırılması durumunda verim düşmektedir.
- ◆ Yüksek rakımlarda ve çevre sıcaklığının arttığı dönemlerde türbin performansı önemli oranda düşmektedir.
- ◆ Küçük ölçekli sistemlerde diğer üretim yöntemlerine göre maliyetler yüksek verim ise düşüktür.

### 1.9.2.4. Gaz türbin sistemlerinin ekonomik performansı

Gaz türbinlerinin elektrik üretim pazarında önemli bir yeri vardır. Kurulu gaz türbinli santrallerin toplam yatırım maliyeti \$800 - \$ 1800 /kWh arasında değişmektedir. Farkın böyle büyük olmasının temel sebebi, gaz türbin boyutlarının ve kapasitelerinin birkaç kilovattan yüzlerce megavata kadar geniş bir yelpaze de olmasıdır. İşletme ve bakım maliyetleri de \$0.3 – \$1.0 \$c/kWh arasında değişmektedir.

Gaz türbin sistemlerinde her dört bin saatlik çalışma periyodunda bir kanatçıkların temizliği ve genel bakım yapılmalıdır. Sıcak işlemlerin gerçekleştiği kısımların sürekli olarak kontrol altında tutulması ve her beş senede bir kere değiştirilmesi gerekmektedir.

Bu yüzden işletme ve bakım maliyetleri düzenli bakımların etkisi ile büyük aralıklarda değişim göstermektedir.(Çizelge 1.4)

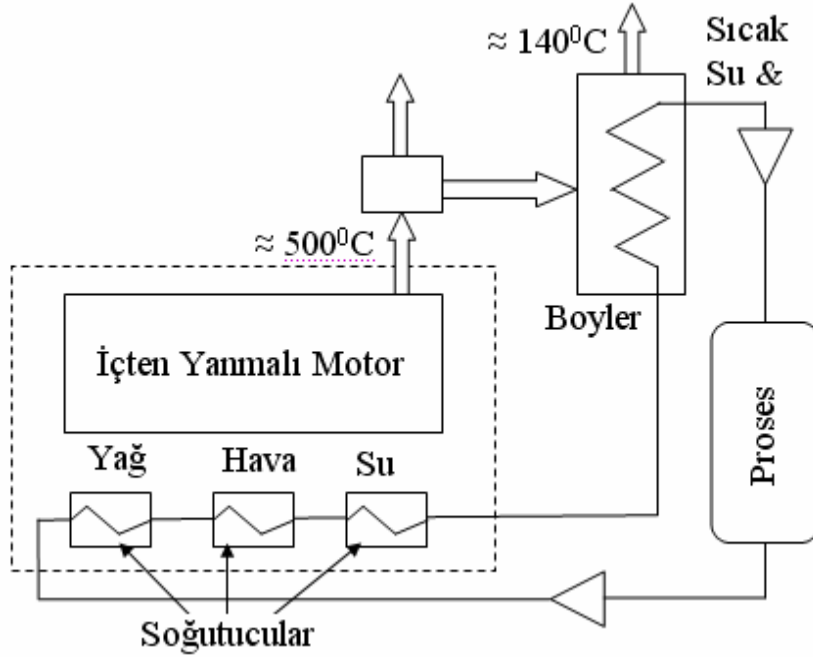
**Çizelge 1.4** Gaz Türbinli Sistemlerin Maliyetleri (Anonymous 2003)

Toplam Yatırım Maliyeti (\$/kWh)		Toplam Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$/kWh)	
			8000 saat/yıl	4000 saat/yıl
Açık Çevrimli	800 – 1,800	0.3 – 1.0	4.0 – 5.5	5.5 – 8.5
CCTG/Kojenerasyon	800 – 1,200	0.3 – 1.0	4.0 – 4.5	5.5 – 6.5

### 1.9.3. Pistonlu motorlar

Pistonlu motorlar temelde benzinli ve dizel motorlarla aynı prensibi kullanmaktadır. Silindir hacimleri ve ebatları son derece büyüktür ve kapasitelerine göre değerlendirildiği zaman kilovat başına en düşük maliyetli sistemlerdir. Elektriksel verimleri %45 gibi oldukça iyi değerlerdedir. Pistonlu motorlar; pik yükte elektrik üretimine ihtiyaç duyan işletmelerde veya orta büyüklükteki kojenerasyon sistemlerinde kullanılmak için uygundur. Pistonlu sistemler genellikle 5MW altındaki kapasitelerde tercih edilmektedir.

Pistonlu motorların kojenerasyon sistemlerinde kullanımı açısından en temel dezavantajı ısı enerjisinin düşük olması ve birden çok yerde ortaya çıkmasıdır. Yakıttan alınan enerjinin yaklaşık üçte biri sıcaklıkları 370 ila 540 °C arasında değişen egzoz gazlarına verilir. Isıl olarak faydalanılabilecek soğutma suyu ya da yağlama yağı gibi diğer ısı kaynaklarının ise sıcaklıkları çok düşüktür. Ceket soğutma suyunun sıcaklığı 80 – 99 °C arasında değişmekte iken; yağlama yağının sıcaklığı yaklaşık 70 °C inter cooler suyu sıcaklığı 35 – 60 °C olmaktadır. Bu sıcaklıklar kojenerasyon sistemlerinde toplam verime ciddi katkılar sağlayabilecek ölçüde değildirler. (Şekil 1.9)



**Şekil.1.9** Motorlu kojenerasyon sistemi (Anonymous 2003)

Kojenerasyon sistemlerinde tercih edilen pistonlu motorlar araba motorlarındaki gibi kıvılcım ateşlemeli (otto çevrimi) ve basınçlı ateşlemeli (dizel çevrimi) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

#### 1.9.3.1. Sıkıştırma ateşlemeli motorlar

Sıkıştırılmalı motorlar arabalarda kullanılan bildiğimiz dizel motorları ile aynı prensip üzerine kurulmuştur. Günümüz dizel çevrimli motorlarında genellikle turboşarj ve intercooler sistemleri bulunmaktadır. Dizel çevrimli kojenerasyon motorlarının kapasiteleri 75 KW ile 60 MW arasında, elektriksel verimi ise %35 ile 65 arasında değişmektedir.

Distile edilmiş ve ağır yağlarda dizel motorlarda kullanılabilir. Bu motorlarda sıkıştırma strokunda piston alınan havayı sıkıştırır ve basıncını artırır. Basıncın artmasıyla birlikte havanın sıcaklığı artacağı için sıkıştırma işlemi havanın sıcaklığı yakıtın tutuşma sıcaklığına erişinceye kadar devam eder. Daha sonra çok yüksek

basınçlı yakıt enjektörleri yakıtı atomize olmuş halde sıkıştırılmış havanın içine püskürtürler ve ani oluşan patlama neticesinde güç stroku gerçekleştirilmiş olur. Doğalgaz veya buharlaştırılmış benzinin tutuşma sıcaklıkları yüksek olduğu için bu yöntemle yakılmaları oldukça zordur. Bu nedenle doğalgaz ve benzin motorlarında ateşleme bujileri kullanılarak yanma olayı sağlanır ve güç elde edilir.

Doğal emişli pistonlu motorlarda alınan hava doğrudan silindirlere gönderilmektedir. Bundan dolayı alınan havanın miktarına bağlı olarak silindirlere daha az yakıt gönderilir. Bu da yanmayı diğer sistemlere göre olumsuz etkiler ve sonuç olarak üretilen güç oranı da azalır. Süper şarz sisteminde ise hava dışardan güç harcanarak alındığı için aynı hacme daha fazla hava alınmış olur ve alınan havanın miktarına bağlı olarak daha fazla yakıt gönderilerek daha etkin güç üretimi yapılmış olur. Modern motorlarda ise süper şarzın yerini turbo şarz ve ya kompresör sistemleri almıştır. Bu sistemlerde egzoz gazlarının ihtiva ettiği ısı enerjisi ve basınç kuvvetinden yararlanılmaktadır. Egzoz gazları salınmadan önce oldukça yüksek hızla olan genişleme türbininden geçirilir ve burada meydana gelen dönme hareketi giriş havasının basıncını iki veya üç katına çıkarmak ve daha iyi dolum yapmak amacıyla kullanılan kompresöre iletilerek işlem gerçekleştirilir. Kullanılan genişleme türbinleri genellikle 12,000 devir/saniye de çalışabilen geliştirilmiş türbinlerdir. Daha sonra silindir içine sıkıştırılmış olarak alınan ve sıcaklığı artmış olan hava soğutulmaktadır. Sıkıştırılmış havanın ısı enerjisinin azaltılmasının amacı pistonlara emme strokunda silindir içine daha fazla oksijen alınmasını sağlamaktır. Bunun sonucu olarak da gönderilecek yakıt oranı alınan oksijen miktarına bağlı olarak artırılır ve birim zaman ve strokda daha fazla güç elde edilir.

Turbo şarz ve aftercooler teknolojileri pistonlu motorlar için çok büyük bir gelişmedir. Öyle ki bu sistemlerin kullanılması ile birlikte doğal emişli motorlara nazaran güç üretim miktarı neredeyse iki katına çıkarılmıştır. Tabi ek olarak gövde ve silindir ve ceket yapısının değişiminin maliyetler üzerindeki etkisini de dikkate almak gereklidir. Bu gelişmeler motorlu kojenerasyon sistemlerinin toplam maliyetlerini de aşağı çekmiştir.

Modern motorlarda ateşleme zamanının geciktirilmesine ve sıkıştırma oranının artırılmasına bağlı olarak güç üretimi ve verimden taviz vermeden  $\text{NO}_x$  salınımı da oldukça azaltılmıştır.

### 1.9.3.2. Kıvılcım ateşlemeli motorlar

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda sıkıştırma işlemi ateşleme işlemine hazırlık ve daha iyi yanma elde etmek amacıyla kullanılırken, ateşleme için buji sistemi kullanılır. Kıvılcım ateşlemeli motorların kapasite aralığı sıkıştırma ateşlemeli motorlarınkine göre daha azdır. Kıvılcım ateşlemeli motorların kapasite aralığı 15 kW ile 10 MW arasında değişmektedir.

Kıvılcım ateşlemeli motorların elektriksel verimi %25 ile 43 arasında değişmektedir. Silindir içinde oluşan çok hızlı ve ani art yanmaların sebep olduğu vuruntuya bağlı olarak sıkıştırma ateşlemeli motorlardaki elektriksel verime ulaşamamaktadır. Kıvılcım ateşlemeli motorların dışarı verdiği ısı oranı da düşüktür.

Kojenerasyon amaçlı kullanılan kıvılcım ateşlemeli motorlarda benzin kullanmak ekonomiklikten son derece uzaktır. Bu sistemlerde kullanılan en yaygın yakıt türü doğalgazdır. Bunun yanında biyogaz, çöp gazı ya da hava gazı gibi diğer yakıtlarda kullanılabilir.

Pistonlu motorlar gaz türbinlerine göre çok daha az hava tüketmektedir. Gaz türbinlerinde türbin kanatçıklarının daha etkin döndürülebilmesi için alınan hava ve yakıtın kütsel olarak fazla olması çok önemlidir. Bu yüzden alınan hava yakıtın yanması için gerekli olan hava miktarından dört beş kat daha fazla olmaktadır. Pistonlu motorlarda ise yakıtın yanması için ihtiyaç duyulan havanın 1,5 veya iki katı kullanılır. Pistonlu motorlar daha az hava kullandığı için yanma sıcaklığının artmasına bağlı olarak  $\text{NO}_x$  oluşumu da ciddi boyutlarda artmaktadır.  $\text{NO}_x$  oluşumu yanma sıcaklığının 1300 °C ve üzerine çıktığı durumlarda oluşur. Verimi düşürmesine rağmen gereğinden fazla hava alınması  $\text{NO}_x$  oranlarının kontrolü açısından önemlidir.

### 1.9.3.3. Motorlu kojenerasyon sistemlerinde ısı uygulamalar

Pistonlu motorlu kojenerasyon sistemlerinde motorların maksimum soğutma sıcaklıkları düşük olduğu için ısı verim düşüktür. Ancak bazen yeni teknolojiler ve ek yakma sistemlerinin yardımıyla bu zorluklar kısmen aşılarak ısı verim artırılabilir.

♦ Boyutlarına bağlı olarak ortalama bir pistonlu motor kullanılan kojenerasyon sisteminde egzoz gazlarından faydalanılarak 15 bara kadar buhar, soğutma sistemlerinden yararlanılarak da 85 – 90 °C de sıcak su üretilebilir.

♦ Eğer soğutma sistemi ve egzoz gaz sistemi beraber değerlendirilmek istenirse 100 °C'nin üzerinde kızgın su ve daha yüksek sıcaklıkta buhar elde edilebilir.

♦ Egzoz gazları rejenere edilerek karbondioksit üretiminde veya kurutma proseslerinde direk kullanılabilir. Sistemde oluşan atık ısının tamamı sıcak hava üretmek amacıyla da kullanılabilir.

♦ Motorlu kojenerasyon sistemleri genellikle kurumsal ortamlarda, binalarda kullanılmaktadır. Sanayi ve endüstriyel olarak kullanımı yaygınlaşmamıştır.

### 1.9.3.4. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin avantajları

♦ Bütün olarak kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyeti düşüktür.

♦ Değişken yüklerde çalıştırılması gereğinde verim diğer sistemler kadar olumsuz etkilenmez. Geniş uygulanabilme yelpazesi vardır.

♦ Devreye alma ilk çalıştırma zamanı 10 – 15 saniye gibi çok kısa bir süredir. Bu yüzden yedek güç sistemi olarak neredeyse her yerde motorlu sistemler tercih edilmektedir.

- ◆ Güvenilirliği diğer sistemlere nazaran çok fazladır.

#### **1.9.3.5. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin dezavantajları**

- ◆ Titreşim çok fazla olduğu için destek yapılar ve donanımlar gerektirmektedir. Titreşimin yanı sıra gürültü oranı da çok fazla olduğu için akustik sistemlere ve ses yalıtımı da gerekmektedir.
- ◆ Çok sayıda hareketli parçaların ve donanımlarının olması bu sistemlere yağlama, soğutma, bakım ve işletme maliyetleri bakımından ciddi bir dezavantaj getirmektedir. İşletme ve bakım maliyetlerinin gaz türbinlerinde \$ 4,5 MWh iken bu sistemlerde \$ 10 MWh olması bu dezavantajın önemini göstermek için yeterlidir.
- ◆ Atık ısının sürekli olarak değerlendirilmesi zordur. Yaz aylarında toplam verim atık ısının kullanılamamasına bağlı olarak düşmektedir.
- ◆ Bakım zamanlarının çok sık olması dezavantajdır. Motorlu sistemlerde en az 600 saatte en fazla 1000 saatte bir bakım yapılmalıdır.

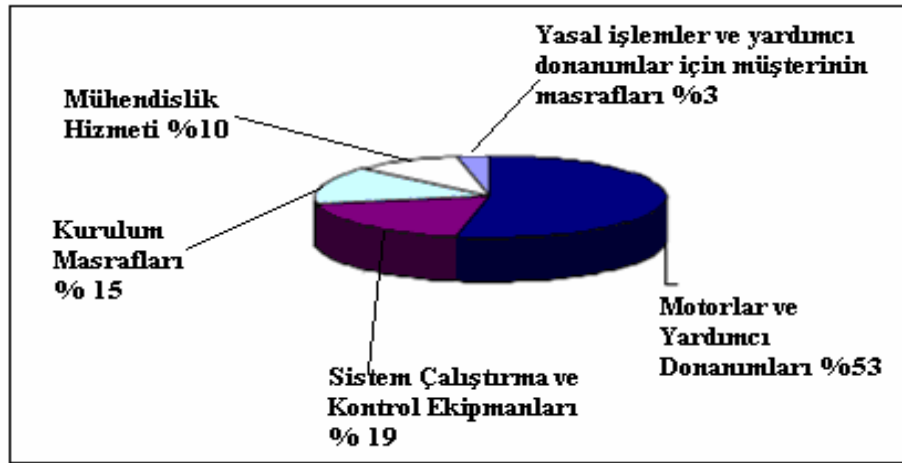
#### **1.9.3.6. Motorlu kojenerasyon sistemlerinin ekonomik performansı**

Motorlu kojenerasyon sistemlerinin tarihine bakıldığında genel olarak ilk yatırım maliyetlerinin düşük olduğu, işletme bakım servislerinin yaygın ve kısmi yüklemelerdeki veriminin de diğer sistemlere nazaran iyi olduğu görülmektedir. En ekonomik kojenerasyon sistemlerinin başında 1kW dan 5 MW a kadar olan küçük ve orta ölçekte kurulmuş motorlu sistemler gelmektedir.

Çizelge 1.5’de görüldüğü gibi motorlu kojenerasyon sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri \$ 900 – \$ 1,500 arasında değişmektedir ve maliyetlerin genel dağılımı şekil 1.11’de görülmektedir.

Çizelge 1.5 Motorlu Sistemlerin Maliyetleri (Anonymous 2003)

Toplam Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$/kWh)	
		8000 saat/yıl	4000 saat/yıl
900 – 1,500	0.5 – 2,0	4,5 – 5,5	6,0 – 8,0



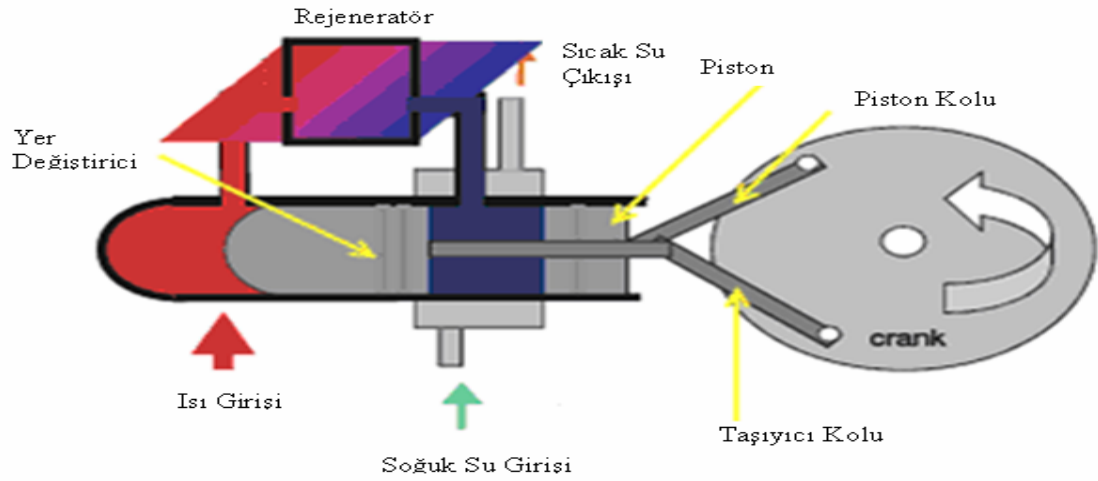
Şekil.1.10 Motorlu kojenerasyon sistemlerini maliyet dağılımı (Anonymous 2003)

#### 1.9.4. Stirling motorları

Stirling motorları dıştan yanmalı motorlar olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynağı olarak gaz yakıtlardan solar enerjiye kadar çok büyük bir yelpazeye sahiptir. Motorda elde edilen ısı iş yapan akışkan genleştirilerek pistona hareket verir. Daha sonra genleşmiş olan akışkan motorun soğuk bölgesine gönderilir ve burada çalışan piston tarafından tekrar sıkıştırılır. Akışkan buradan tekrar motorun sıcak kısmına gönderilerek çevrim elde edilir. Rejeneratörün genel esprisi sıcak bölge ile soğuk bölge arasında devri daim yaparak iş yapan akışkana verilen ısıyı tutularak ikinci çevrimde tekrar ısı vermek için daha az yakıt harcamak istenmesidir. Stirling motorlarında hareketli parçalar daha az olduğu için oluşan ses seviyesi ve gürültü emisyonu diğer sistemlere göre çok daha azdır. Stirling motorları kapalı devre çalıştığı için ve sistem üretilen ısıyı

muhafaza ettiği için teorik hesaplara göre yüksek verimlere sahiptirler. Ancak kullanılan materyallerin getirdiği sınırlamaların; gerçekleştirilen ısı transferinin verime etkisi ve motor dizayn parametrelerinin etkisi sonucunda toplam verim sınırlı kalmaktadır.

Stirling motorlarının yaygınlaşmasının önündeki ana engel kullanım alanlarının oluşmamasına ve yaygınlaşmamasına bağlı olarak seri üretime geçilmemiş olmasıdır. Bu yüzden maliyetleri halen oldukça fazladır.



**Şekil.1.11** Stirling motoru (Anonymous 2003)

Pistonlu motorların taşımacılıkta oldukça ileri gitmiş olması ve çok fazla sayılda seri olarak üretilip devamlı ilerleyen teknolojiye sahip olması bu engeli daha da etkili hale getirmektedir. Stirling motorlarının temel avantajı ise yakıt olarak hemen her tür yakıtı kullanabilmesidir. Yakıttan ziyade çürük buhar, egzoz gazları gibi atık ısı kaynaklarından da faydalanabilmektedir. Günümüzdeki mevcut stirling motor üreticileri ısı kaynağı olarak solar enerjiden ve buhar türbinlerinin atık ısılarından faydalanabilecek sistemler üzerine yoğunlaşmışlardır.

#### 1.9.4.1. Stirling motorlarında ısı uygulamalar

♦ Stirling motorları 1kW – 25 kW arasında güç üretebilecek sistemlerdir. Bu değerleri ilerleyen zamanlarda 100 kWa kadar çıkacağı tahmin edilmektedir. Stirling motorları daha çok ikamet yerlerinde ve portatif uygulamalarda kullanılmak için uygundur. Küçük ebattaki türleri oldukça sessiz ve çevreye son derece duyarlıdır.

♦ Stirling motorlarının solar tabakalar kullanılarak fosil yakıtlara hiç ihtiyaç duyulmadan çalışan sistemler haline getirilmesi ve bu tür yakıtların kullanımının oldukça azaltılması muhtemeldir.

#### 1.9.4.2. Stirling motorlarının genel avantajları

♦ Güç ısı oranının düşük olması stirling motorlarını özellikle evsel kullanım için cazip hale getirmektedir.

♦ Hareketli parçaların sayısının az olması hem titreşimi azaltmakta hem de motorda kullanılan komponentlerin de az sayıda ve basit yapıda olmasını sağlamaktadır.

♦ Yanma olayının sürekli olması sonucu darbeli çalışan motorlara göre daha sessiz çalışma şartları getirmektedir.

♦ Dıştan yanmalı olduğu için yakıt seçenekleri bakımından çok yönlü sistemlerdir. Bu durum aynı zamanda anlık olarak ısı kaynağının değiştirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin gündüzleri güneş enerjisinden faydalanarak çalışan bir stirling motoru geceleri de farklı bir kaynaktan beslenerek çalışabilir. Ayrıca işletmelerde ve tarım bölgelerinde sezona göre ortaya çıkan atık maddeler değerlendirilebilir.

♦ Elektrik üretimi amaçlı kullanımlarda ısı transferinden faydalanılarak üretim oranları çok kolay değiştirilebilmektedir.

#### 1.9.4.3. Stirling motorlarının genel dezavantajları

- ◆ Maliyeti çok fazla ama güvenilirliği azdır.
- ◆ Güç verimi çok düşüktür

#### 1.9.4.4. Stirling motorlarının ekonomik performansı

Stirling motorlarının ekonomikliği şu an için seri üretim yapılmasına ve kullanımının yaygınlaşmasına bağlıdır. Kapital maliyeti 2000 – 5000 \$/KWh arasında değişmektedir. (Çizelge 1.6)

**Çizelge 1.6** Stirling Motorlu Sistemlerin Maliyetleri (Anonymous 2003)

Toplam Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$/kWh)		
		8000 saat/yıl	4000 saat/yıl	4000 saat/yıl
1300 – 2500	0.5 - 1,6	5,0 - 7,0	7,0 - 11,0	14,5 - 34,0

Stirling motorları günümüzde güç üreten sistemlerle rekabet edecek seviyede değildir. İşletme ve bakım maliyetleri de hala tam olarak belirlenebilmiş değildir. Ancak az sayıdaki mevcut stirling motor sistemlerine bakıldığında bu miktarın çok olmayacağı; \$ 0.2c - \$3.5c/ kWh arasında olacağı tahmin edilmektedir. Stirling motorlarının maliyetinin düşürülmesi için yapılan çalışmalar özellikle tasarım ve konstrüksiyon açısından geliştirmelerin hızla devam edeceğini göstermektedir.

#### 1.9.5. Mikro türbinler

Mikro türbinler 25 – 500 kW arasında güç üretebilen küçük ve düşük hızlı jeneratörlerdir. Mikro türbinler uçaklarda ve küçük jet motorlarında kullanılan yardımcı güç ünitelerinden ve araç motorlarında kullanılan turbo şarj sistemlerinden esinlenerek

tasarlanmış sistemlerdir. Türbinle bağlantılı basit bir mil, kompresör ve jeneratörden oluşmaktadır. Şekil 1.12’de örnek bir mikro türbin uygulama örneği görülmektedir.



**Şekil 1.12** Mikro Türbinler (Anonymous 2003)

Mikro türbinler genellikle doğalgaz kullanılarak çalıştırılır. Ancak biyogaz ve dizel de kullanılabilir. Bazı türbinlerde yağlama işlemini azaltmak için havalı rulmanlar kullanılır. Bu da kullanılması gereken soğutma ekipmanlarının sayısını ve ebadının düşürülmesine katkıda bulunur.

Günümüzde mikro türbin üreticileri standartlaştırılmış mikro türbin sistemlerinin seri üretimini yaparak diğer desantralize güç üretim sistemlerine göre daha ekonomik ve güvenilir sistemler kurmak üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu da kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi anlamına gelmektedir.

#### **1.9.5.1. Mikro türbinlerde ısıl uygulamalar**

- ◆ Mikro türbinlerde ortaya çıkan ısı enerjisi düşük basınçlı buhar üretiminde veya konutlar için sıcak su eldesinde kullanılabilir.
- ◆ Mikro türbinler restoran, otel ve iş merkezleri gibi küçük çaplı ticari yapıların elektrik ve ısı ihtiyacının karşılanması için çok uygun sistemlerdir.

### 1.9.5.2. Mikro türbinlerin avantajları

- Mikro türbin sistemleri ticari ve konutsal yapılarda yedek güç ünitesi olarak ya da maksimum güce gerek duyulduğunda yardımcı güç ünitesi olarak kullanılabilirler.
- Yerel elektrik dağıtım ağına gerek duymadan çalışabilen sistemlerdir. Bu sayede ilk çalıştırma da diğer sistemler gibi elektrik gerekmez.
- Kojenerasyon sistemlerinde kullanıldığında verim %85 gibi çok yüksek değerdedir.

### 1.9.5.3. Mikro türbinlerin dezavantajları

- Elektriksel verimi %20 – 30 arasında oldukça düşüktür.
- Verimlilik dış ortam şartlarına çok duyarlıdır. Bu yüzden değişkendir.

### 1.9.5.4. Mikro türbinlerin ekonomik performansı

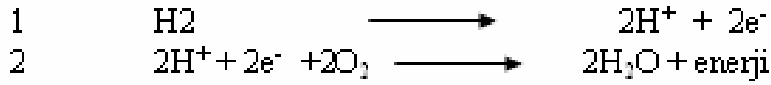
Mikro türbinler yeni ortaya çıkmış bir teknoloji olduğu için seri üretime geçmemiş ve kurulum sonrası hizmetlerin ne türlü olacağı tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Bu sebeplerden dolayı maliyetler açısından kesin değerler söylenememektedir.

**Çizelge 1.7** Mevcut bilgiler ışığında mikro türbinli sistemlerin maliyetleri  
(Anonymous 2003)

Toplam Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$/kWh)	
		8000 saat/yıl	4000 saat/yıl
1300 – 2500	0.5 – 1,6	5,0 – 7,0	7,0 – 11,0

### 1.9.6. Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri hidrojenin oksijenle tepkimeye girmesi sonucu ortaya çıkan kimyasal enerjiden faydalanarak elektrik ve ısı enerjisi üreten atık olarak ise klasik enerji üretim yöntemlerindeki gibi zararlı gazlar değil su çıkaran sistemlerdir. Bir yakıt pili en genel halde anot tabaka ile katot tabaka arasına yerleştirilmiş özel bir membrandan oluşur. Yakıt piline giren hidrojen anot tabakasında katalizör sayesinde bir elektronu koparılarak  $H^+$  iyonuna dönüştürülür. Bu aşamadan sonra  $H^+$  iyonu membrandan geçirilerek sisteme alınan havanın içindeki oksijenle tepkimeye gireceği katot tarafına verilir. Koparılan negatif yüklü olan elektron ise ayrılarak elektrik üretimi için devreye verilir ve bu yolla katot kısmına gönderilir. Katot tarafında buluşan  $H^+$   $e^-$  ve oksijen birleşerek su ve ısı ortaya çıkarırlar. Tek başına bir yakıt pilinin ürettiği elektriğin voltajı düşüktür fakat gerekli gücü elde etmek için çoklu olarak kullanılırlar.



Yakıt pillerinde çok farklı ve çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Çok hızlı ilk çalıştırma süresine sahip olması, düşük ısılarda çalışması sonucu ısınma sorunu olmaması avantaj olarak değerlendirilirken veriminin düşük olması dezavantaj olarak görülmektedir. Yaklaşık olarak 40 yıldır ilk yatırım maliyetinin çok fazla olmasına rağmen ticari amaçlı kullanılan fosforik asitli yakıt pilleri en yaygın kullanıma sahip olan yakıt pilleridir. Uygulamada olan mevcut yakıt pili tekniklerinin tamamında yakıt olarak hidrojen kullanılmaktadır.

Günümüzde üzerinde çalışılan ikinci yakıt pili tekniği ise eriyik halindeki karbonatın ve katı oksidin yaklaşık 540 derecede tepkimeye sokulması tekniğidir. Bu yöntemde en büyük problem sistemin çalışma rejimine erişmesi için yaklaşık sekiz saatlik süre gerektirmesidir. Bu yapıyla özellikle sabit güç üretim sistemlerinde tahrik kaynağı amacıyla kullanılması yönünden umut verici görülmektedir.

Bu gibi sistemlerin avantajları şöyledir:

- ◆ Yakıtın dönüştürülmesi işlemi kapalı ve farklı yöntemle yapıldığı için bilinen ticari gaz ve sıvı yakıtların kullanımı mümkündür.
- ◆ Günümüzde gelişen teknolojiler sayesinde kabuğunu kırmış bir sistemdir ve yukarıda bahsi geçen engellerin birçoğunu aşmıştır. Teorik de hesaplanan %50 – 60 verimlere oldukça yaklaşmıştır.
- ◆ Ortamda oluşan sıcaklı 260 – 370 °C civarındadır ve basit termal kullanımlar için uygun değerlerdedir.

#### **1.9.6.1. Yakıt pillerinin avantajları**

- ◆ Yakıt pillerinde basit sistemlerin güç üretimi bakımından verimi azdır. Ancak günümüzde çok gelişmiş olan teknolojisi ve uygulamada olan çok farklı yöntemler sayesinde elektriksel verimi yeterince artırılmıştır.
- ◆ Yakıt pillerinde üretilen ısı miktarı genellikle termal uygulamalar için kullanıma uygun niteliktedir.
- ◆ Emisyon değerleri çok düşüktür ve en sessiz güç üretim yöntemidir.

#### **1.9.6.2. Yakıt pillerinin dezavantajları**

- ◆ PAFC (Phosphoric Acid Fuelled Cell) haricindeki sistemler tam olarak kullanıma hazır değildir.
- ◆ Gelişimi halen devam etmektedir. Çoğu alanda oturmamış bir teknolojisi vardır

### 1.9.6.3. Yakıt pillerinde ekonomik performans

Bu sistemlerin toplam yatırım maliyetleri yaklaşık olarak \$ 3,500 - \$ 5000 /KWh arasında değişmektedir. İşletme bakım masrafları ise \$0,5c - \$ 5c /KW arasında değişmektedir. (Çizelge 1.8)

**Çizelge 1.8** Yakıt Pili Sistemlerin Maliyetleri

Toplam Yatırım Maliyeti (\$c/kWh)	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$c/kWh)	Çalıştırma Saatine Göre (\$c/kWh)	
		8000 saat/yıl	4000 saat/yıl
3,500 – 5,000	0.5 – 5,0	9,0 – 11,5	14,5 – 19,5

Günümüzde sabit yakıt pili tesislerini ağırlıklı olarak FuelCell Energy adlı kuruluş inşa etmektedir. Kurdukları sistemlerin kapasitesi 250 kW'dan 3,000 kW'a kadar değişmektedir. Şirket yaptığı sistemlerde kW başına 2500 dolardan hesaplayarak yapmıştır. Gelişen teknoloji ve yaygınlaşmaya bağlı olarak yakıt pillerinin maliyeti gün geçtikçe daha da düşmektedir. . (Anonymous 2003)

### 1.10. Tez Çalışmasının Amacı

Bu çalışmada Erzurum'da bulunan Aziziye Araştırma Hastanesi için uygun kojenerasyon sistemi seçimi yapılarak seçilen sistemin yıl boyunca çalışma şartları incelenecektir. Çalışma da biri yılın en yüksek elektrik tüketimine göre diğeri de en düşük tüketimine göre iki farklı kojenerasyon sistemi seçilecektir. Seçilen sistemlerin yıl içindeki çalışma koşullarına ve ortaya çıkan uygunluk şartlarına bakılarak kojenerasyon sistemlerinin Hastaneler için ne derece uygun olduğu araştırılarak varsa hastanelere daha uygun sistemlerin hangilerinin olacağı tartışılacaktır. İkinci olarak ise ortaya çıkan sonuçlardan faydalanarak kojenerasyon sistemlerinin soğuk iklimlerde ve yüksek rakımlarda nasıl çalıştığı incelenecektir. Çalışmanın sonucunda ise ulaşılan verilere dayanarak kojenerasyon sistemlerinden nasıl daha iyi faydalanılabileceği tartışılacaktır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Kojenerasyon Çalışmalarına Genel Bakış

Literatürde yapılan araştırmalarda kojenerasyon sistemleri üzerine pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Klaus Lucas (2000) tarafından yapılan çalışmada kojenerasyon sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada kojenerasyon ve konvansiyonel sistem için birincil enerji ihtiyaçları karşılaştırılmış, kojenerasyon sisteminin yüksek düzeyde birincil enerji kullanımı sağladığı belirtilmiştir. Kojenerasyon ve ayrı üretim sistemleri için (elektrik ve ısı üretimleri için) ekserji kaybı analizi yapılmış kojenerasyon sisteminin üstünlüğü vurgulanmıştır.

Derbentli (1996) yaptığı çalışmada, kojenerasyon sisteminin seçiminde kullanılacak parametreleri incelemiş, termodinamik ve ekonomik analizi bir örnekle açıklamıştır. Bileşik ısı güç üretiminin ekonomik olup olmayacağının yıllık kazançlarla yıllık giderlerin karşılaştırılması sonucu tespit edileceği belirtilmiştir. Kojenerasyon sisteminin ekonomik olabilmesi için elektrik ve ısı gelirlerinin yakıt ve kredi ile sağlanacağı düşünülen sabit yatırım giderlerinden fazla olmasının gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca faiz ve yakıt fiyatlarının düşük, elektrik ve ısı fiyatlarının yüksek olmasının uygulamayı olumlu yönde etkileyeceği açıklanmıştır.

Riad ve Michel (1998) çalışmalarında, üretim tesislerinde enerjinin korunması, rasyonel kullanımı ve enerji yönetiminin gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Enerji kaynaklarının tasarruflu kullanımıyla çevre kirliliğinin önleneceğini savunmuşlar, konvansiyonel ve kojenerasyon sistemlerde ilk enerji, elektrik enerjisi ve termal enerjilerin birim maliyetlerini hesaplayıp termo-ekonomik analizlerini karşılaştırmışlardır. Sonuçta kojenerasyon sistemlerinin verimliliğini göstermişlerdir. Çalışmalarında üç tesis (hastane kalorifer kazanı, kurutma işlemi, kağıt üretimi) için global ekonomik analiz yaparak strateji çeşitlerinin maliyete etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ekipmanların ekonomik ömrünün ilk yatırımın geri kazanılmasında önemli olduğunu ve

irreversibilitenin ilk yatırıma etkisini belirlemek için ekserji çalışmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Smith ve Twidel (1995) tarafından yapılan çalışmada, küçük ölçekli bileşik ısı güç üretim tesisleri için ekonomik analizde geri ödeme süresi ve net karın önemi üzerinde durulmuştur. Geri ödeme süresi ilk yatırım masraflarının yıllık net kara bölünmesi ile bulunmuştur. Yıllık kar, enerji üretimi ile sağlanan kazançtan yatırım ve yakıt masraflarının çıkartılması sonucunda elde edilmiştir.

Bidini, Grimaldi ve Mariani (1999) tarafından yapılan çalışmada Perugia Üniversitesinin Mühendislik Fakültesindeki 1 MW Cater-Pillar-3516 doğalgaz yakan motorda bileşik ısı güç üretiminde gerçek performans analizi yapılmıştır. Analizde; doğalgaz akış oranı, elektriksel verim gibi değerlerin sistemin yönetici operatörü tarafından 24 ay süresince toplanan günlük verilerin analizi yapılmak sureti ile kazanç sistemi oluşturulmuştur. Yıl boyunca toplanan verilerden kojenerasyon sistemin ekonomikliği, teknik açıdan toplam verimi, çevreyi kirleten emisyon oranlarının azlığı gösterilmiştir.

Gilijams ve Boonstra (1995) tarafından yapılan çalışmada, konut ısıtılmasında ve sıcak su üretiminde yakıt tüketiminin azaltılması için kojenerasyon sisteminin kurulması ve konutlardaki ısı kaybını azaltacak önlemlerin alınması gerektiğini savunmuşlardır. Makalede bu iki işlemle yakıt tasarrufu ve maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Bunun içinde günlük ve mevsimlik değişiklikler kaydedilmiştir. Kojenerasyon uygulaması önce 200 konut için sonra 20.000 konut için yapılmış ve yakıt tasarrufunun önemli miktarda arttığı görülmüştür. Örneğin 200 konut için  $540 \text{ m}^3$ 'den doğalgaz kullanımı  $330 \text{ m}^3$ 'e düşmüş, 20.000 konut için de (konut başına)  $930 \text{ m}^3$ 'den  $580 \text{ m}^3$ 'e düşmüştür. Demek ki daha düşük ısı ihtiyacına gerek vardır. Bunun için de yeni izolasyon teknikleri (vakumlu sistemler gibi) kullanılmalıdır. Diğer taraftan kojenerasyonla biyokütle (Güneş enerjisi, jeotermal enerji) ve hidrojen gibi fosil olmayan, yenilenebilir enerji kaynakları da yakıt olarak kullanılabilir.

Aikins (1995) çalışmasında, gaz türbinli kojenerasyon sistemlerini incelemiştir. 6,24 MW termik ve 3,5 MW elektriksel güçteki bir tesis için elektrik fiyatlandırması yapmıştır. Kojenerasyon sisteminin maliyeti, ilk yatırım maliyeti, işletme ömrü ve faize bağlı bir amortisman faktörü ile çarpılıp bu değere yakıt ve diğer giderlerin hesaplanmıştır. Aynı ısıl gücün konvansiyonel bir kazan ile sağlanması halinde de aynı maliyet analizi yapılmıştır. Bu iki maliyet analizinin birbirinden çıkartılmasıyla bulunan farkın kojenerasyon sisteminin elektrik üretim değerine bölünmesiyle de elektrik fiyatlandırması yapmıştır.

Bojic (1996) yaptığı çalışmada, tersinmez Carnot makinesinde bileşik ısı-güç üretimini belirleyen fiziksel ve ekonomik parametreleri inceleyip, sonlu termodinamik yöntemlerle üretimin yıllık değerinin analizini yapmıştır. Carnot makinesinde, bileşik ısı-güç üretim sisteminde fiziksel modellemede kullanılan sıcak ve soğuk yüzeyler için ısı transferi katsayılarını belirleyen parametreler tespit edilmiştir. Aynı şekilde ekonomik analizinde ise; elektrik ve ısı üretimi, ilk yatırım maliyeti, yakıt gideri ve maliyetinin hesabı incelenmiştir. Sistemde kazanç; elektrik ve ısı üretiminin ekonomik değerinden yakıt ve ilk yatırım maliyetlerinin çıkarılmasıyla bulunmuştur. Çalışma sonucunda tersinmez Carnot makinesinin kojenerasyon sisteminde ısı ve elektrik üretiminin yıllık maksimum değerini elde etmek için Carnot makinesinin sıcak ve soğuk tarafındaki ısı transferin ve ısı transfer katsayılarının eşit olması gerektiği belirtilmiştir. Böylece yıllık maksimum değer için Carnot makinesinin yüksek ve düşük sıcaklıklar oranının en uygun değerde olması gerektiği gösterilmiştir.

Yılmaz (2003) yaptığı çalışmada, kojenerasyon sistemlerine uyarlanmış bir Carnot çevrimi üzerinde dış kaynaklı tersinmezliklerde dikkate alınarak kojenerasyon sistemleri için alternatif performans kriterleri incelemiştir. Değişik çalışma şartlarının performans kriterleri üzerindeki etkisi hesaplanmış ve tartışılmıştır. İnceleme sonucunda kojenerasyon sistemleri için en uygun elektrik ısı oranının teorik olarak  $(E/I) = 1$  olduğu kanaatine varılmıştır. Eğer üretilen ısı üretilen güce eşit olursa teorik hesaplamalara göre ısı verimin maksimum olacağını savunulmuştur. Diğer taraftan elektrik-ısı oranının enerji kullanım faktörü ve ekserjetik verim üzerinde olumsuz etkilerinin

olacağı belirtilmiştir. Ortalama sıcaklığın yükselmesinin bütün performans kriterlerini azaltacağı ve maksimum sıcaklı ile minimum sıcaklık arasındaki oranın ( $T_H/T_L$ ) artırmanın da bütün performans kriterlerini artıracığı belirtilmiştir. Sonuç olarak kojenerasyon sistemlerinde enerji kullanım faktörünün her şartta optimum teorik termal verimden ve ekserjetik verimden daha büyük olduğu gösterilmiştir.

Renedo *et al.* (2005) çalışmalarında, bir hastanenin ısıtma iklimlendirme ve sıcak su üretim sistemlerini geliştirmek için neler yapılabileceği hakkında inceleme yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada doğalgaz ve dizel motorları ile çalışan dört farklı kojenerasyon sistemi üzerinde durmuşlardır. Hastaneler gibi çok fazla enerji tüketiminin olduğu yerlerde kojenerasyon sistemlerinin oldukça ekonomik olacağını ve sağlık sektöründe sürekli enerji sağlanabilmesinin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarının en sonunda, kojenerasyon sistemlerinin maliyeti ve teknik yapısından dolayı kullanım ve yaygınlaşmasında teknolojik ve bilimsel yönlerinden çok siyasal ve politik yönlerinin ağır geldiği kanaatine varmışlardır.

Lazaro *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada, kojenerasyon sistemlerinin Avrupa Birliğindeki konumuna yüzeysel olarak bakmışlar ve çok fazla termal enerji tüketimi olan bir sanayi tesisini temel alarak bu işletmeye uygun iki farklı enerji elde etme seçeneği belirleyerek bu sistemleri elektriksel verim ve emisyon karakteristikleri bakımından incelemişlerdir. Üzerinde düşünülen sistemlerden birincisi bir atık ısı kazanı ile buhar üretimi yapan gaz türbinli bir kojenerasyon sistemidir. İkincisi ise elektrik ihtiyacını şebekeden karşılayan ve buhar ihtiyacını ise doğalgaz tüketerek bir boylerden üreten konvansiyonel sistemdir. İkili yaptıkları çalışmanın sonucunda karbondioksit salımının azaltılması ve elektrik birim maliyetleri bakımından düşünüldüğünde kojenerasyonun mantıklı bir yaklaşım olacağını belirlemişlerdir. Ancak eğer ülkede daha ucuz ve fosil yakıtlara bağımlı olmadan farklı metotlarla elektrik üretimi yapılıyorsa ve elektrik dağıtımı bakımından yerleşmiş ve sağlam iletim yapısının bulunması durumunda kojenerasyon sistemlerinin hem maliyet açısından hem de çevreye salınan zararlı emisyonlar bakımından uygun bir seçenek olmayacağı kanaatine varmışlardır. Bu şartlarda konvansiyonel boyler sistemlerinin hem daha az

fosil yakıt tüketeceği için kojenerasyon sistemlerine nazaran daha ekonomik ve çevreci olmaktadır.

Ziher ve Poredos (2005) yaptıkları çalışmada, Slovenya'nın en büyük hastanesi için kurulabilecek gaz türbinli bir trijenerasyon sistemini ekonomik yönden incelemişlerdir. Yapılan çalışmada ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin karşılanamaması durumunda kullanılmak üzere yardımcı bir boyler sistemi de düşünülmüştür. Yapılan ekonomik analizlerin sonucunda trijenerasyon sisteminin karlı olacağı ve geri ödeme süresinin de 5.8 olacağı sonucuna varılmıştır. Bu tip sistemlerde soğutma biriminin de olması halinde ilk yatırıma ek maliyet getireceği, ancak geri ödeme süresini kısaltma yönünde olumlu katkısının olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmanın ikinci kısmında ise klasik bir soğutma sistemi ile absorpsiyonlu çiller kullanılarak kurulmuş bir trijenerasyon sistemine uygulanacak soğutma sistemi ekonomiklik yönünden kıyaslanmış ve trijenerasyonlu uygulamanın çok daha avantajlı olduğu gösterilmiştir.

Kıncay ve Yumurtacı (2006), Yıldız Teknik Üniversitesi Davut Paşa kampusunu baz almak sureti ile bir üniversite kampusu için en uygun kojenerasyon sisteminin ekonomik analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada kurulacak kojenerasyon tesisinin toplam geliri yıllık 1.884.171,4 \$ giderleri ise 1.310.499,3 \$ olarak geri ödeme süresi ise 1.25 yıl olarak hesaplanmıştır. İkili yaptıkları çalışmanın sonucunda kojenerasyon sistemlerinin maliyetinin belirlenmesinde en önemli faktörün doğalgazın fiyatları olduğunu savunmuşlardır. Doğalgazın birim fiyatının değişimine göre ve Türkiye gibi doğalgaz ithal eden ülkelerde dövizin kuruna bağlı olarak sistem maliyetlerinin de değişeceğini, bunun neticesi olarak da amortisman sürelerinin değişeceğini belirtmişlerdir. Bir kojenerasyon tesisi tasarımı yapılırken ön çalışmaların iyi yapılması gerektiğini ve ihtiyaçların iyi belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda kojenerasyon tesislerinin bu gibi kuruluşlar için cazip, uygun ve karlı sistemler olduğunu belirtmişlerdir.

İnallı (vd. 2002) yaptığı çalışmada, kojenerasyon sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği üzerinde durmuşlar ve GAP bölgesi için kojenerasyonun önemini tartışmışlardır. Ekip yaptıkları çalışmada kojenerasyon sistemlerinin geçmişini ele almış ve tarihten bugüne kojenerasyon sistemlerinin gelişimini incelemişlerdir. İkili daha sonra kojenerasyon tekniklerinin basit termodinamik analizlerini yaparak sistem ve kapasite seçimi konusunda bilgiler sunmuşlardır. Daha sonra çalışmalarında bu sistemlerin ekonomikliğine vurgu yapılarak GAP bölgesi için kojenerasyon uygulamalarının şekli ve önemini vurgulamışlardır.

Bilgen (2000) çalışmasında, bir buharlı ısı geri kazanı ve buhar türbininden oluşan gaz türbinli bir kojenerasyon sisteminin mühendislik hesabı ve ekserjetik verimi üzerine eğilmiştir. Ekserjetik hesapları yaparken termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarından faydalanmıştır. Mühendislik analizini yaparken de geri ödeme periyodu yöntemini kullanmıştır. Sistemi simülasyonunu yapmak için de bir algoritma geliştirmiştir. Bilgen çalışmasında bir tane gaz türbinli ve bir tane de gaz türbini ile beraber bir buhar türbini ihtiva eden iki farklı kojenerasyon sistemini analiz etmiştir. Çalışmasının sonucunda gaz türbinlerinin kojenerasyona hem verimlilik açısından hem de ekonomik açıdan oldukça uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Augusto Araújo da Gama Cerqueira *et al.* (1999) yaptıkları çalışmada bir kojenerasyon sistemine dört farklı termoekonomik analiz metodu uygulamışlardır. Dış tersinmezliklerin etkisini hesaplarken çeşitli yöntemler kullanmışlardır. Sistemi analiz etme yöntemlerine göre güç maliyetlerinin ve ısı maliyetlerinin değişiklik arz ettiğini öne sürmüşlerdir.

Tien *et al.* (2007) gemilerde kojenerasyon uygulaması üzerine çalışmıştır. Çalışmasında Sistemde geminin egzoz gazlarından ve soğutma suyunun ısı enerjisinden nasıl faydalanılabileceği araştırılmıştır. İlgili parametreler boylerden ve kondenslerden çıkan akışkanların sıcaklığı, boylerin ısıtma yüzeyi, egzoz gazlarının çıkış debi ve sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Dizel motorlu gemiden çıkan egzoz gazlarını kullanarak elektrik üretebilmek için özel bir atık ısı kazanı dizayn edilmiştir. Sonuç olarak ise gemilerde bu

tip bir kojenerasyon sistemini uygun olacağı ve yakıt tüketimini azaltacağı için salınan emisyonlarda da ciddi azalmalar olacağı vurgulanmıştır.

Badami *et al.* (2005) çalışmasında, FIAT'ın İtalya'daki araştırma geliştirme merkezinde 120kWe'lık doğalgaz motoruyla kurulmuş bir kojenerasyon sistemin analiz etmiştir. Çalışmada modifiye edilmiş normal bir araç motoru kullanılmıştır. Araç motorunun farklı yüklerle çok çabuk geçebilmesi ve farklı devirlerde çalışabilmesi üzerinde düşünülen iki farklı parametre olmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda yaklaşık olarak aynı kapasitelerde olana geleneksel kojenerasyon sistemleri ile yeni dizayn edilen araç motorlu kojenerasyon sistemi karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda araç motorunun değişik yüklerde daha uygun çalışma koşulları olduğundan dolayı konvansiyonel motorlara nazaran daha verimli gözüktüğü ortaya çıkmıştır. Motorun elektriksel verimi %50 civarında bulunmuştur. Bunun yanında araç motorunun kısmi yüklemeler için normal motorlara göre çok üstün olduğu belirtilmiştir. Bu motorların kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilmesi için iyi bir kısmi yük optimizasyonu gerektiği söylenmiştir. Motorun devir sayısı artırıldığında motorun daha kısa peryotda daha fazla güce ulaştığı ortaya çıkarılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hastaneler elektrik enerjisine sürekli olarak ihtiyaç duyan yerlerdir. Hastanelerde çalışma saatleri ve kullanılan tıbbi cihazların sürekli olarak kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak elektrik tüketim eğrileri gün içinde saatlere göre değişmektedir. Türkiye’de mesai saatlerine bağlı olarak hastanelerde neredeyse tüm tıbbi cihazlar, asansörler ve elektrik enerjisi kullanan diğer donanımların tamamı 08:00 – 17:00 saatleri arasında çalışır durumda olmaktadır. Bunun yanında çalışmakta olan personel ve hasta sayısındaki yoğunluğun sonucu olarak aydınlatma amaçlı sistemler ve bilgisayarlar gibi diğer elektrikli aletlerin de tamamı bu zaman dilimi içinde çalışır halde olmaktadır.(Anonim 2006)

Hastanelerdeki elektrik kullanımı yılın aylarına bağlı olarak da değişiklik arz etmektedir. Özellikle yaz aylarında ihtiyaç duyulan iklimlendirme uygulamaları modern hastanelerin çoğunda elektrik harcamalarının bu zaman diliminde artmasına neden olmaktadır. Ancak Aziziye Araştırma Hastanesinin soğuk iklim bölgesinde bulunması sebebi ile hastanenin tamamında soğutma amaçlı iklimlendirmeye gerek duyulmamaktadır. Sadece ameliyathane ve yoğun bakım ünitesi gibi özel bölümlerin iklimlendirmesi elektrik enerjisi kullanılarak yapılmaktadır. Buna karşılık kış aylarında artan hasta yoğunluğu sebebi ile elektrik tüketimi arttığı için yaz ve kış aylarına göre aşırı bir değişim olmamaktadır. (Aziziye Hastanesi Elektrik Faturaları 2006)

#### 3.1. Aziziye Araştırma Hastanesinin Isı Enerjisi İhtiyaçları ve Isı Merkezi

Türkiye’nin sıcaklık ortalaması en düşük illerinden biri olan Erzurum’da kış ayları uzun ve karlı yaz ayları ise kısa kuraktır. Erzurum’da ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinin geçiş süresi çok kısa sürmektedir. Erzurum’daki binalarda yılda yaklaşık 7-8 ay ısıtma yapılmaktadır. İhtiyaç duyulan ısı enerjisi hem uzun süreli hem de çok fazla miktarlardadır. Şehirde kullanılan ısıtma sistemlerinin çoğu merkezi sistemlerdir. (Bakırcı v.d. 2006)

Aziziye Araştırma Hastanesinin ısı merkezinde biri kızgın su diğeri buhar üretimi yapan iki adet ısı kazanı bulunmaktadır. Kızgın su üretimi yapan kazan hastanenin ısıtılması için kullanılmaktadır. Buhar kazanı ise çamaşırhane, yemekhane, kurutma odası ve kullanım amaçlı sıcak suyun temininde kullanılmaktadır. Kazanlar hali hazırda yakıt olarak doğal gaz yakıtı kullanmaktadır. İki kazanın kullandığı doğal gaz tek bir sayaçtan geçmektedir. Kızgın su kazanının kapasitesi 5.000.000 kcal/saat buhar kazanının ise 3.500.000 kCal/saat'tir. Çizelge 3.1'de ısı merkezinde kullanılan kazanların genel özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Aziziye Araştırma Hastanesi Isı Merkezinde kullanılan kazanların genel özellikleri

<b>Kazan</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Tip	Kızın Su	Buhar
Yapımcı Firma	Selnikel	Selnikel
Adet	1	1
Yakıt Türü	Doğal Gaz	Doğal Gaz
Kapasite (kCal/saat)	5,000,000	3,500,000
Isıtma Yüzeyi (m <sup>2</sup> )	200	150
Çalışma Basıncı (atm)	16	4
Sıcaklıklar	140 -110	-----

Kızgın su kazanı her yıl ekim ayının ilk günlerinde devreye alınıp mayıs ayının sonlarına kadar çalıştırılmaktadır. Buhar kazanı ise genellikle yıl boyunca ve her gün saat 07.00–19.00 saatleri arasında çalıştırılmaktadır. Diğer zamanlarda ise kullanılmamaktadır.

Hastanenin ısı ihtiyaçları genel hali ile şu şekilde dört kısma ayrılmaktadır;

- Kullanım amaçlı sıcak su üretimi için ısı ihtiyacı
- Çamaşırhane ve kurutma proseslerinde kullanılmak için ısı ihtiyacı

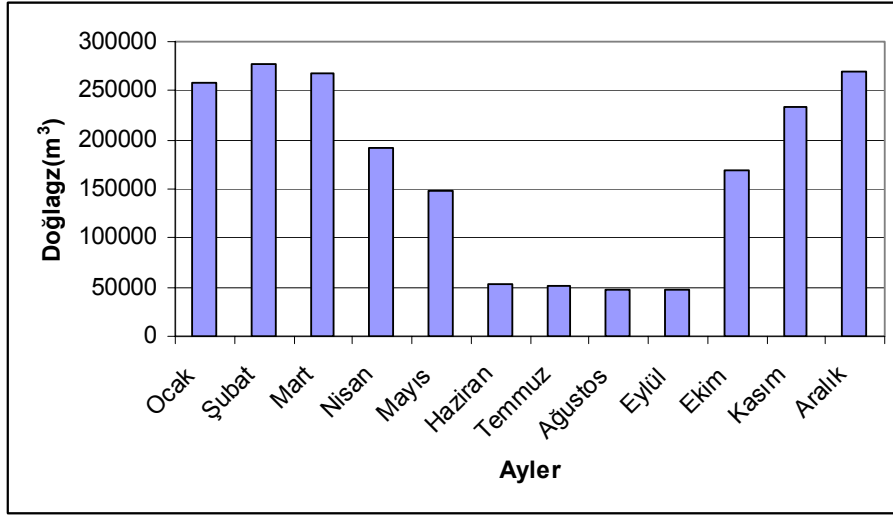
- Yemekhanede kullanılan sıcak su üretimi için ısı ihtiyacı
- Hastanenin ısıtılması için ısı ihtiyacı

Yılın yaklaşık sekiz ayında bu dört şekildeki ısı enerjisinin tamamına ihtiyaç duyulmaktadır. Kış aylarında alan ısıtması ve diğerleri aynı anda yapıldığı için ısı enerjisi ihtiyacı çok fazla olmaktadır. Yaz aylarında ise hastanenin ısıtılması gerekmediğinden sadece ilk üç madde için gerekli olan (yemekhane, kurutma-çamaşırhane, kullanım suyu) ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Bu da yaz aylarında ısı ihtiyacının önemli ölçüde azalacağı ancak sıfıra inmeyeceği anlamına gelmektedir.

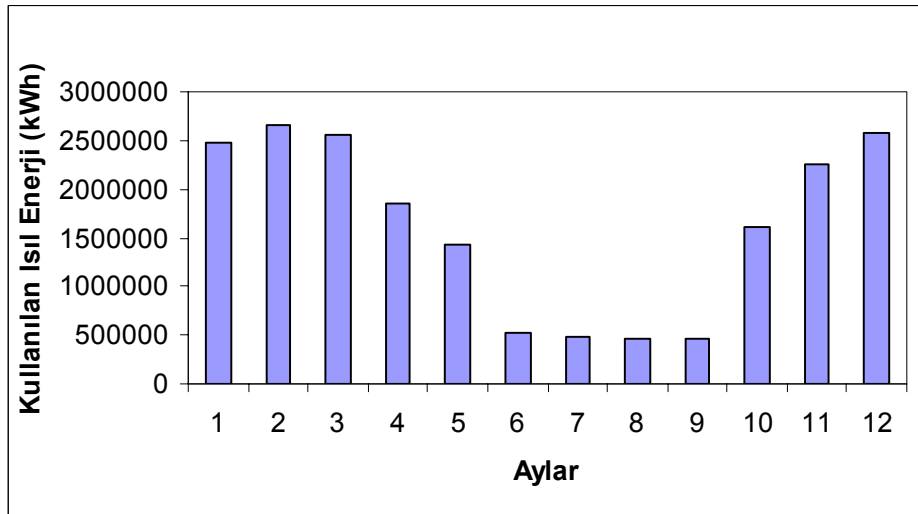
Aşağıdaki Çizelge 3.2, Şekil 3.1 ve 3.2’de Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz tüketimi ve ısı enerjisi tüketimi verilmiştir.(Aziziye Araştırma Hastanesi Elektrik ve Doğalgaz Faturaları, 2006)

**Çizelge 3.2** Aziziye Araştırma hastanesinin 2006 yılında aylara göre doğalgaz ve ısı enerjisi tüketim miktarları ve maliyetleri (Aziziye Araştırma Hastanesi Elektrik Faturaları, 2006)

Aylar	Yakıt.(m <sup>3</sup> )	Birim Fiyat (YTL/m <sup>3</sup> )	Enerji (kWh)	Enerji Maliyeti (YTL)	KDV (YTL)	Top. Fatura (YTL)
Ocak	257750	0.4637	2471823	119525.9	21514.66	141040.6
Şubat	277446	0.4637	2660707	128659.5	23158.71	151818.2
Mart	267472	0.4637	2565056	124034.3	22326.17	146360.4
Nisan	192632	0.4637	1847341	89328.85	16079.19	105408
Mayıs	148461	0.4637	1423741	68845.52	12392.19	81237.72
Haziran	54048	0.4637	518320.3	25063.57	4511.443	29575.01
Temmuz	50514	0.4637	484429.3	23424.76	4216.456	27641.21
Ağustos	47546	0.4637	455966.1	22048.41	3968.714	26017.13
Eylül	48343	0.4637	463609.4	22418	4035.24	26453.24
Ekim	168061	0.4637	1611705	77934.59	14028.23	91962.82
Kasım	234288	0.4637	2246822	108645.9	19556.26	128202.2
Aralık	269543	0.4637	2584917	124994.6	22499.03	147493.7
<b>Toplam</b>	<b>2016104</b>	<b>0.4637</b>	<b>19334437</b>	<b>934923.9</b>	<b>168286.3</b>	<b>1103210</b>



**Şekil 3.1** Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz tüketimi (Aziziye Araştırma Hastanesi Doğalgaz Faturaları, 2006)



**Şekil 3.2** Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki ısııl enerji tüketimi (Aziziye Araştırma Hastanesi Doğalgaz Faturaları, 2006)

Şekil 3.1 ve 3.2’de verilen grafikler hastanenin doğalgaz faturaları baz alınmak sureti ile harcanan doğalgaz miktarı ( $m^3$ ) ile doğalgazın alt ısııl değeri çarpılarak bulunmuştur. Bu hesaplamada doğalgazın alt ısııl değeri, enerji bakanlığının web sayfasından  $9.59kW/m^3$  alınmıştır.([www.epdk.gov.tr](http://www.epdk.gov.tr)) Doğalgazın faturalandırılmasında üst ısııl değeri temel alınarak hesaplama yapılmaktadır. Ancak ısııl sistemlerde yakıtın sisteme verdiği toplam

enerjinin belirlenmesinde genellikle alt ısı değer kullanıldığı için hastanenin ısı enerji ihtiyacının hesaplanmasında da alt ısı değeri kullanılmıştır. (Anonim 2007, b)

Kojenerasyon sistemlerinde ısı ve elektriksel enerjilerin oranları önemlidir. Kojenerasyon sisteminin toplam veriminin ve karlılığının artırılması elektrik üretimi esnasında ortaya çıkan ısı enerjisinden mümkün olduğu kadar fazla faydalanılmasına bağlıdır. Bu nedenle hastanenin yıllık ısı ihtiyacı ve değişimleri de dikkate alınmalıdır. (Demirçivi 1999)

Aylık ısı tüketim grafiğinden de görüldüğü gibi hastanede yıl boyunca sürekli olarak ısı enerjisine gereksinim duyulmaktadır. Bu da kojenerasyon sisteminin yıl boyunca çalışması halinde atık ısının kullanılabilme imkânı olduğu anlamına gelmektedir.

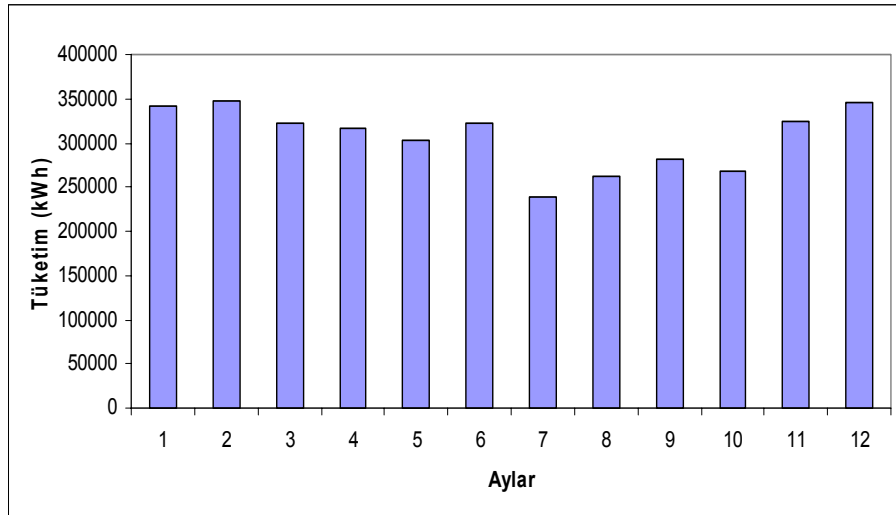
### **3.2. Aziziye Araştırma Hastanesi Elektrik Enerjisi İhtiyacı**

Aziziye Araştırma Hastanesi sürekli olarak elektrik enerjisi tüketen bir tesistir. Elektrik tüketim miktarları ve harcamaları TEDAŞ yetkilileri tarafından merkez trafoda bulunan sayaçtan okunup hastaneye faturalandırılmaktadır. Hastanenin 2006 yılı içinde tükettiği toplam elektrik enerjisi miktarı 3.676.441,16 kWh ve katma değer vergisi hariç olmak üzere ödediği toplam enerji maliyeti ise 439.334,7 YTL'dir. KDV ile beraber toplam elektrik harcaması ise yıllık 518.414,9 YTL olmuştur. (Çizelge 3.3)

Şekil 3.3'de hastanenin yıl içinde aylara göre elektrik harcamaları grafik olarak verilmiştir. Hastanede elektrik tüketimi yılın aylarına göre çok fazla bir değişim göstermemektedir. Yaz aylarında hastanenin genelinde soğutma amaçlı iklimlendirme yapılmamaktadır. Sadece ameliyathane gibi, özel bölümlerin iklimlendirilmesi elektrik enerjisi tüketilerek yapılmaktadır.

**Çizelge 3.3** Aziziye araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki doğalgaz ve ısıt enerji tüketimi ve maliyetleri(Aziziye Araştırma Hastanesi Elektrik Faturaları, 2006)

Aylar	Enerji(kWh)	Enerji Maliyeti (YTL)	Vergi (YTL)	Toplam Maliyet (YTL)
<b>Ocak</b>	340998.76	40749.35	7342.23	48091.58
<b>Şubat</b>	347760	34074.53	6139.55	40214.08
<b>Mart</b>	323230.5	25101.36	4518.25	29619.61
<b>Nisan</b>	317382.76	37927.24	6826.9	44754.14
<b>Mayıs</b>	303203.25	30042.48	5407.65	35450.13
<b>Haziran</b>	322630.5	38554.34	6946.72	45501.07
<b>Temmuz</b>	239649.75	27562.65	4961.28	32523.92
<b>Ağustos</b>	261803.26	31285.49	5631.39	36916.88
<b>Eylül</b>	281675.25	33660.19	6058.83	39719.03
<b>Ekim</b>	267814.25	32641.03	5875.39	38516.42
<b>Kasım</b>	324305.34	33886.47	6105.67	39992.14
<b>Aralık</b>	345987.54	41345.51	7449.64	48795.15
<b>Toplam</b>	<b>3.676.441,16</b>	<b>439.334,7</b>	<b>73.263,51</b>	<b>518.414,9</b>



**Şekil 3.3.** Aziziye Araştırma hastanesinin aylara göre yıl içindeki elektrik tüketimi (Aziziye Araştırma Hastanesi Elektrik Faturaları, 2006)

### **3.3. Aziziye Araştırma Hastanesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Seçimi**

Sistem seçiminde hastanenin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin karşılanması öncelikli olarak referans alınmıştır. Söz konusu elektrik enerjisi referans alındığı için de seçilecek sistemin elektrik veriminin iyi olması gerekmektedir. Bunun için hastanenin elektrik kapasitesi ve doğalgazın kullanılabilir olması da dikkate alınarak doğalgazlı motorların uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Hastanenin yıllık toplam elektrik ihtiyacının mümkün olduğu kadar fazlasının kojenerasyonla üretilebilmesi ve bu esnada oluşan ısı enerjisinin de ihtiyaç duyulan alanlarda etkili bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir.

Hastanenin ısı ihtiyacı özellikle kış aylarında fazla olacağından kojenerasyon sistemi ile karşılanması mümkün görülmektedir. Kojenerasyonun sağladığı ısıya ek ısı gereksinimi olması halinde doğalgazlı kazanlardan yararlanılması uygun görülmektedir.

Yapılan ilk analizlerde kojenerasyon sisteminin yoğun olarak elektrik ihtiyacı olan zamanlarda, yani mesai saatleri içinde çalışmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu saatler yılın her gününde çalışan buhar kazanının gün içindeki çalışma zamanları ile çakışmaktadır. Bu sebeple sistemden mümkün olduğu kadar fazla verim elde edilmesi için atık ısının buhar üretiminde kullanılması düşünülmüştür. Kojenerasyonun ihtiyacı karşılayamaması durumunda ya da çalışmadığı saatlerde yine eski yöntemle buhar üretimi uygun görülmüştür. Isıtma amaçlı kullanılan kızgın su kazanının ise mevcut haliyle çalışmasını sürdürmesi esas alınmıştır.

### **3.4. Aziziye Araştırma Hastanesinde Kojenerasyonla Elektrik Üretimi**

Farklı yakıt kullanarak çalışan kojenerasyon sistemleri olmakla birlikte; yakıt maliyetinin ucuzluğu, kontrol mekanizmasının kolaylığı, ve il bazında yaygınlaşmış kullanımının da bulunması sebebi ile doğalgaz yakıt olarak seçilmiştir. Doğalgaz motorlu kojenerasyon sistemleri de bu çalışma kapsamına alınmıştır.

Kurulacak sistemle hastanenin yıl boyunca elektrik dağıtım şirketinden (TEDAŞ) elektrik alımına hiç gerek duymayacak şekilde bir sistem düşünülmemektedir. Kojenerasyon sisteminin mevcut dağıtım şebekesi ile sürekli olarak paralel çalışması düşünülmüştür. Elektrik sistemi daima şebekeden bir miktar elektrik alacaktır. Bunun sağlanması için çok fazla maliyet gerektiren ada sistemleri tercih edilmelidir. Bu sistemlerde küçükten büyüğe doğru farklı kapasitelerde ve çok sayıda motor kullanılarak dışardan hiç elektrik alınmasına gerek duyulmadan elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir. Mesela 500kW güce ihtiyaç duyan bir tesis için üç tane 25 kW'lık, üç tane 50 kW'lık, bir tane 75 kW'lık ve iki tane de 100 kW'lık motorlar kullanılarak tesisin dışardan elektrik enerjisine ihtiyaç duymaması sağlanır. Fakat bunun gibi bir sistem kurulmak istendiğinde yakıt temini ve sürekliliği gibi birçok parametreye dikkat etmek gerekir. Ada sistemleri genellikle şehir merkezlerinden çok uzak olan yerleşim yerlerinde ve adalarda kullanılır. (Anonim, 2007, a) Bunun için mümkün olduğu kadar az sayıda motor kullanılmaya çalışılmıştır. Seçmiş olduğumuz sistemden beklenti hastanenin bir yıllık toplam elektrik ihtiyacının mümkün olduğu kadar fazla miktarını karşılayabilmesidir.

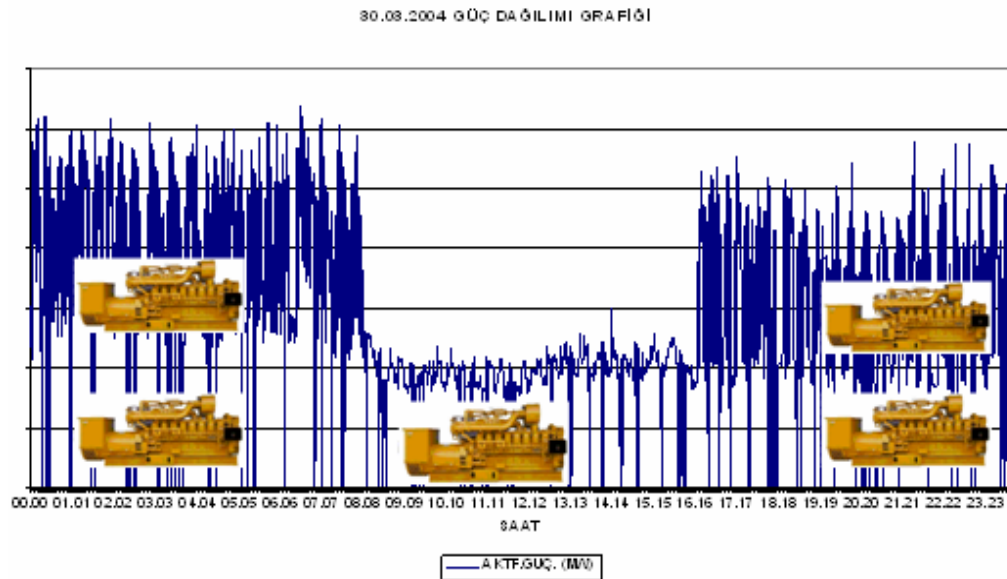
Elektrik enerji ihtiyacı baz alınarak kojenerasyon sisteminin tercihi yapılırken genellikle şu üç yol kullanılır. (Anonim 2007, b)

1. Bütün yıl boyunca harcanan elektrik miktarı baz alınarak tesisin elektrik gücü hesaplanır ve bu sonuca göre sistem seçimi yapılır. Bu uygulamada yıl boyunca tüketilen toplam elektrik miktarı yılın; yılın toplam saatine bölünerek güç belirlenir.
2. Yıl içinde en fazla tüketimin olduğu ay baz alınarak o ayın verilerine göre hesaplanacak olan güçte bir kojenerasyon sistemi seçilir. Bu uygulamada en fazla tüketim olan ayın toplam elektrik tüketimi ayın toplam saatine bölünerek güç belirlenir
3. Bütün yıl boyunca maksimum elektrik enerjisi harcanmış olan gün baz alınarak tesisin anlık olarak en fazla elektrik tükettiği ana göre motor seçilir. Bu uygulamada grafiklerle veya ölçüm aletleri istenen zaman dilimi içinde en fazla güç çekilen an belirlenerek güç seçimi yapılır.

Çizelge 3.'den görüldüğü gibi 2006 yılı verilerine göre hastanenin maksimum elektrik tüketimi 347760 kWh ile şubat ayında gerçekleşmiştir. Minimum elektrik harcaması ise 239649,75 kWh ile temmuz ayındadır. Bir yıl boyunca tüketilen toplam elektrik enerjisi de 3676441,16 kWh olarak gerçekleşmiştir.

Kojenerasyon sistemleri için elektrik gücü belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem yıllık toplam elektrik tüketiminin toplam saate bölünerek bulunmasıdır. Ancak bu yöntem her yerde ve her işletme için uygulanabilir ve mantıklı olmamaktadır. Çünkü her işletmenin elektrik tüketim şekli ve günlük eğrileri farklıdır. Bahsi geçen metot genellikle sanayi tesislerinde daha çok uygundur.

Şekil 3.4'de örnek bir işletmenin (otel) gün içindeki güç dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere elektrik ihtiyacının yoğun olduğu zamanlarda aynı anda iki motor, yoğun olmayan saatlerde ise bir motor çalıştırılmaktadır. Bu tesisin elektrik tüketim eğrisi ve gün içindeki tüketim dağılımı kojenerasyon sistemi için çok uygundur. Böyle bir işletme için gün içinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tamamına yakını kojenerasyonla sağlanabilir.



**Şekil 3.4** Örnek bir tesisin gün içindeki elektrik tüketim dağılımı ve kojenerasyon seçimi şeması (Anonim 2007, c)

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi elektrik tüketim eğrisine sahip bir işletme için sistem seçimi oldukça kolaydır. Bu tesisin gün içindeki elektrik tüketim eğrisi; yani ihtiyaç duyduğu elektriksel güç saatlere göre çok fazla değişmemektedir.

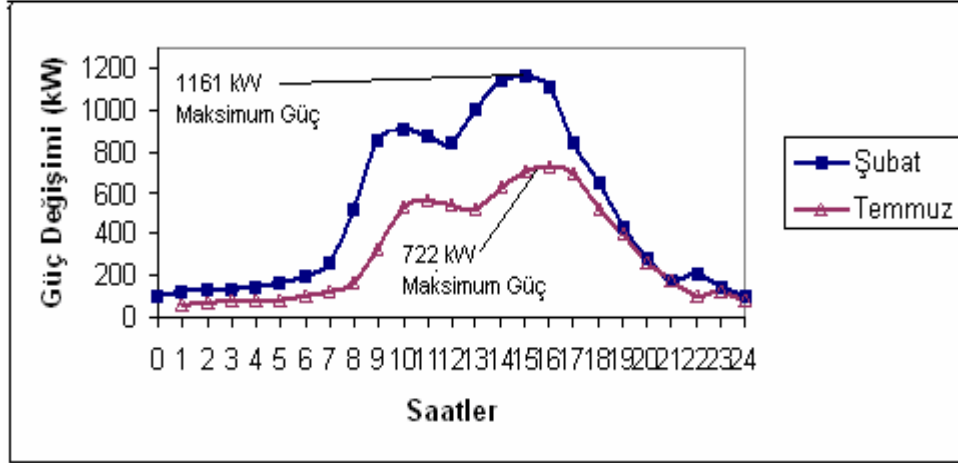
Tesiste ihtiyaç duyulan güç hakkında karara varılmışsa bu gücün nasıl karşılanabileceği üzerine çalışmalar yapılır. İhtiyacın hangi kombinasyonlarla (motor,türbin, vs.) karşılanacağına karar verilir. Bir tek motor kullanılabileceği gibi birden fazla motorla da elektrik üretimi yapılabilir.

Kojenerasyon uygulamalarının çoğunda maksimum elektrik yükü gerçekleşen ay baz alınarak sistem tayini yapılmaktadır. (Anonim 2007, b) Ancak, hastanelerin elektrik tüketim eğrileri genellikle bu şekilde değildir. Hastanelerde elektrik tüketim eğrileri tıbbi cihazların çalışma saatleri ve mesai zamanlarına bağlı olarak değişmektedir. Türkiye’deki hastanelerde mesai saatleri içinde yani sabah saat sekizden akşam beşe kadar ki zaman aralığında elektrik harcamaları diğer saatlere göre fazladır. Bu zaman aralığında tüketim öğle saatlerine kadar artarak devam etmektedir. Öğle saatlerinde dinlenme zamanına bağlı olarak çok az bir düşüş olmakta ve ikindiye (15:00-16.:00) yakın saatlerde maksimum olmaktadır. Bu saatten sonra ise azalma eğilimine girmektedir. Mesai bitiminden sonra ise tüketim gece yarısına kadar hemen hemen aynı seviyelerde devam etmekte, gece yarısından sonra ise biraz daha düşmektedir. Gece boyunca ise tüketim miktarı ve dolayısıyla elektriksel güçte ciddi değişimler olmaktadır.

Aziziye Araştırma hastanesinin gün içindeki elektrik tüketim eğrisi şubat ve temmuz ayı tüketimi baz alınmak sureti ile şekil 3.5’de verilmiştir. Bu grafik 12 ve 13 şubat 2007 tarihlerinde hastanenin elektrik sayacından iki saatte bir alınan değerlerle oluşturulmuştur. Alınan bu değerler daha sonraki tarihlerde yapılan ölçümlerle teyit edilmiştir.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi hastanenin elektrik tüketimi şekil 3.4’de verilen tüketim eğrisi ile kıyaslandığında farklı özellikler göstermektedir. Elektrik tüketim eğrisinin

değişken aralıklarda oluşu sistem seçimini örnek verilen tesisteki seçime göre farklı kılmakta biraz daha zorlaştırmaktadır.



**Şekil 3.5.** Aziziye Araştırma Hastanesinin günlük elektrik tüketim eğrisi

Bilinen basit hesap metodunda yılın her ayında, her gününde, ve her saatinde eşdeğer enerji tüketiminden hareketle basit bir hesap yapılacak olursa;

Yıllık toplam elektrik tüketimi : 3676441,2 kWh

Hastanenin çalıştığı gün sayısı : 365 gün

Günlük elektrik ihtiyaç süresi : 24 saat

Gerekli güç =  $3676441,2 / (365 \times 24) = 420$  kW olmaktadır.

Aynı hesap sadece yılın en fazla elektriğe ihtiyaç duyulan ayı olan şubat ayı baz alınarak yapılırsa;

Aylık toplam elektrik tüketimi : 347760 kWh

Hastanenin çalıştığı gün sayısı : 28 gün

Günlük elektrik ihtiyaç süresi : 24 saat

Gerekli güç =  $347760 / (28 \times 24) = 518$  kW olmaktadır.

Ancak günlük elektrik tüketim grafiğine bakıldığında gün içindeki maksimum elektrik gücü ihtiyacının şubat ayı için 1161 kW, minimum elektrik tüketiminin olduğu temmuz ayı için ise 722 kW olduğu görülmektedir. Bu durumda yıllık elektrik tüketimi baz alınarak yapılacak ortalama güç hesabının bu hastane için uygun olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında motorların çalışma yüklerine göre verimleri ve özgül yakıt tüketim miktarları da değişmektedir. Yani seçilen motorların çalışma yükü dağılımı birim maliyet için ve sistem ömrü için önem arz etmektedir.

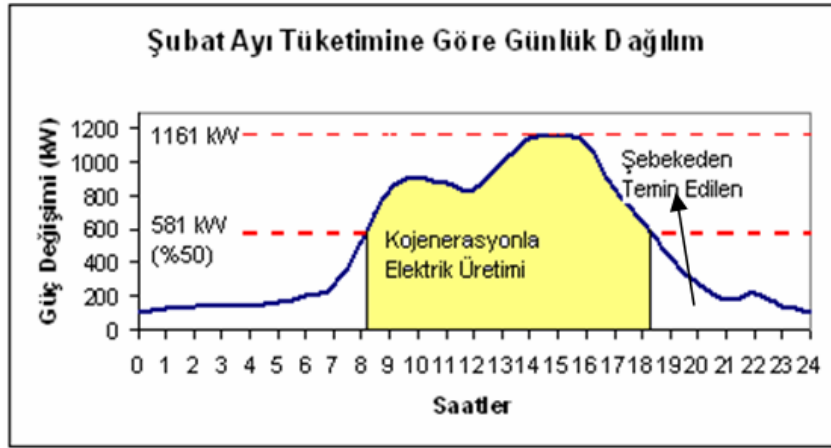
Kojenerasyon sistemlerinin (motorların) (Anonymous 2002) çalışma yükünün yüzde ellinin altına düşmesi sistem verimini oldukça kötü etkilemektedir. Motorların %50 altında bir yüklenme ile çalıştırılması halinde birim güç maliyeti çok fazla artmaktadır ve sistemin çalışma ömrü azalmaktadır. Dolayısıyla kullanılacak motor veya motorların %50 yükün altında çalışmasına izin verilmemesinin uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan motorlarda elektrik ihtiyacının motor-elektrik kapasitesinin %50'sinin altına düşmesi halinde kojenerasyon sistemi otomatik olarak devreden çıkmakta ve ihtiyacı gidermek için şebekeden faydalanılmaktadır.

Tüketim eğrileri şekil 3.5'deki gibi olan bir işletme için motor seçiminin maksimum elektrik yüküne göre seçilmesi halinde sistemin %50 yüklemenin üzerindeki değerlerde çalışma süresi kısalmaktadır. Sistemin mümkün olduğu kadar tam yükte veya tam yüke yakın değerlerde çalışması tercih edilmelidir. Ayrıca hastane için tercih edilecek sistemin, gün içinde tüketilen toplam elektrik enerjisinin mümkün olduğu kadar fazlasını karşılaması istenir. Ayrıca toplam verimin artırılabilmesi ve atık ısının daha çoğunun değerlendirilebilmesi için kojenerasyonun çalışma saatleri ile buhar kazanının çalışma saatleri mümkün olduğu kadar çakışması arzu edilir.

Şekil 3.6'da örnek olarak verilen grafikte tesisin elektrik gücüne eşdeğer güce sahip bir kojenerasyon motoru dikkate alınmıştır. Bu durumda kojenerasyon sistemi 1161 kW ile 580,5 kW güçleri arasında, yani %100 yük ile %50 yük arasında çalışır. Şekil 3.6'da görülen haliyle renkli alan kojenerasyondan karşılanan elektrik miktarını diğer alanlar ise şebekeden alınacak elektrik miktarını göstermektedir.

Pratikte motor kapasiteleri üretici firmalar tarafından standartlaştırılmıştır. Dolayısıyla düşünüldüğü gibi tam istenilen güçte bir motor temin edilemeyebilir. Böyle bir durumda gerekli gücün bir üst kapasitesindeki motor tercih edilir.

Kojenerasyon uygulamalarında, ada sistemleri haricindeki uygulamalarda tesisin şebekeyle olan bağlantısı korunur. Ani ve aşırı yüklenmelerde sistemin korunması için tüm yüklerde mutlaka ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı şebekeden karşılanmalıdır.

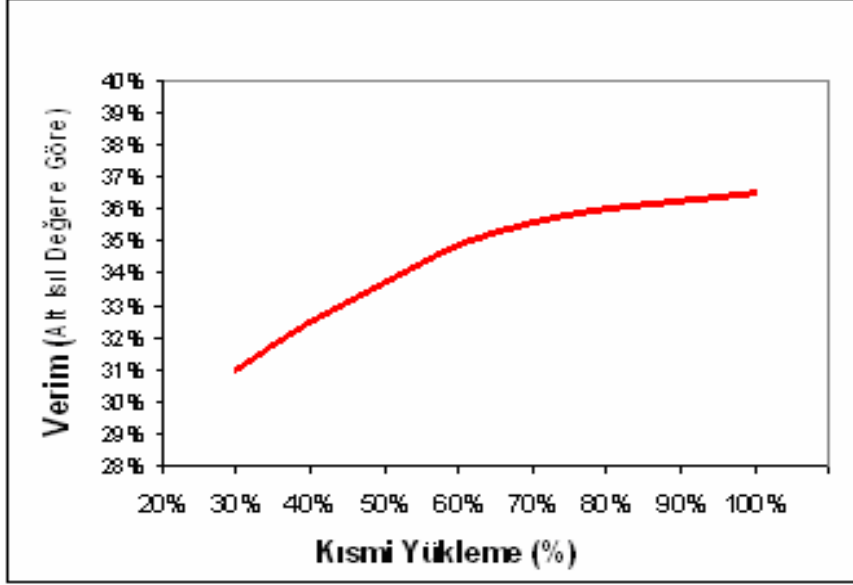


**Şekil 3.6** Aziziye Araştırma Hastanesinin örnek kojenerasyon seçimi

Şekil 3.6'da örnekteki kojenerasyon sistemi toplam çalışma zamanının çok az bir kısmında tam yüke yakın yüklemelerde çalışır. Bu da üretilen elektriğin birim maliyetini yükseltici yönde etki yapmaktadır. Çizelge 3.4'de ve şekil 3.7'de kojenerasyon motorlarının genel olarak değişik yüklemelerdeki verim değişikliklerini gösterir. Bu verilere göre motorlar %50 yükte çalışırken mekanik verim %33,75 olurken tam yükte çalışma esnasında ise %36,7 olmaktadır.

**Çizelge 3.4** Doğalgaz motorlarının çalışma yüklerine göre mekanik verimleri

Yük (%)	30	40	50	60	70	80	90	100
Verim (%)	31	32,5	33,7	34,9	35,6	36	36,3	36,7



**Şekil 3.7** Doğalgaz motorlarının kısmi yüklemelere göre verim değişimi (Anonymous 2002)

Motorun düşük yüklerde çalışması halinde üretilen elektriğin birim maliyeti de yükselir. Motorun tam yükte çalışırken 1161 kW gücü verebilmek için tüketilen yakıt enerjisinin %36,7'si elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Verilen bu değer deniz seviyesi içindir. Göz önüne alınan Aziziye Araştırma Hastanesinin rakımı ise yaklaşık 1900m'dır. Dolayısıyla gaz motorlarının kataloglarından faydalanılarak verime rakım farkının etkisi de eklenmelidir. Sistem yükselti farkından dolayı %22 (yükselti etki katsayısı 0,78) verim kaybına uğramaktadır. Ayrıca yakıttan elde edilen enerji, motor milinden jeneratöre aktarılırken de %4'lük bir kayıp yaşanmaktadır. (www.cat.com) Bu şartlarda örnek olarak seçtiğimiz sitemden elde edilecek elektriğin birim maliyeti şöyle hesaplanır:

Elektriksel Verim:

$$0.78 * 0.367 * 0.96 = 0,275$$

1162 kW güç verebilmek için gerekli yakıt enerjisi:

$$1162 / 0,275 = 4225,45 \text{ kW}$$

(Doğalgazın alt ısı değeri = 9,59 kW)

4225,45 kW gücü verebilecek doğalgaz miktarı:

$$4225,45 \text{ kW} / 9,59 \text{ Kw} = 440,61 \text{ m}^3$$

Ağustos 2007 tarihinde doğalgazın bir metreküpünün fiyatı (KDV dahil) 0,547 YTL'dir. ([www.igdas.com.tr](http://www.igdas.com.tr), [www.palen.com.tr](http://www.palen.com.tr) , 20007)

1162 kW elektrik gücünün maliyeti :

$$440,61 \text{ m}^3 * 0,547 \text{ YTL/m}^3 = 241,01 \text{ YTL}$$

Elektriğin birim maliyeti:

$$226,474 \text{ YTL} / 1162 \text{ kW} = 0,207 \text{ YTL} / \text{kW}$$

Ortaya çıkan sonuç kojenerasyon sisteminin ısı kapasitesinden faydalanmadan sadece elektrik üretilmesi halinde ortaya çıkan durumu göstermektedir. Ağustos 2007 itibariyle Türkiye'de elektriğin birim fiyatı KDV hariç; 0,119 YTL iken KDV dâhil 0,141 YTL'dir. ([www.epdk.gov.tr](http://www.epdk.gov.tr))

Motorun %50 yükte çalıştırılması halinde üretilen elektriğin birim maliyeti :

Elektriksel Verim:

$$\%50 \text{ yüklemedeki verim} : 0,337$$

$$\text{Toplam verim: } 0,78 * 0,337 * 0,96 = 0,252$$

580,5 kW güç verebilmek için gerekli yakıt enerjisi:

$$580,5 / 0,252 = 2303,57 \text{ kW}$$

(Doğalgazın alt ısı değeri=9,59 kW)

2303,57 kW gücü verebilecek doğalgaz miktarı :

$$2303,57 \text{ kW} / 9,59 \text{ kW} = 240,205 \text{ m}^3$$

Doğalgazın bir metreküpünün fiyatı (KDV dâhil) 0,547 YTL'dir.

580,5 kW elektrik gücünün maliyeti:

$$240,205 \text{ m}^3 * 0,547 \text{ YTL/m}^3 = 131,392 \text{ YTL}$$

Elektriğin birim maliyeti:

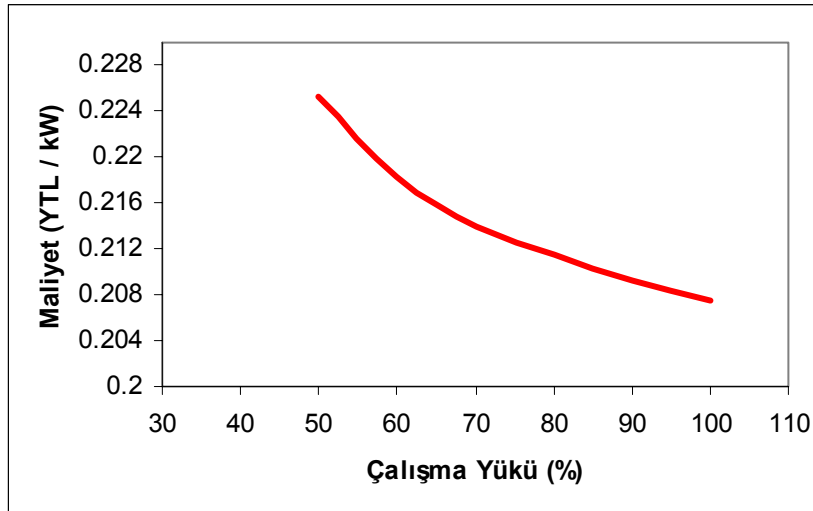
$$131,392 \text{ YTL} / 580,5 \text{ kW} = 0,226 \text{ YTL} / \text{kW}$$

Yapılan bu hesaplarda elde edilen maliyet sonuçları Çizelge 3.5 ve şekil 3.8’de yük durumlarına göre verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Doğalgaz motorlarının çalışma yüklerine göre elektrik üretimi birim maliyetleri

Yükleme (%)	50	60	70	80	90	100
Maliyet (YTL/kW)	0,226	0,218	0,214	0,112	0,209	0,207

Çizelge 3.5’deki değerler grafiğe aktarılırsa Şekil 3.8 elde edilir.



**Şekil 3.8** Doğalgaz motorlarının kısmi yüklemelere göre elektrik üretimi birim maliyet değişimi

Yapılan hesaplarda sistemden elde edilecek ısı enerjisi dikkate alınmamıştır. 1161 kW güce sahip olacak bir kojenerasyon motorunun ısıl gücü ilgili kataloglarda yaklaşık olarak 1500 kW olarak verilmektedir. Verilen bu ısıl gücün ısı değerlendirme sistemlerinde %80 verimle (Anonim 2007,c) değerlendirildiği düşünülürse sistemden elde edilecek ısı 1200 kW mertebesinde olur.

Kojenerasyondan alınacak ısı miktarı: 1200 kW

Kojenerasyondan alınan ısıнын doğalgaz eşdeğeri:  $1200 / 9,59 = 125\text{m}^3$

Yakıt tasarrufunun hastaneye mali getirisi:  $125\text{ m}^3 * 0,547\text{ YTL} / \text{m}^3 = 68,4\text{YTL}$

1162 kW güç elde etmek için harcanacak toplam maliyet =  $226,474 - 68,4 = 158\text{ YTL}$

Elektriğin birim maliyeti =  $158\text{ YTL} / 1161\text{ kW} = 0,136\text{ YTL}$

Bu yollarla elektriğin son halde birim maliyeti hesaplanabilmektedir. Kojenerasyon sisteminin yıllık net karı hesaplanıp yıllık net kazancı belirlenerek geri ödeme süres, hesaplanabilir. Geri ödeme süresinin hesaplanmasında aşağıda formülü verilmiş olan dinamik geri ödeme süresi hesabı kullanılabilir.

$$t_g = \frac{\ln \left[ \frac{G_i}{G_i - G_y f} \right]}{\ln (1 + f)}$$

$G_i$  = Yıllık net kazanç (YTL / Yıl)

$G_y$  = İlk yatırım maliyeti (YTL)

$f$  = Yıllık faiz oranı

$t_g$  = Geri ödeme süresi (yıl)

Bu çalışmanın ilerleyen kısmında maksimum ve minimum güçlere göre seçilmiş iki farklı motor seçilerek sistem analizi yapılmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

##### 4.1. Maksimum Güce Göre (Şubat Ayı Tüketimi) Sistem Tayini Yapılarak Sistem Seçimi ve Analizi

Tercih edilen motorun gücü yıl içindeki toplam elektrik tüketiminden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Bu durumda hastanenin gücü; maksimum elektrik tüketiminin olduğu Şubat ayın için oluşturulan tüketim grafiğine göre 1161 kW olarak tayin edilir.

Jeneratör ve diğer kayıpları da göz önüne alınmak suretiyle 1656 kW mekanik güce sahip CAT G3516C modeli seçilebilir. Seçilen motorun teknik özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Seçilen motorun teknik özelliklerinin tamamı ayrıntılı olarak EK.3.’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** CAT G3516 C Tipi Motor Özellikleri

Motor Tipi	CAT 3516 C
Mekanik Güç (kW)	1656
Elektrik Üretimi (kW)	1584
Enerji Girdisi (kW)	4057
Isı Enerjisi (kW)	1805
Elektrik Üretim Verimi (%)	40,8
Isı Üretim Verimi (%)	44,5
Toplam Çevrim Verimi (%)	85,3

Seçilen motorun gücü gerekli gücün çok üstündedir. Bunun sebebi motorda üretilen mekanik gücün elektrik enerjisine dönüştürülmesi esnasında belli kayıpların olması ve yükseltinin etkisidir. Motor mili kaybının %4 olduğu ve yükselti etki katsayısı daha önceki bölümlerde belirtilmişti. (sayfa 64) Motor gücünün jeneratör rotoruna aktarılması esnasında ki verimi 0,96’dır. (Caterpillar katalog)

Seçilen motorun elektriksel gc:  $1656 * 0,96 = 1584$  kW olur.

Motorların yanma verimi ve aftercooler verimi rakımlara göre değişmektedir. Rakım farklarının motor verimine etkisi EK.3.'de verilen motor katalogunda ayrıntılı olarak izelge halinde sunulmuştur. Bu katsayı yaklaşık olarak 1900 rakım için 40  C'deki aftercooler sıcaklığının etkisi dâhil edilmiş olmak üzere 0,78 olarak tespit edilmiştir.

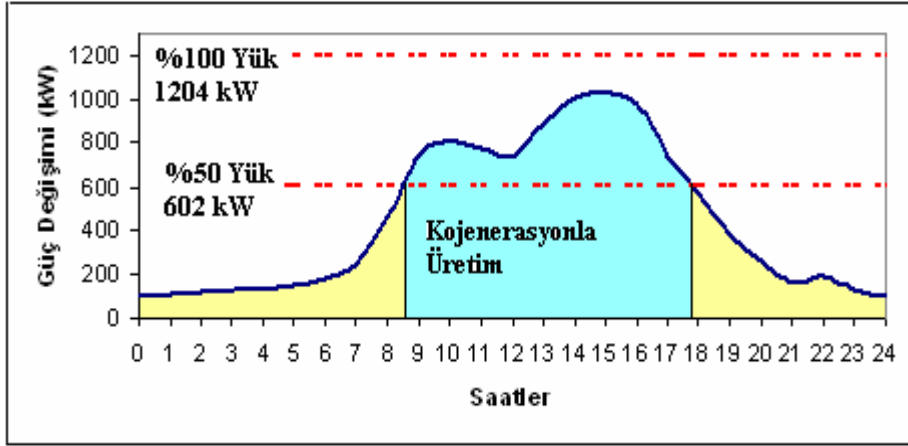
Bu durumda seçtiğimiz motorun Erzurum şartlarında karşılayabileceği maksimum elektriksel güç:

$1584 * 0,78 = 1204$  kW olarak bulunur.

Dolayısıyla hastane için yapılacak çalışma analizi 1204 kW güç değeri dikkate alınarak yapılmalıdır. CAT 3516 C motorunun Aziziye hastanesinde ki çalışma performansı, saatleri ve hangi yk konumunda kaç saat çalışacağı aşağıda aylara göre belirlenmiştir.

#### **4.1.1. Ocak Ayı**

Ocak ayının aylık toplam elektrik harcaması grafiğine göre bu ay için görülen maksimum güç 1027 kW olmuştur. Ocak ayının maksimum elektrik gc seçilen kojenerasyonun maksimum elektrik gcnden daha azdır. şekil 4.1 ve 4.2'de görüldüğü gibi bu kojenerasyon sisteminin tercih edilmesi durumunda saat 08:30'dan saat 17.40'a kadar %100 ila %50 arasındaki değişik yüklerde çalışılır. Sistem bir günde yaklaşık 9,6 saat çalışabilecektir. Ancak bu şartlarda sistem en verimli çalışma yükü olan %100 yüklemeye hiç ulaşamayacaktır. Sistem hastanenin bir gün için ihtiyaç duyduğu toplam elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %71 ini karşılayabilecektir. Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum izelge 4.2, şekil 4.1 ve şekil 4 .2'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1** 1656 kW'lık Motorla Ocak ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $11000 * 0,71 = 7810$  kWh

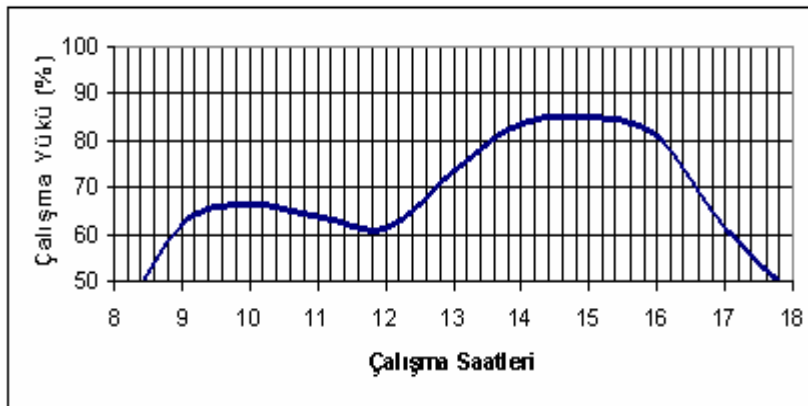
Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $11000 * 0,29 = 3190$  kWh

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $340999 * 0,71 = 242109,29$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $340999 * 0,29 = 98889,71$  kWh

**Çizelge 4.2** 1656 kW'lık motorun Ocak ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1,1	4,3	1,2	3,0	0	0



**Şekil 4.2** 1656 kW'lık Motorun Ocak ayı çalışma yükü dağılımı

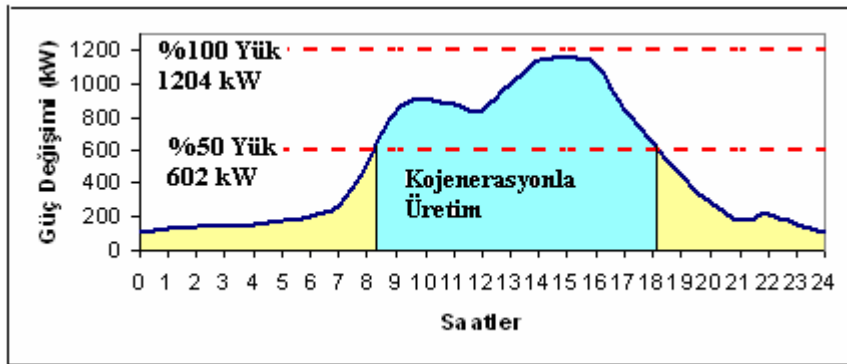
#### 4.1.2. Şubat Ayı

Yaptığımız seçime göre şubat ayı elektrik ihtiyacının karşılanmasında şebekeden ve kojenerasyondan faydalanılma oranları şekil 4.3’de görülmektedir. Bu durumda kojenerasyon sistemi sabah saat 08.10’dan akşam saat 18.10’a kadar değişik yüklerde toplam 10 saat çalışmaktadır. Şubat ayı elektrik tüketim grafiğine göre hesaplanan gerekli maksimum güç değeri 1161kW olup sistemimizin değerinden aşağıda olduğundan bu ay için de tam yüke çıkılamayacaktır. Yoğunluğun az olduğu yani ihtiyacın %50 yüklenmenin altında kaldığı saatlerde sistem tamamen devreden çıkmaktadır.

2006 Yılı şubat ayı faturasına göre aylık tüketim 347760 kWh’tir. Bir günlük elektrik tüketimi ise:

$$347760/28 = 12420 \text{ kWh'tir}$$

Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum Şekil 4.3’de gösterilmiştir:



**Şekil 4.3** 1656 kW'lık Motorla Şubat ayı elektrik üretim dağılımı

Bu koşullarda hastane bir günlük elektrik ihtiyacının %79'unun kojenerasyonla kalan kısmının ise şebekeyle karşılanmalıdır. Bu aşamada şubat ayındaki toplam elektrik tüketiminden yola çıkılarak hesaplanmış olan bir günlük elektrik ihtiyacının karşılanma oranları aşağıdadır.

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $12420 * 0,79 = 9811,8 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $12420 * (1-0,79) = 2608,2 \text{ kWh}$

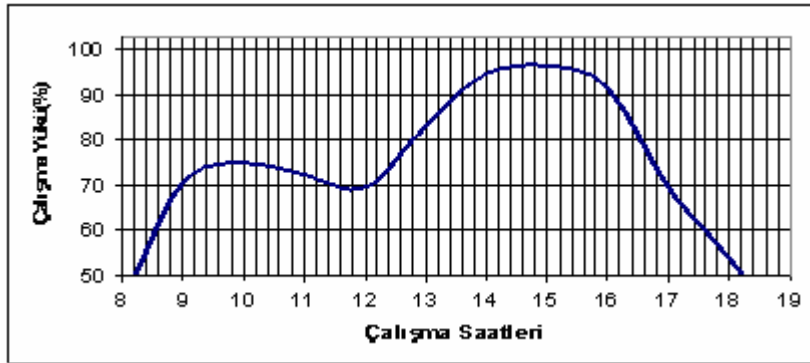
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $347760 * 0,79 = 274730,4 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $347760 * 0,21 = 73029,6 \text{ kWh}$

Şubat ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri çizelge 4.3 ve şekil 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3** 1656 kW’lık motorun Şubat ayı çalışma saatleri

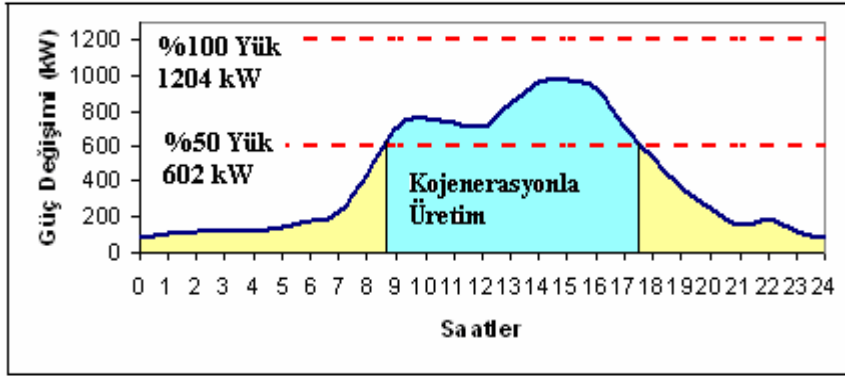
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1	1,5	3,6	1,3	2,6	0



**Şekil 4.4** 1656 kW’lık Motorun Şubat ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.3. Mart Ayı

Mart ayı tüketimine göre hesaplanan maksimum güç değeri 974 kW’tır. Seçilen sistemin maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışamayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:30-17:40 saatleri arasında toplam 9,1 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %76’sını karşılayabilir.



**Şekil 4.5** 1656 kW'lık Motorla Mart ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $10427 * 0,76 = 7924,52 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $10427 * (1-0,76) = 2502,48 \text{ kWh}$

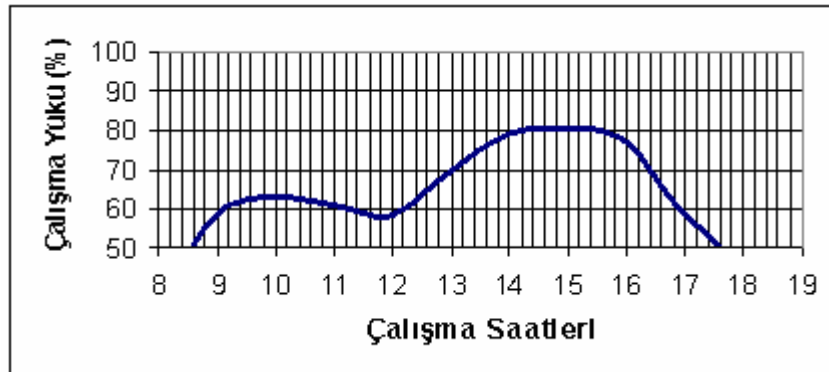
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $323230 * 0,76 = 245654,8 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $323230 * 0,24 = 77575,2 \text{ kWh}$

Mart ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.4** 1656 kW'lık motorun Mart ayı çalışma saatleri

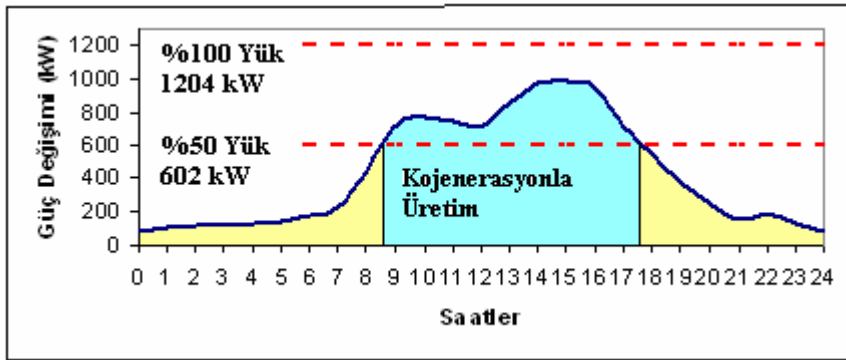
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	2,5	2,8	3,8	0	0	0



**Şekil 4.6** 1656 kW'lık Motorun Mart ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.4. Nisan Ayı

Nisan ayı tüketimine göre hesaplanan güç değeri 989 kW'tır. Seçilen sistemin maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışamayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:30-17:30 saatleri arasında toplam 9 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin önemli %76'sını karşılayabilir.



**Şekil 4.7** 1656 kW'lık Motorla Nisan ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $10579 * 0,76 = 8040,04$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $10579 * 0,24 = 2538,96$  kWh

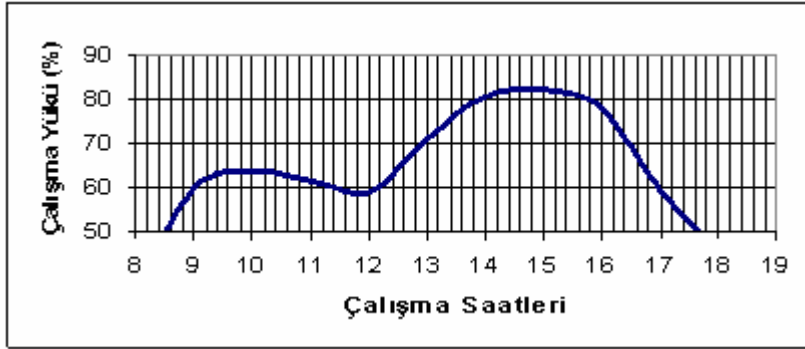
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $317383 * 0,76 = 241211,08$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $317383 * 0,24 = 76171,92$  kWh

Nisan ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri çizelge 4.5 ve şekil 4.8'de verilmiştir:

**Çizelge 4.5.** 1656 kW'lık motorun Nisan ayı çalışma saatleri

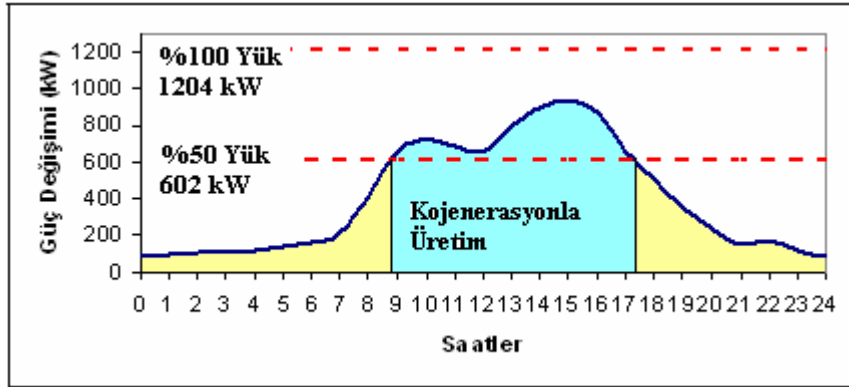
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1,6	3,8	1,5	2,1	0	0



**Şekil 4.8** 1656kW'lık Motorun Nisan ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.5. Mayıs Ayı

Mayıs ayı tüketimine göre hesaplanan ortalama güç değeri 922 kW'tır. Seçilen sistemin maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışmayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:30-17:10 saatleri arasında toplam 8,6 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %73'ünü karşılayabilir.



**Şekil 4.9** 1656 kW'lık Motorla Mayıs ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $9781 * 0,73 = 7140,3 \text{ kWh}$

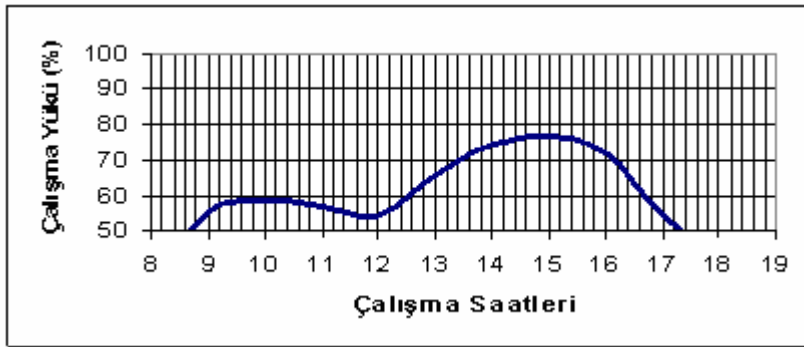
Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $9781 * 0,27 = 2640,87 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $303203 * 0,73 = 221338,19 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $303203 * 0,27 = 81864,81 \text{ kWh}$

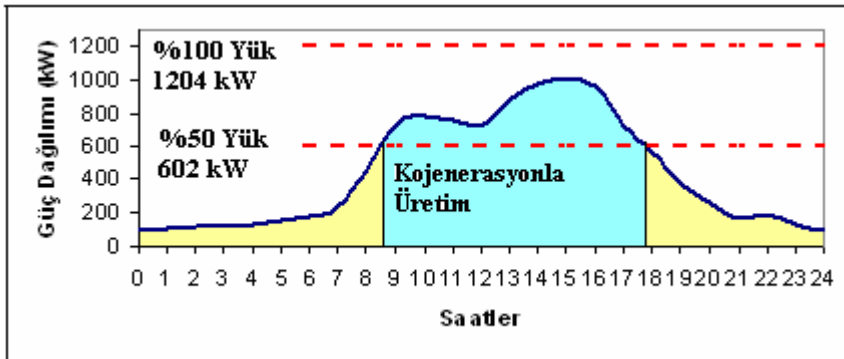
**Çizelge 4.6.** 1656 kW'lık motorun Mayıs ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	4,3	1,5	2,8	0	0	0

**Şekil 4.10** 1656 kW'lık Motorun Mayıs ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.6. Haziran Ayı

Haziran ayı tüketimine göre hesaplanan ortalama güç değeri 1005 kW'tır. Seçilen sistem maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışamayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:30-17:30 saatleri arasında toplam 9 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %70'ini karşılayabilir.

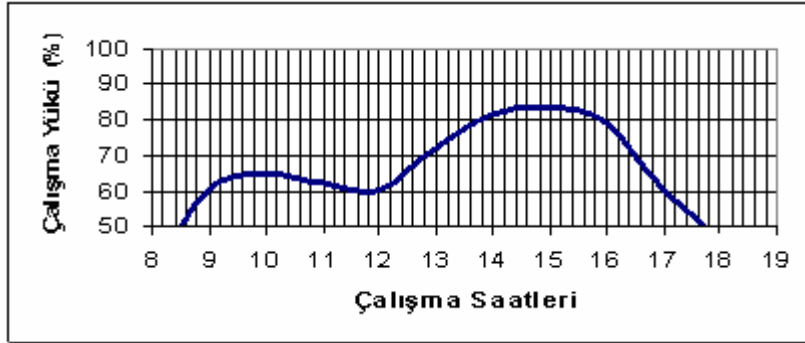
**Şekil 4.11** 1656 kW'lık Motorla Haziran ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $10754 * 0,70 = 7527,8 \text{ kWh}$   
 Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $10754 * 0,30 = 3226,2 \text{ kWh}$   
 Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $322631 * 0,70 = 225841,7 \text{ kWh}$   
 Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $322631 * 0,30 = 96789 \text{ kWh}$

Haziran ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.7** 1656 kW'lık motorun Haziran ayı çalışma saatleri

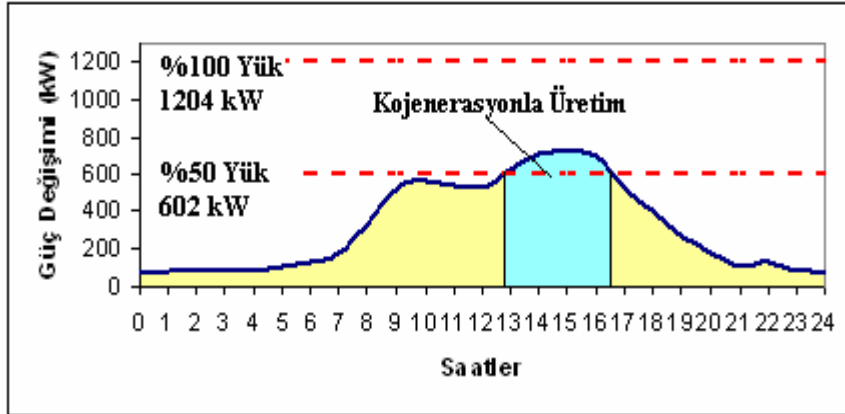
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1,3	3,9	1,5	2,3	0	0



**Şekil 4.12** 1656 kW'lık Motorun Haziran ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.7. Temmuz Ayı

Elektrik harcaması en az olan ay olan temmuz ayındaki kojenerasyonla ve kojenerasyonsuz elektrik tüketim grafiği aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir. Temmuz ayında gün içinde kojenerasyon sisteminin çalışma saatleri saat 12:40 ve 16:30 arasındadır. Ancak bu sürenin tamamında %50 çalışma yüküne yakın değerlerdedir. Temmuz ayında sistem 3,7 saat çalışarak toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %38'i kojenerasyon tarafından birim maliyeti tam yükte çalışma şartlarına göre daha yüksek olmak kaydı ile üretilir.



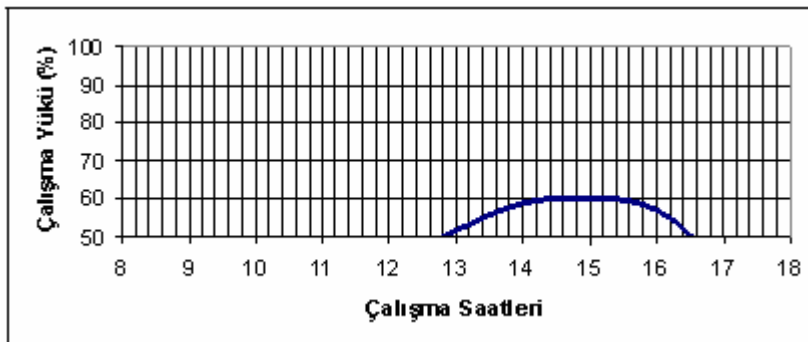
**Şekil 4.13** 1656 kW'lık Motorla Temmuz ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanan elektrik :	$0,38 * 7731 = 2937,78 \text{ kWh}$
Günlük şebekeden karşılanan elektrik :	$0,62 * 7731 = 4793,22 \text{ kWh}$
Aylık kojenerasyonla karşılanan elektrik :	$0,38 * 239649.75 = 91066,62 \text{ kWh}$
Aylık şebekeden karşılanan elektrik :	$0,62 * 239649.75 = 148582,38 \text{ kWh}$

Temmuz ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri ve grafiği aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.8** 1656 kW'lık motorun Temmuz ayı çalışma saatleri

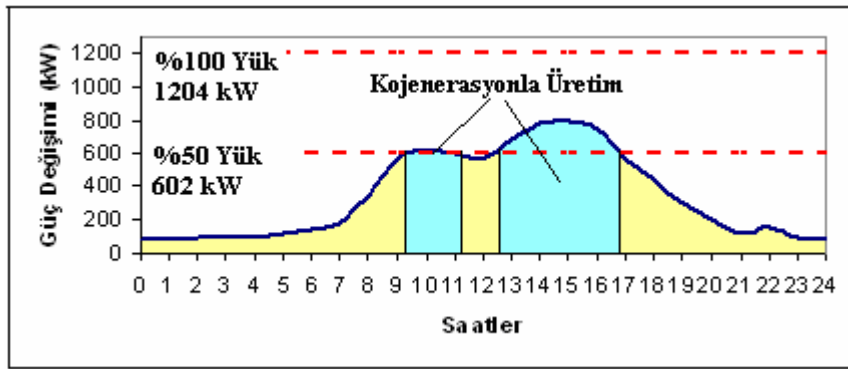
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	3,7	0	0	0	0	0



**Şekil 4.14** 1656 kW'lık Motorun Temmuz ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.8. Ağustos Ayı

Ağustos ayı tüketimine göre hesaplanan ortalama güç değeri 789 kW'tır. Seçilen sistemin maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışamayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 09:10-10:30 ve 12:30-16:50 saatleri arasında toplam 5,7 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %57'sini karşılayabilecektir.



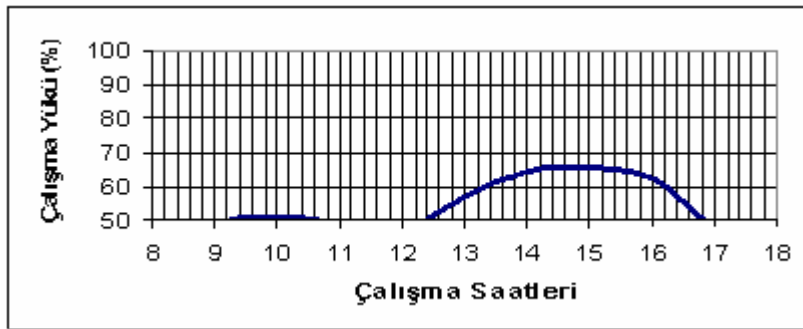
Şekil 4.15 1656 kW'lık Motorla Ağustos ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $8445 * 0,57 = 4813,65 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $8445 * 0,43 = 3631,35 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $261803 * 0,57 = 149227,71 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $261803 * 0,43 = 112575,29 \text{ kWh}$



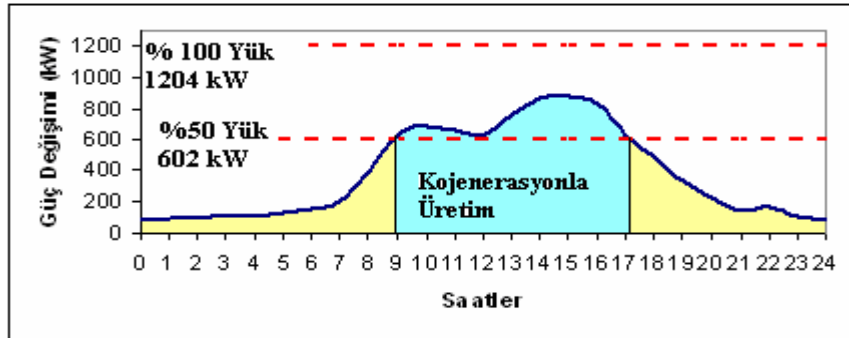
Şekil 4.16 1656 kW'lık Motorun Ağustos ayı çalışma yükü dağılımı

**Çizelge 4.9** 1656 kW'lık motorun Ağustos ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	2,9	2,8	0	0	0	0

#### 4.1.9. Eylül Ayı

Eylül ayı tüketimine göre hesaplanan ortalama güç değeri 877 kW'tır. Seçilen sistem maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışmayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:50 ve 17:10 saatleri arasında toplam 8,3 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %70'ini karşılayabilecektir.

**Şekil 4.17** 1656 kW'lık Motorla Eylül ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $9389 * 0,70 = 6572,3 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $9389 * 0,30 = 2816,7 \text{ kWh}$

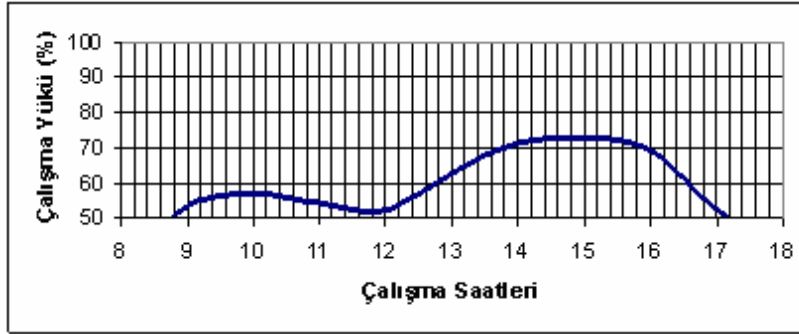
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $281675 * 0,70 = 197172,5 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $281675 * 0,30 = 84502,5 \text{ kWh}$

Eylül ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri ve grafiği aşağıda verilmiştir:

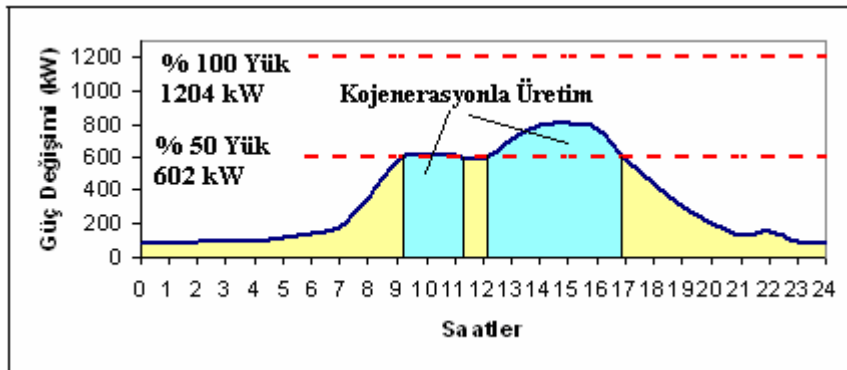
**Çizelge 4.10** 1656 kW'lık motorun Eylül ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	4,5	1,6	2,2	0	0	0

**Şekil 4.18** 1656 kW'lık Motorun Eylül ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.10. Ekim Ayı

Ekim ayı tüketimine göre hesaplanan ortalama güç değeri 807 kW'tır. Seçilen sistem maksimum gücü ise 1204 kW olduğuna göre bu ay boyunca sistem %100 yükte çalışmayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 09:00-11:15 ve 12:15-16:50 saatleri arasında toplam 6,5 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %48'ini karşılayabilecektir.

**Şekil 4.19** 1656 kW'lık Motorla Ekim ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $8639 * 0,48 = 4146,72 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik :  $8639 * 0,52 = 4492,28 \text{ kWh}$

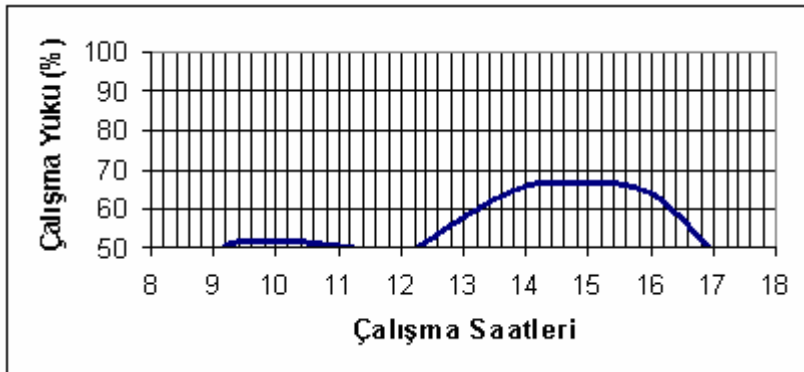
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik :  $267814 * 0,48 = 128550,72 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik :  $267814 * 0,52 = 139263,28 \text{ kWh}$

Ekim ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.11** 1656 kW'lık motorun Ekim ayı çalışma saatleri

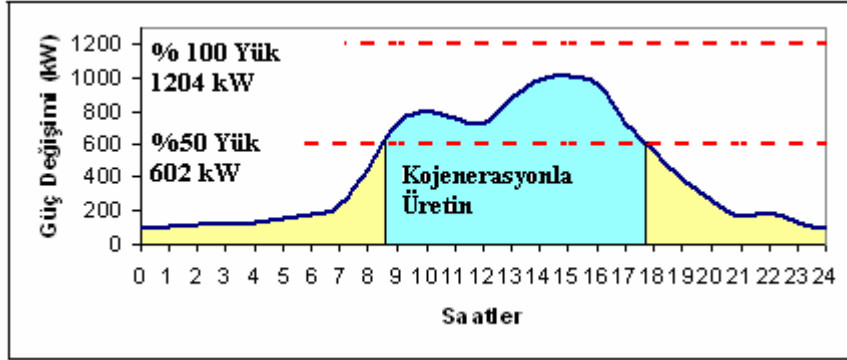
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	3,4	3,1	0	0	0	0



**Şekil 4.20** 1656 kW'lık Motorun Ekim ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.11. Kasım Ayı

Kasım ayı Erzurum'da tam olarak kış ayına adım atılan aydır. Bu ayın ortalama güç değeri yaklaşık olarak 1010 kW olarak hesaplanmıştır. Bu ay için ortaya çıkan güç değeri seçilmiş olan kojenerasyon sisteminin maksimum çalışma yükünden az olduğu için bu ayda da sistem tam yükte çalıştırılmayacaktır. Fakat farklı yüklerde çalışmak kaydı ile saat 08:20-17:50 saatleri arasında toplam 9,3 saat çalışarak toplam elektrik tüketiminin %75'ini karşılayabilecektir.



**Şekil 4.21** 1656 kW'lık Motorla Kasım ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $10810 * 0,75 = 8107,5$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $10810 * 0,25 = 2702,5$  kWh

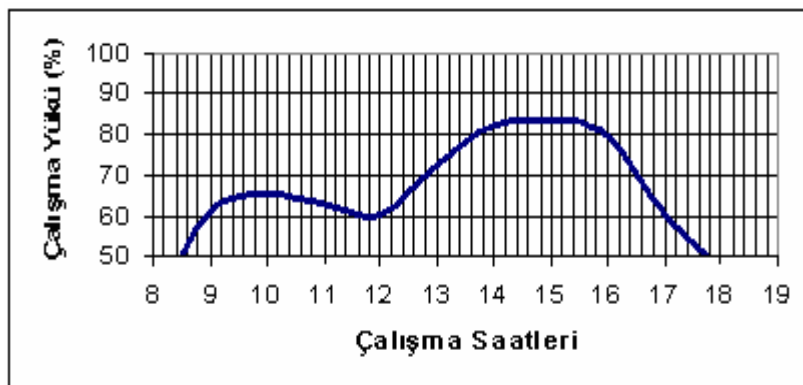
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $324305.34 * 0,75 = 243228,75$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $324305.34 * 0,25 = 81076,25$  kWh

Kasım ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.12** 1656 kW'lık motorun Kasım ayı çalışma saatleri

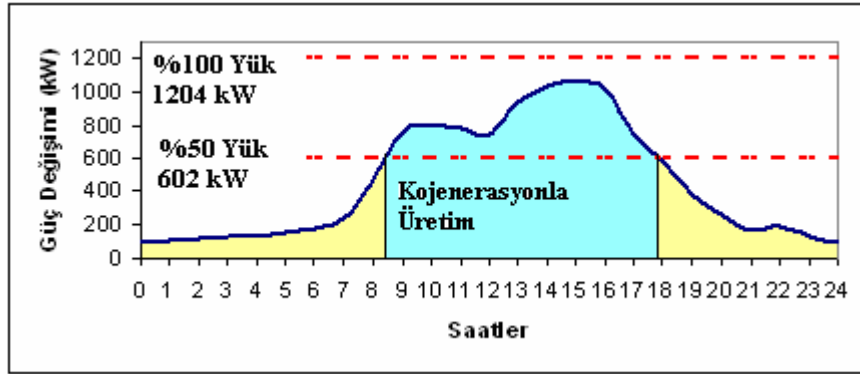
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1,3	4,2	1,5	2,3	0	0



**Şekil 4.22** 1656 kW'lık Motorun Kasım ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.12. Aralık Ayı

Aralık ayı için toplam elektrik harcaması yukarıda da verildiği gibi 345987,54 kWh olmuştur. Aylık toplam elektrik tüketimini ayın gün sayısına böldüğümüzde ortalama bir günlük elektrik tüketimi 11161 kWh olur. Bir günlük elektrik tüketiminin de yirmi dört saatlik tüketim grafiğine uyarladığımızda ise aralık ayı genelinde hastanede ihtiyaç duyulan maksimum elektrik gücünü yaklaşık 1061 kW olarak hesaplamış oluruz. Kaim ayı ile aynı saatlerde çalışarak günlük elektrik tüketim miktarının %73 'ü kojenerasyondan kalan kısmı ise şebekeden karşılanacaktır.



**Şekil 4.23** 1656 kW'lık Motorla Aralık ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $11161 * 0,73 = 8147,53$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $11161 * 0,27 = 3013,47$  kWh

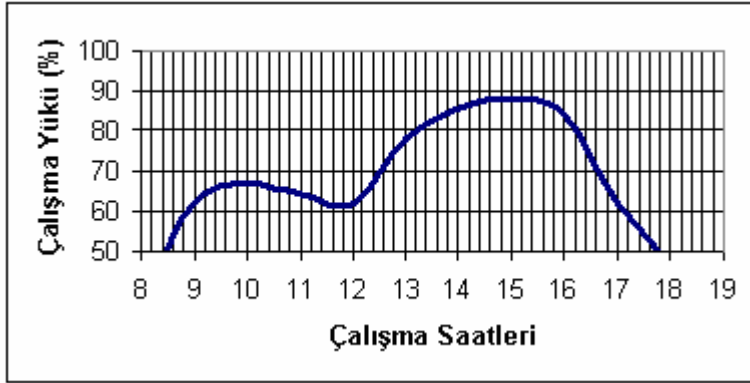
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $345987.54 * 0,73 = 252570$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $345987.54 * 0,27 = 93416,49$  kWh

Aralık ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.13** 1656 kW'lık motorun Aralık ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	1,0	4,1	1,0	3,2	0	0



Şekil 4.24 1656 kW'lık Motorun Aralık ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.1.13. Maksimum güce göre (Şubat Ayı tüketimi) sistem tayini yapılarak kojenerasyon sistem seçiminin analizi

G3516 C tipli motorun genel özellikleri EK 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu verilere dayanarak motorun teknik özellikleri iterasyon yapılarak belirlenmiş ve çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki çalışma özellikleri

Çalışma Yüğü (%)	%50	%60	%70	%80	%90	%100
Mekanik Güç (kW)	828	993,6	1159,2	1324,8	1490,4	1656
Elektriksel Güç (kW)	602	722,4	842,8	963,2	1083,6	1204
Motor Verimi (%)	38,3	39,72	39,74	40,24	40,52	40,8
Yakıt Tüketimi (MJoule/br-kWh)	9,4	9,23	9,01	8,95	8,88	8,82

Görüldüğü gibi özgül yakıt tüketimi ve motor verimi çalışma yüklerine göre değişmektedir. Bunun sonucu olarak da üretilen elektriğin birim maliyeti çalışma yüklerine göre değişmektedir. Verilen yakıt tüketimi motor milinde ki mekanik güce göre verilmiştir. Yani motor tam yükte çalışırken (1656 kW) bir kW mekanik güç başına tüketilen doğalgazın enerjik değeri 8,82 MJoule'dür.

Demek ki motor bir saatte toplam;

$$1656 \text{ kW} * 8,82 \text{ MJoule/kWh} = 14605,92 \text{ MJoule enerji harcamaktadır.}$$

İstanbul Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ,2007) web sitesinden alınan bilgiye göre doğalgazın alt ısı değeri  $40 \text{ MJoule/m}^3$ 'tür. ([www.igdas.com.tr](http://www.igdas.com.tr)) Seçilen sistemin %100 yük için bir saate harcayacağı doğalgaz miktarı;

$$14605,92 \text{ MJoule} / 40 \text{ MJoule/m}^3 = 365,148 \text{ m}^3 \text{ olmaktadır.}$$

Erzurum doğalgaz dağıtım şirketi olan Palen Doğalgaz Dağıtım Şirketinin resmi internet sayfasından 16.07.2007 tarihinde alınan veriye göre doğalgazın resmi kurumlara katma değer vergisi hariç olmak üzere satış fiyatı  $0,463328 \text{ YTL/m}^3$  tür. ([www.palen.com.tr](http://www.palen.com.tr))

$$\text{KDV dâhil fiyatı ise; } 0,463328 \text{ YTL/m}^3 * 1,18 = 0,54673 \text{ YTL/m}^3 \text{ olmaktadır.}$$

Kojenerasyon sisteminin tam yükte çalışma şartlarındaki oluşan elektrik birim maliyeti aşağıda hesaplanmıştır.

$$1656 \text{ kW güç üretebilmek için harcanan doğalgaz miktarı} = 365,148 \text{ m}^3$$

$$\text{Tüketilen doğalgazın maliyeti} = 365,148 \text{ m}^3 * 0,54673 \text{ YTL/m}^3 = 199,64 \text{ YTL}$$

$$\text{Tam yükte çalışırken elde edilebilen elektriksel güç} = 1204 \text{ kW}$$

$$\text{Elektriğin birim maliyeti} = 199,64 \text{ YTL} / 1204 \text{ kW} = 0,166 \text{ YTL/kW}$$

Bu şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda kojenerasyon sisteminin değişik yüklerde çalışmasına göre üretilen elektriğin birim maliyetleri çizelge 4.15'de sunulmuştur. Ancak kurulması düşünülen sistem sabit yüklerde değil de değişik yük aralıklarında çalışacağından hesaplamalarda iki farklı yük aralığındaki ortalama birim maliyet alınmıştır.

**Çizelge 4.15.** CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki maliyet ve yakıt tüketim çizelgesi

<b>Sistem Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>%50</b>	<b>%60</b>	<b>%70</b>	<b>%80</b>	<b>%90</b>	<b>%100</b>
<b>Elektrik Birim Maliyeti (kWh/YTL)</b>	0,177	0,174	0,169	0,168	0,167	0,166
<b>Tüketilen Doğalgaz (m3)</b>	194,6	229,32	261,2	296,36	331,02	365,15
<b>Bir Saatte Tüketilen Yakıt Maliyeti (YTL)</b>	106,38	125,38	142,8	162,03	180,98	199,64

Aşağıda tüm yıl boyunca sistemin değişik yük aralıklarındaki çalışma saatleri, bu saatlerdeki çalışma yükü değişimleri, hangi yükte kaç saat çalıştığı ve değişik yüklerde üretilen elektrik miktarlarının kojenerasyonla üretilen toplam elektrik miktarındaki oranları çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.16** CAT G3516 C Motorunun değişik yük aralıklarındaki ortalama çalışma özellikleri

<b>Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>% 50-60</b>	<b>% 60-70</b>	<b>% 70-80</b>	<b>% 80-90</b>	<b>% 90-100</b>	<b>%100</b>	<b>Toplam</b>
<b>Yıllık Toplam Çalışma Saati (saat)</b>	874,9	1023,6	574,6	429,6	72,8	0	2.975,5
<b>Üretilen Elektrik (kWh)</b>	601001	830993,6	538246,2	456076,0	86379,2	0	2.512.696
<b>Elektriğin Birim Maliyeti (YTL/kWh)</b>	0,175	0,171	0,169	0,168	0,166	156	----
<b>Elektriğin Yıllık Toplam Maliyeti (YTL/kWh)</b>	105.175	142.100	90.964	76.621	14.339	0	429.199

Görüleceği üzere sistemin yıl içindeki toplam çalışma süresi 2975 saattir. Endüstriyel tesislerde tasarlanan kojenerasyon sistemlerinin yıllık çalışma süresi 8000 saat olarak kabul edilmektedir. Hastane yıllık toplam elektrik ihtiyacının %68,35 ini yani 2.512.696 kWh ini kojenerasyondan; kalan kısmı olan 1.163.745,16 kWh’ında şebekeden karşılayacaktır.

Bu durumda elektrik ihtiyacı için yapılması gereken toplam harcama aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Hastanenin toplam elektrik ihtiyacı = 3.676.441,16 kWh

Kojenerasyondan karşılanacak elektrik miktarı = 2.512.696 kWh

Kojenerasyondan karşılanan kısmın maliyeti = 429.199 YTL (sadece üretim maliyeti)

Şebekeden alınacak elektrik miktarı = 3676441 – 2512696 = 1.163.745,16 kWh

Şebekeden karşılanacak kısmın maliyeti:

$1.163.745,16 \text{ kWh} * (0,1195 * 1,18) \text{ YTL /kWh} = 164.099,705 \text{ YTL}$

Hastanenin kojenerasyonlu hali ile toplam elektrik harcaması:

$429.199 \text{ YTL} + 164.099,71 \text{ YTL} = 593.298 \text{ YTL}$

Hastanenin kojenerasyonsuz hali ile toplam elektrik harcaması = 518.378 YTL

Kojenerasyonla beraber yıllık fazladan ödenecek elektrik maliyeti:

$593.298 - 518.378 = 74.920 \text{ YTL}$

Kojenerasyon sisteminin bu şartlarda çalışması (atık ısıdan faydalanılmadan) halinde hastane elektrik enerjisine fazladan 74.920 YTL ödeme yapacaktır. Ancak kojenerasyon sistemlerinin ısıtma yükü ve maliyetindeki etkileri de hesaplanmalıdır.

Alınan sonuçlara göre; kojenerasyon sisteminin buhar kazanının çalışma saatlerinde çalışma süresi toplam 2975 saat buhar kazanının tek başına çalışma süresi ise yaklaşık 1404 saat olmaktadır.

Hastanede mevcut bulunan buhar kazanı 4070 kW güce sahiptir ancak kazan alınırken ısıtma amaçlı da kullanılabileceği düşünülerek büyük kapasitede bir kazan seçildiği düşünülmektedir. Kazan yıl içinde hiçbir zaman tam yükte çalışmamaktadır. Kojenerasyon sisteminde elde edilebilecek ısı motorun egzoz gazları ve soğutma suyunun ihtiva ettiği enerjiden faydalanılarak elde edilecektir. Motorun soğutma suyunun ve egzoz gazlarının termodinamik özellikleri çalışma yüküne göre değişmektedir. Bu durumda motordan elde edilecek ısı enerjisinin de değişik yük aralıklarına göre belirlenmesi gerekir.

Çalışma yüklerine göre oluşacak egzoz gazlarının genel özellikleri ve motorun teknik katalogundan alınan veriler dönüştürülerek çizelge 4.17 oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.17** CAT G3516 C Motorunun değişik yüklerdeki egzoz gazı özellikleri

Çalışma Yüğü (%)	%50	%60	%70	%80	%90	%100
Gaz Çıkış Sıcaklığı (C°)	520	510,4	500,8	492,2	484,6	477
Hacimsel Gaz Akışı (Nm <sup>3</sup> /br-kWh)	4,61	4,562	4,514	4,478	4,454	4,43
Anlık Kütlesel Gaz akışı (kg/br-kWh)	5,82	5,756	5,692	5,646	5,618	5,59
Saatlik Kütlesel Gaz akışı (kg/h)	4818,9	5723,1	6598,2	7479,8	8373,1	9257,0
Egzoz Gazı Debisi (Kg/sn)	1,34	1,59	1,83	2,08	2,33	2,57

Değişik yüklerde egzoz gazlarından alınabilecek ısı enerjilerinin miktarları aşağıda hesaplanmıştır.

%50 Yükleme:

egzoz gazlarının Cp si = 1,08 kJ/kgK

$$Q_{\%50} = 1,34 * 1,08 * (520-130) = 564,41 \text{ kW}$$

%100 Yükleme:

$$Q_{\%100} = 2,57 * 1,08 * (477-130) = 963,1 \text{ kW}$$

**Çizelge 4.18** CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yüklerine göre egzoz gazlarından attığı ısı

Çalışma Yüğü (%)	%50	%60	%70	%80	%90	%100
Egzozdan Elde Edilen Isı (kW)	564,4	653,2	732,8	813,6	892,3	963,1

Kojenerasyon sistemi değişik yükleme aralıklarında çalışacağı için bu aralıklarda çalışması durumunda egzoz gazlarından elde edebilecek ısı enerjisi aşağıdaki çizelge 4.19’da verilmiştir.

**Çizelge 4.19** CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında egzoz gazlarından attığı ortalama ısı enerjisi

<b>Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>% 50-60</b>	<b>% 60-70</b>	<b>% 70-80</b>	<b>% 80-90</b>	<b>% 90-100</b>	<b>%100</b>
<b>Elde Edilen Isı (kW)</b>	608,82	693,04	773,25	852,98	927,72	963,13
<b>Yıllık Çalışma Süresi (saat)</b>	874,9	1023,6	574,6	429,6	72,8	0
<b>Elde Edilecek Toplam Isı (kWh)</b>	532652,6	709391,7	444308,1	366440,5	67538,3	0,00
<b>Kojenerasyon Sisteminden Bir Yılda Elde Edilecek Toplam Isı (%80 verimle iletildiğı kabulü ile)</b>					1696265 kWh	

Egzoz gazlarının yanı sıra hastanede ihtiyaç duyulan sıcak su eldesi için motorun gövde soğutucu suyundan faydalanılabilmektedir. Seçilen motorun katalogundan elde edilen verilere göre gövde soğutucu suyunun maksimum sıcaklığı 99 C°’dir ve sıcaklığı kullanılacak ısı eşanjörlerinde 80 C°’ye kadar düşürülebilmektedir.

Seçilen sistemin motor soğutma suyundan değişik yüklere göre elde edilebilecek ısı miktarları çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.20** CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yüklerinde soğutma suyunun enerjisi

<b>Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>%50</b>	<b>%60</b>	<b>%70</b>	<b>%80</b>	<b>%90</b>	<b>%100</b>
<b>Soğutma Suyundan Elde Edilen Isı (kW)</b>	320	345,6	371,2	396,2	420,6	445

**Çizelge 4.21** CAT G3516 C Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında soğutma suyunun enerjisi

Çalışma Yüğü (%)	% 50-60	% 60-70	% 70-80	% 80-90	% 90-100	%100
Elde Edilen Isı (kW)	333	358	383	408	432,8	445
Yıllık Çalışma Süresi (saat)	874,9	1023,6	574,6	429,6	72,8	0
Elde Edilecek Toplam Isı (kWh)	391342	366449	220072	175277	31508	----
Kojenerasyon Sistemi-Soğutma suyundan Bir Yılda Elde Edilecek Toplam Isı					1.184.648 kWh	

Kojenerasyon sisteminden bir yıl boyunca toplamda elde edilecek ısı enerjisi:

$$1.696.265 \text{ kWh} + 1.184.648 \text{ kWh} = 2.880.913 \text{ kWh}$$

Kojenerasyonla elde edilen ısı enerjisinin karşılığı olan doğalgaz miktarı:

$$2.880.913 \text{ kWh} / 9,59 \text{ kW} / \text{m}^3 = 300.408 \text{ m}^3$$

Kojenerasyonla gelen yıllık yakıt tasarrufu:

$$300.408 \text{ m}^3 * 0,547 = 164.323 \text{ YTL.}$$

Bu halde 1656 kW'lık kojenerasyon motorunun seçilmesi durumunda elektrik üretimi bakımından yılda fazladan 74.920 YTL'lik bir ek maliyet gelirken; ısı üretimi ve geri kazanım bakımından 164.323 YTL'lik bir tasarruf gelmektedir. Sonuç olarak kojenerasyon sisteminin yıllık toplam net karı:

$164.323 - 74.920 = 89.403 \text{ YTL}$  olmaktadır. Bu şartlarda sistemin geri ödeme süresi şöyle hesaplanabilir.

$$G_j = \text{Yıllık net kazanç} = 89.403 \text{ YTL} / \text{Yıl}$$

$$G_Y = \text{İlk yatırım maliyeti} = 1.150.000 \text{ YTL (Borusan güç sistemleri)}$$

$$f = \text{Yıllık faiz oranı} = 0,09 \text{ (CAT finans)}$$

$$t_g = \text{Geri ödeme süresi (yıl)}$$

$$tg = \frac{\ln \left[ \frac{89.403}{89.403 - 1.150.000 * 0,09} \right]}{\ln(1 + 0,09)} = \text{Sonuç yok}$$

Yapılan hesaplamada sonuç alınamamıştır çünkü formülden de anlaşılacağı gibi yıllık net kar miktarı toplam yatırım maliyetinin yıllık faiz ile artışından daha azdır. Yani toplam yatırım maliyeti olan 1.150.000 YTL'nin yıllık net faizi;

$1.150.000 * 0,09 = 103.500$  YTL'ye tekabül etmektedir. Hâlbuki sistemin yıllık net karı bu miktarın altında kalmaktadır. Bu da bu sistemin kurulumunun mantıklı olmayacağı anlamına gelmektedir. Statik bir geri ödeme süresi hesabı kullansaydık sonuç aşağıdaki gibi çıkacaktı:

$$1.150.000 / 89.403 = 12,8 \text{ yıl}$$

Bu durumda da geri ödeme süresi mantıklı sınırlar içinde olmamaktadır.

Burada kojenerasyon sistemini başlı başına bir sistem olarak düşünüp hastanenin toplamdaki ısı harcamalarını ve kojenerasyonun haricinde şebekeden alacağı elektrik miktarını dikkate almadan birim maliyetler açısından bir değerlendirme yapılabilir. Kojenerasyon sistemi yılda toplam 2975 saat çalışarak 2.512.696 kWh elektrik üretmek için 429.199 YTL harcama yapacak, ancak ısı enerjisinin değerlendirilmesi sonucu bu maliyetin 164.323 YTL'lik kısmı geri kazanılacaktır. Aynı miktardaki elektriği şebekeden alacak olsaydık (2.512.696 kWh) 354.290 YTL maliyeti olacaktı. Isıl geri kazanımın da hesaba dâhil edilmesi sonucunda kojenerasyonla üretilen toplam elektrik miktarı için

$429199 - 164323 = 264.876$  YTL harcanmış olur. Kojenerasyon sisteminin tek başına ürettiği elektriğin birim maliyeti:

$$264.876 / 2.512.696 = 105 \text{ YTL / kWh olur.}$$

Ancak bu hesaplamada sistemin yıllık net karı düşünülmemiştir. Sistem elektrik üretimi bakımından yılda 74.920 YTL ek maliyet getirirken; ısı enerjisi üretimi bakımından yılda 164.323 YTL tasarruf sağlamakta ve bu miktarı kar olarak üretmektedir.

Yıllık kojenerasyonla beraber (şebekeden alınan + kojenerasyonla üretilen) toplamda kullanılacak olan elektriğin birim maliyetini de düşünmek gerekir. Hastane kojenerasyon sistemi ile beraber yılda toplam;

$429.199 + 164.088 = 593.287$  YTL elektrik harcaması yapacak; ancak atıl ısı enerjisinin değerlendirilmesi ile beraber 164.323 YTL geri kazanım yapacaktır. Bu durumda toplamda kullanılan elektriğin birim maliyeti:

$$(593.287 - 164.323) / 3.676.441 = 0,117 \text{ YTL/kWh olur.}$$

#### **4.2. Yılın En Düşük Elektrik Tüketiminin Olduğu Aya (Temmuz) Göre Sistem Gücü Belirleyerek**

Bir önceki bölümde yılın en fazla elektrik harcaması olan ayın (Şubat) verileri temel alınmak sureti ile tesisin ihtiyaç duyduğu elektrik gücü hesaplanarak uygun kojenerasyon sistemi seçilmiştir.

Temmuz ayında harcanan toplam elektrik miktarına bağlı olarak yapılan hesaplamada bir günlük ortalama elektrik harcaması:

$$239649,75 / 31 = 7731 \text{ kWh olarak bulunur.}$$

Bir günlük toplam tüketim, miktarı belirlenen elektrik tüketim eğrisine uyarlandığında maksimum güç 722 kW olarak bulunur. Bu gücün biraz üstündeki kapasitelerde motor seçmemiz gerekmektedir. Bu şartlar için seçilen motorun elektriksel kapasitesi ve genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Jeneratör ve diğer kayıpları da göz önüne almak sureti 1010 kW mekanik güce sahip CAT G3516 LE modelin seçilebilir. Seçilen motorun genel olarak teknik özellikleri çizelge 4.22’de; tamamı ise ayrıntılı olarak EK 4’de verilmiştir.

Seçilen motorun mekanik gücü 1010 kW tır. Motorda üretilen mekanik güç jeneratöre %96 verimle jeneratöre iletilebilmektedir. Bu durumda jeneratörün elektriksel gücü:

$$1010 * 0,96 = 959 \text{ kW}$$

Bununla beraber motorların yanma verimi ve aftercooler verimi rakımlara göre değişmektedir. Rakım farklarının motor verimine etkisi EK 4’de verilen motor katalogunda ayrıntılı olarak çizelge halinde sunulmuştur. Bu katsayı yaklaşık olarak 1900 rakım için 40 °C’de 0,78 olarak tespit edilmiştir.

Bu durumda seçtiğimiz motorun Erzurum şartlarında aynı yakıt tüketimine karşılık çalışabileceği ve karşılayabileceği maksimum elektriksel güç:

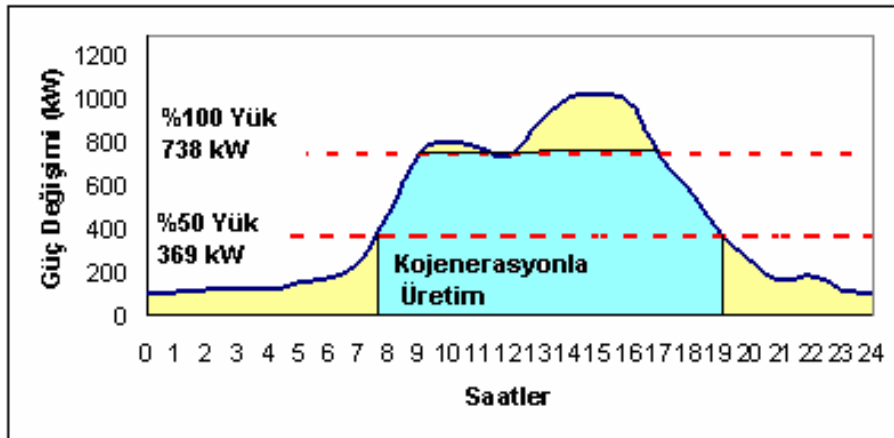
$$959 * 0,78 = 738 \text{ kW olarak bulunur.}$$

**Çizelge 4.22** CAT G3516 LE Motorunun genel özellikleri

<b>CAT G3516 LE</b>	
Mekanik Güç (kW)	1010
Elektrik Üretimi (kW)	959
Enerji Girdisi (kW)	2801
Isı Enerjisi (kW)	1322
Elektrik Üretim Verimi (%)	36,1
Isı Üretim Verimi (%)	47,2
Toplam Çevrim Verimi (%)	83,3

#### 4.2.1. Ocak Ayı

Ocak ayı için hesaplanan güç değeri 1027 kW olup seçilmiş olan motor kapasitesinden büyüktür. Kojenerasyonun bu verilere göre değerlendirildiği zaman ay boyunca en verimli çalışma şartları olan %100 yüklemde yaklaşık 7 saat çalışacaktır.



**Şekil 4.25** 1010 kW’lık Motorla Ocak ayı elektrik üretim dağılımı

Ocak ayı için seçilen sistemin çalışacağı toplam süreyi hangi yüklerde geçireceği aşağıdaki grafikte verilmiştir. Kojenerasyon bu çalışma şartlarında %100 yüklenmeyi sağlamaktadır. Sistem 1010 kW’lık motorlarla çalıştırıldığı zaman gün içinde sabah saat 07:35 ile akşam 19:00 arasında toplam 11,3 saat çalışabilmektedir. Bir gün için gerekli elektrik enerjisi miktarının %73’ünü kojenerasyonla karşılamak mümkündür. Bu durumda:

Günlük kojenerasyonla karşılanacak elektrik:  $11000 * 0,73 = 8030 \text{ kWh}$

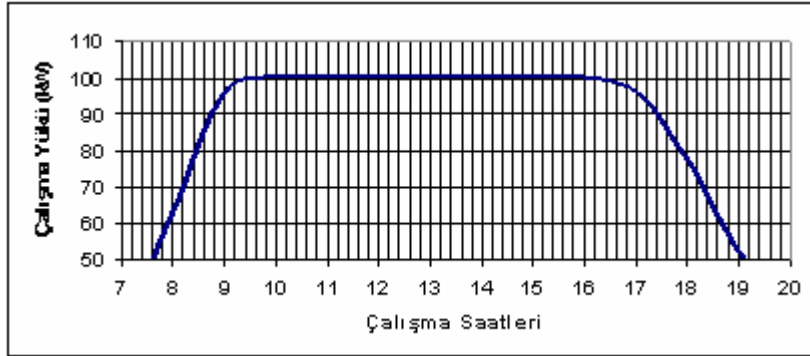
Günlük şebekeden karşılanacak elektrik:  $11000 * 0,27 = 2970 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanacak elektrik:  $340998,76 * 0,76 = 248928,54 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanacak elektrik:  $340998,76 * 0,27 = 92069,46 \text{ kWh}$

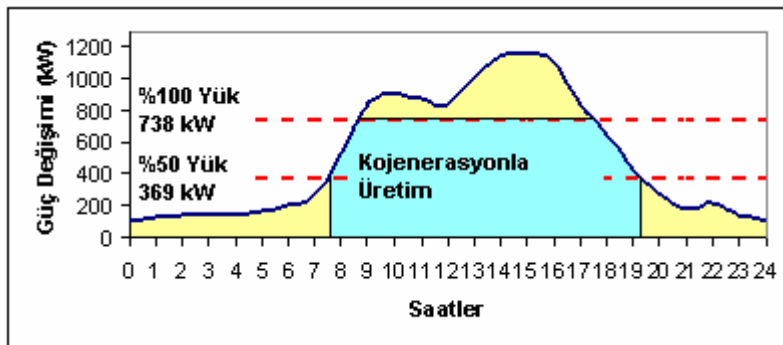
**Çizelge 4.23** 1010 kW'lık motorun Ocak ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,6	0,7	0,7	1,1	1,2	7

**Şekil 4.26** 1010 kW'lık Motorun Ocak ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.2. Şubat Ayı

Şubat ayı hastanenin yıl boyunca en fazla elektrik harcaması yaptığı aydır. Grafikten görüldüğü gibi şubat ayında kojenerasyon sabah saat 07.20 ile akşam saat 19.20 arasında çalışabilecektir. Kojenerasyon şubat ayında %100 yükte 7,6 saat toplamda ise 12 saat çalışabilecektir. Şubat ayında toplam elektrik ihtiyacının %66'sı kojenerasyondan %34'ü ise şebekeden karşılanabilecektir. Sistemin %100 yüklerde çalışabilme süresi ise toplam çalışma süresi içinde daha fazla oranda olacaktır.

**Şekil 4.27** 1010 kW'lık Motorla Şubat ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $12420 * 0,66 = 8197,2 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $12420 * 0,34 = 4222,8 \text{ kWh}$

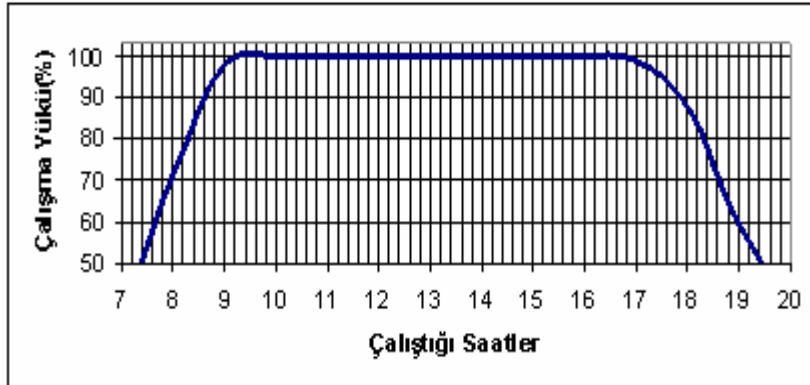
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $347760 * 0,66 = 229521,6 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $347760 * 0,34 = 118238,4 \text{ kWh}$

Şubat ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.24** 1010 kW'lık motorun Şubat ayı çalışma saatleri

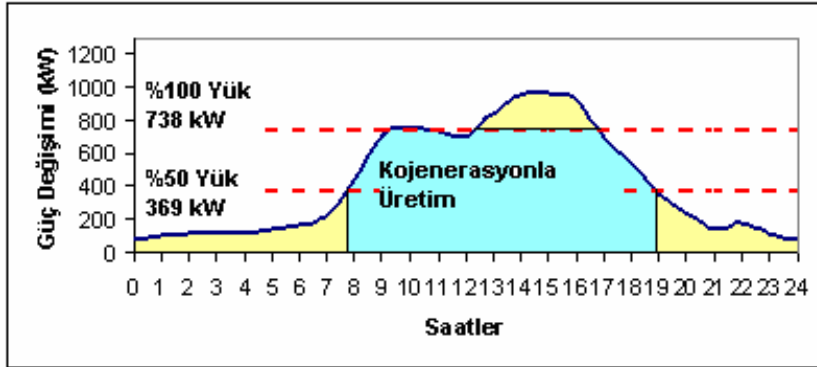
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,8	0,6	0,7	0,7	1,6	7,6



**Şekil 4.28** 1010 kW'lık Motorun Şubat ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.3. Mart Ayı

Mart ayının hesaplanan güç değeri 974 kW ve aylık tüketimi ise 323230,5 kWh'tir. Bu şartlarda 738 kW gücündeki kojenerasyondan mart ayında yararlanılabilme oranları aşağıdaki gibidir. Mart ayında kojenerasyon günün sabah 07:50 ve akşam 19:00 saatleri arasında faal olacaktır. 11,1 saatlik bu süre zarfında çoğu %100 yük olmak üzere değişik yüklerde çalışacak. Bir gün için ihtiyaç duyulan elektrik ihtiyacının %72'si kojenerasyondan kalan kısmı ise şebekeden karşılanacaktır.



**Şekil 4.29** 1010 kW'lık Motorla Mart ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $10427 * 0,72 = 7507,44 \text{ kWh}$

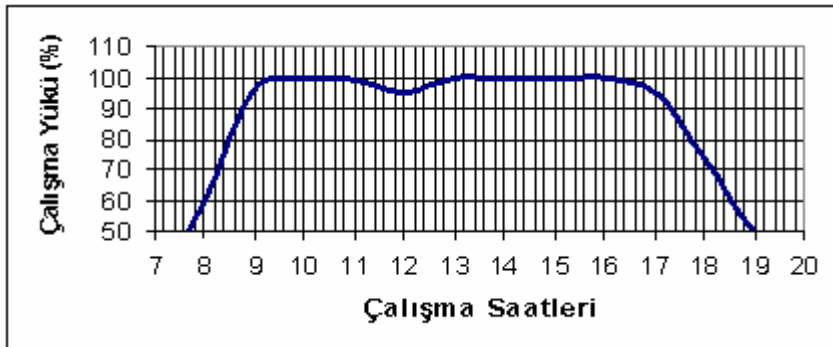
Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $10427 * 0,28 = 2919,56 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $323230,5 * 0,72 = 232725,6 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $323230,5 * 0,28 = 90504,4 \text{ kWh}$

**Çizelge 4.25** 1010 kW'lık motorun Mart ayı çalışma saatleri

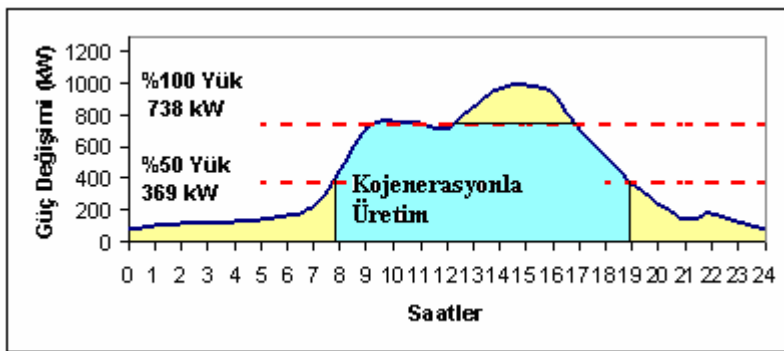
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,8	0,5	0,6	0,7	3,1	5,4



**Şekil 4.30** 1010 kW'lık Motorun Mart ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.4. Nisan Ayı

Nisan ayı'nda toplam elektrik harcaması 317 382.76 kWh, günlük harcama 10579 kWh ve maksimum güç ise 989 kW'tır. Kojenerasyon nisan ayının günlerinde sabah saat 08.40 – 20:00 saatleri arasında toplam 11,2 saat çalışacaktır. Toplam elektrik tüketiminin %75'i kojenerasyonla karşılanacaktır.



Şekil 4.31 1010 kW'lık Motorla Nisan ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $10579 * 0,75 = 7934,25$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $10579 * 0,25 = 2644,75$  kWh

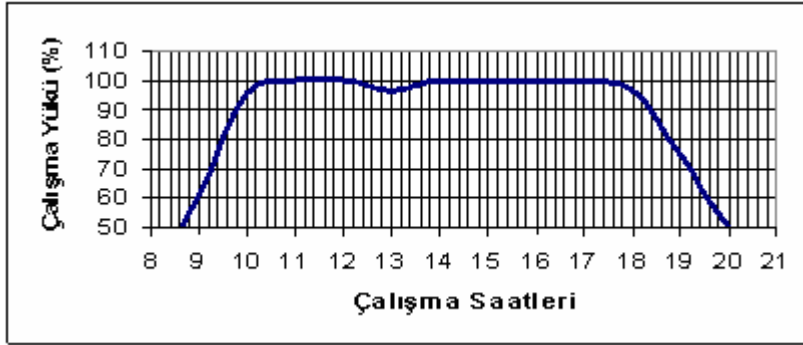
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $317382,76 * 0,75 = 238036$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $317382,76 * 0,25 = 79345,5$  kWh

Nisan ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir

Çizelge 4.26 1010 kW'lık motorun Nisan ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi	0,6	0,7	0,7	0,6	2,6	6

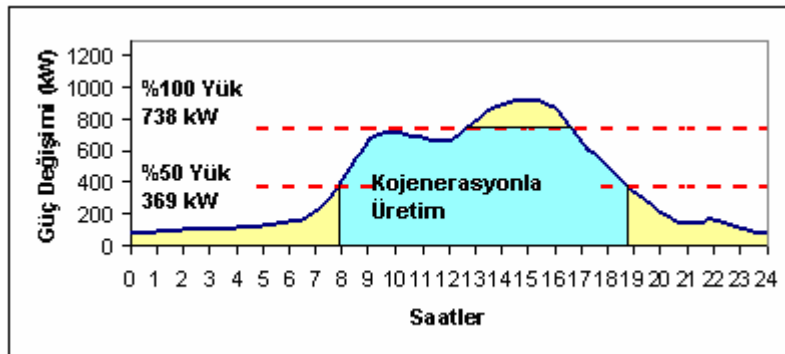


Şekil 4.32 1010 kW'lık Motorun Nisan ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.5. Mayıs Ayı

Mayıs ayı toplam elektrik harcaması 303203.25 kWh ve günlük harcama ise 9781 kWh'tir. Elektrik gücü ise 922 kW olmaktadır. Toplam Tüketimin %78'i kojenerasyonla kalan kısmı ise şebekeden karşılanacaktır. Kojenerasyon Mayıs ayının günlerinde 07:50-18:50 saatleri arasında toplam 11 saat çalışacaktır.

Bu şartlar için elektrik dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.33 1010 kW'lık Motorla Mayıs ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $9781 * 0,78 = 7629,18$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $9781 * 0,22 = 2151,8$  kWh

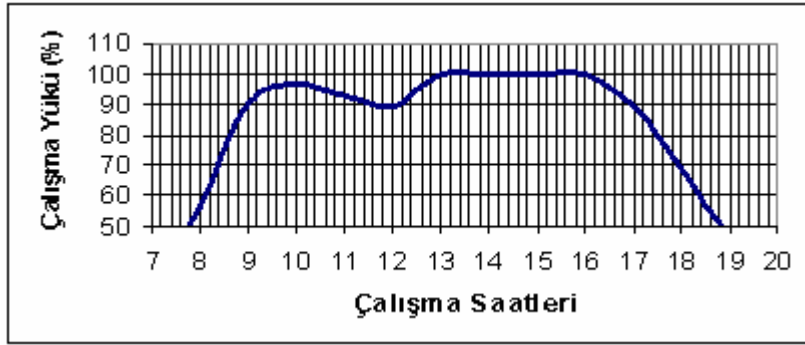
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $303203 * 0,78 = 236498,34$  kWh

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $303203 * 0,22 = 66704,66$  kWh

Mayıs ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.27** 1010 kW'lık motorun Mayıs ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,7	0,6	0,8	1,6	4	3,3



**Şekil 4.34** 1010 kW'lık Motorun Mayıs ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.6. Haziran Ayı

Haziran ayı 2006 yılı elektrik faturasına göre toplam elektrik harcaması 322630,5 kWh ve ortalama günlük tüketim ise 10754 kWh'tir. Haziran ayı elektrik gücü ise 1005 kW olmaktadır. Toplam elektrik tüketiminin %74'ü kojenerasyonla karşılanıp kalan kısmı ise şebekeden temin edilecektir. Kojenerasyon haziran ayının günlerinde 07:50-19:30 saatleri arasında toplam 11,5 saat çalışacaktır

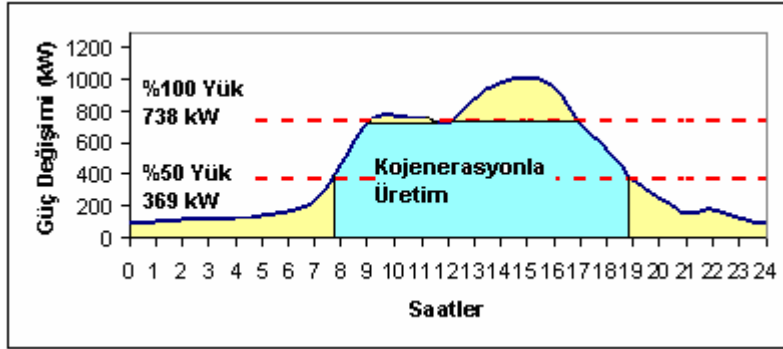
Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $10754 * 0,74 = 7957,96 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $10754 * 0,26 = 2796,04 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $322630,5 * 0,74 = 238746,2 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $322630,5 * 0,26 = 83883,8 \text{ kWh}$

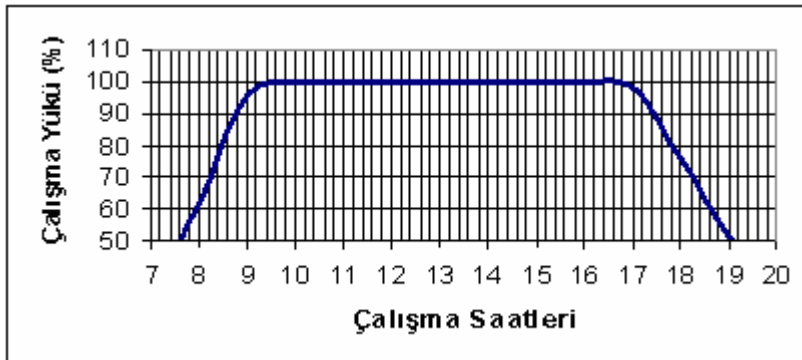
Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.35 1010 kW'lık Motorla Haziran ayı elektrik üretim dağılımı

Çizelge 4.28 1010 kW'lık motorun Haziran ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,8	0,7	0,6	0,6	1	7,8



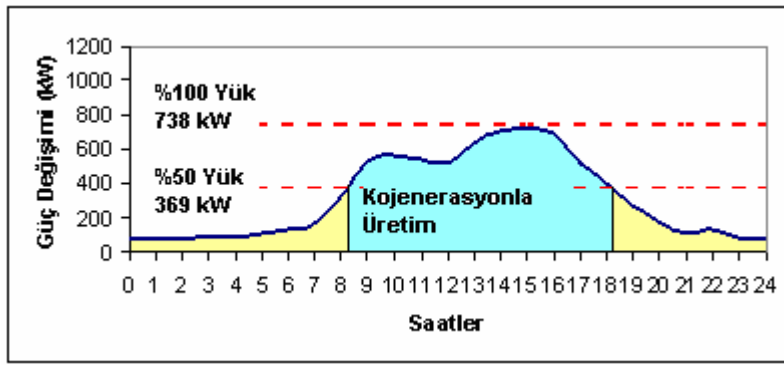
Şekil 4.36 1010 kW'lık Motorun Haziran ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.7. Temmuz Ayı

Temmuz ayı 2006 yılı elektrik faturasına göre toplam elektrik harcaması 239649.75kWh ve ortalama günlük tüketim ise 7731 kWh'tir. Temmuz ayı elektrik gücü ise 722 kW olmaktadır. Toplam elektrik tüketiminin %75'i kojenerasyonla karşılanıp kalan kısmı ise şebekeden temin edilecektir.

Sistem saat 08:10 ile 18:10 saatleri arasında toplam 12 saat ve genelde yüksek yüklemelerde çalışacaktır. Dolayısıyla hem toplam tüketimde kojenerasyondan faydalanma oranı çok hem de faydalanılan bölümdeki elektriğin birim maliyeti daha azdır.

Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 4.37** 1010 kW'lık Motorla Temmuz ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $7731 * 0,75 = 5798,25 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $7731 * 0,25 = 1932,75 \text{ kWh}$

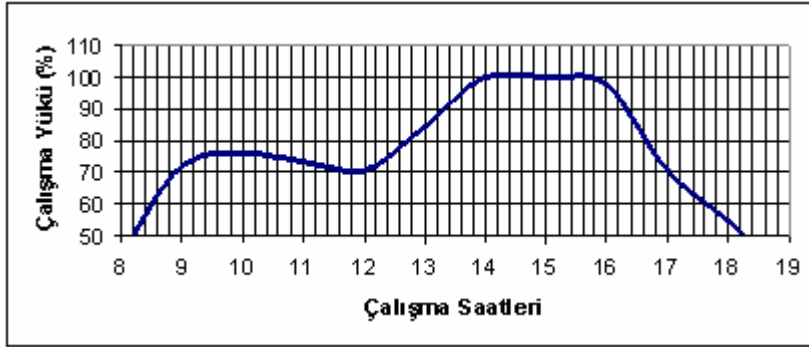
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $239649 * 0,75 = 179936,75 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $239649 * 0,25 = 59912,25 \text{ kWh}$

Temmuz ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.29** 1010 kW'lık motorun Temmuz ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,9	1	3,2	1	1,1	2,8



**Şekil 4.38** 1010 kW'lık Motorun Temmuz ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.8. Ağustos Ayı

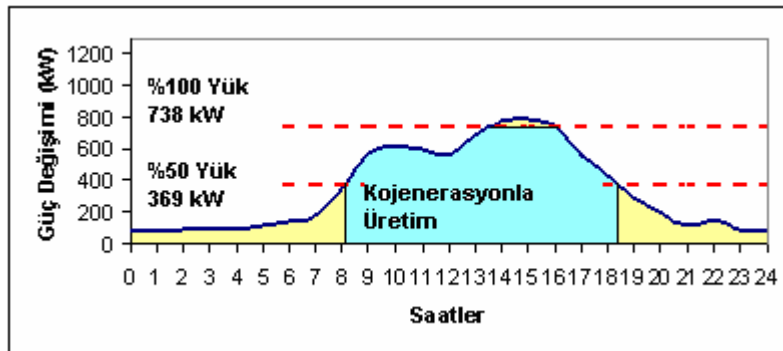
Ağustos ayı toplam elektrik tüketimi 261803,26 kWh ve günlük tüketim ise 8445 kWh olmaktadır. Maksimum güç ise 789 kWh olmaktadır. Toplam elektrik tüketiminin %78'i kojenerasyonla karşılanıp kalan kısmı ise şebekeden temin edilecektir. Sistem saat 08:00 ile 18:30 saatleri arasında ve çok genelde yüksek yüklemelerde çalışacaktır.

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $8445 * 0,78 = 6587,1$  kWh

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $8445 * 0,22 = 1857,9$  kWh

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $261803,26 * 0,78 = 204206$  kWh

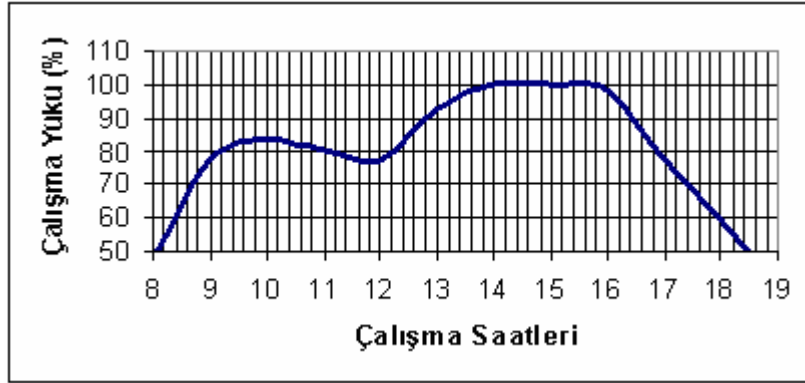
Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $261803,26 * 0,22 = 57596,6$  kWh



**Şekil 4.39** 1010 kW'lık Motorla Ağustos ayı elektrik üretim dağılımı

**Çizelge 4.30** 1010 kW’lık motorun Ağustos ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,7	0,9	1,9	3	1,6	2,4

**Şekil 4.40** 1010 kW’lık Motorun Ağustos ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.9. Eylül Ayı

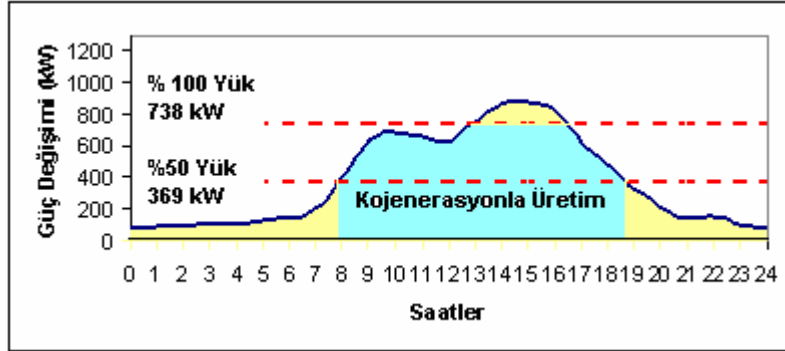
Eylül ayı toplam elektrik tüketimi 281675.25 kWh ve bir günlük tüketimi ise 9389 kWh’tir. Bu şartlarda eylül ayı için elektrik gücü 877 kW olup seçilmiş olan kojenerasyon sisteminin maksimum gücünden düşüktür. Eylül ayında elektrik ihtiyacının %79’u kojenerasyonla kalan %21’lik kısmı ise şebekeden karşılanacaktır. Sistem saat 07:50 – 18:40 saatleri arasında toplam 10,7 saat ve değişik yüklerde çalışacaktır.

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $9389 * 0,79 = 7417,3 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $9389 * 0,21 = 1971,7 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $281675,25 * 0,79 = 222523 \text{ kWh}$

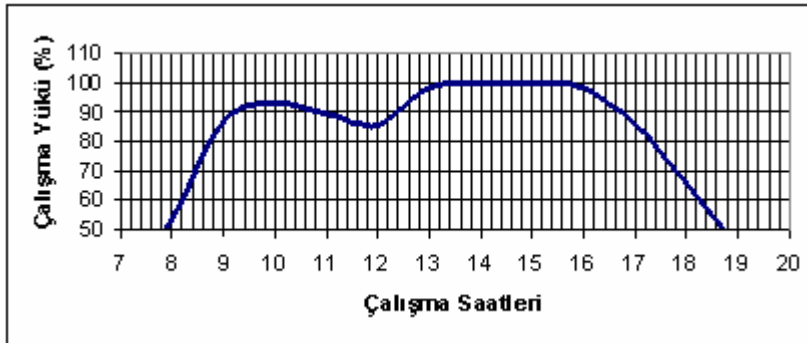
Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $281675,25 * 0,21 = 59151,7 \text{ kWh}$



Şekil 4.41 1010 kW'lık Motorla Eylül ayı elektrik üretim dağılımı

Çizelge 4.31 1010 kW'lık motorun Eylül ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,8	0,7	0,7	2,4	3,1	3

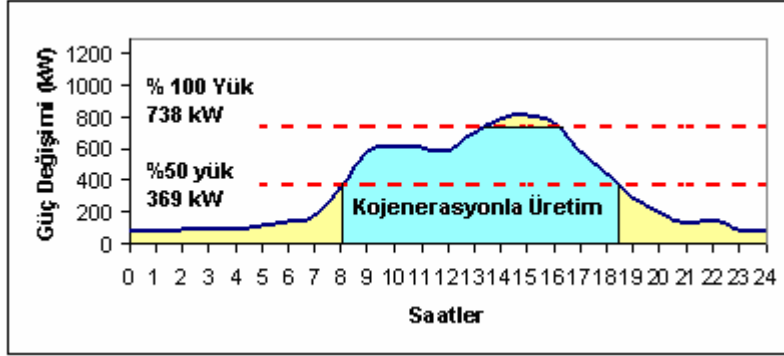


Şekil 4.42 1010 kW'lık Motorun Eylül ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.10. Ekim Ayı

Bu ayda ısıtma ihtiyacının alan ısıtılması gereksiniminden dolayı elektrik enerjisi ihtiyacının da artması gündeme gelmektedir. Ekim ayında tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarı 2006 yılı faturasına göre bakıldığında 267814.25 kWh ve bu tüketime göre hesaplanan günlük elektrik tüketimi ise 8639 kWh olmaktadır. Bu verilere göre hesaplanan güç değeri ise 807 kW olmaktadır. Toplam elektrik tüketiminin %79'u kojenerasyondan

karşılanabilecektir. Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 4.43** 1010 kW'lık Motorla Ekim ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $8639 * 0,79 = 6824,8 \text{ kWh}$

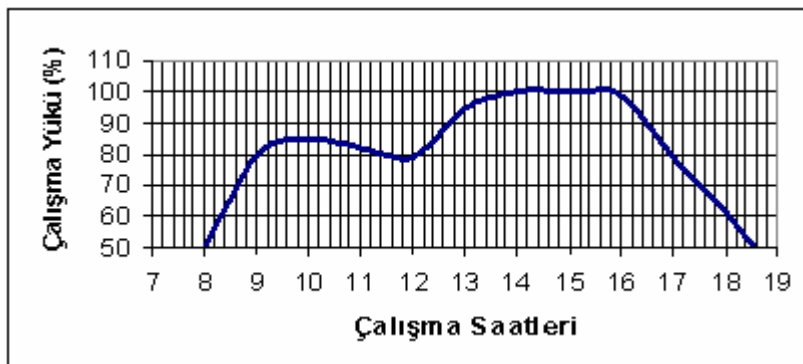
Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $8639 * 0,21 = 1814,2 \text{ kWh}$

Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $267814,25 * 0,79 = 211573 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $267814,25 * 0,21 = 56240,9 \text{ kWh}$

**Çizelge 4.32** 1010 kW'lık motorun Ekim ayı çalışma saatleri

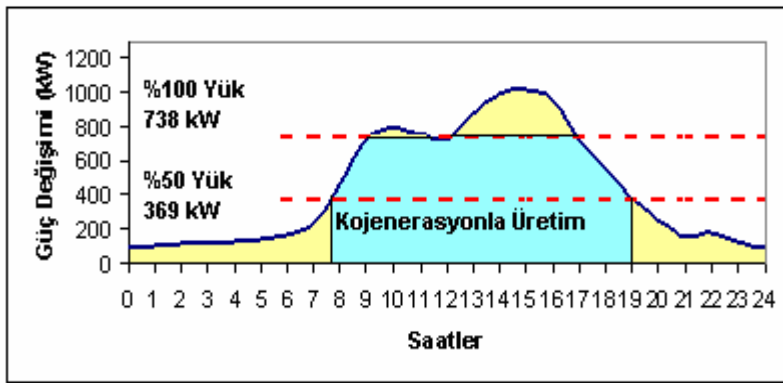
Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,8	0,9	1,8	3,4	1,2	2,4



**Şekil 4.44** 1010 kW'lık Motorun Ekim ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.11. Kasım Ayı

Kasım ayı toplam elektrik tüketimi 324305,34 kWh ve günlük tüketim 10810 kWh'tir. Bu ay için hesaplanan güç değeri ise 1010 kW olmaktadır. Değişik yüklerde çalışmak üzere kasım ayı elektrik ihtiyacının %74'ü kojenerasyondan karşılanacaktır. Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



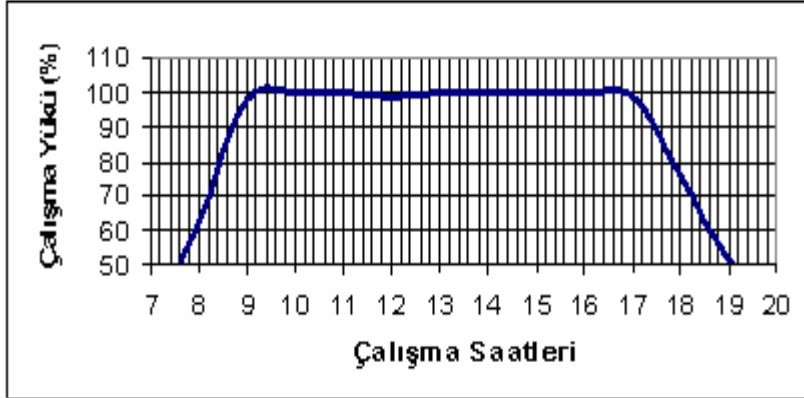
**Şekil 4.45** 1010 kW'lık Motorla Kasım ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $10810 * 0,74 = 7999 \text{ kWh}$   
 Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $324305,34 * 0,74 = 239985 \text{ kWh}$   
 Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik  $10810 * 0,26 = 2811 \text{ kWh}$   
 Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $324305,34 * 0,26 = 84319 \text{ kWh}$

Kasım ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.33** 1010 kW'lık motorun Kasım ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,6	0,6	0,8	0,6	1	7,6

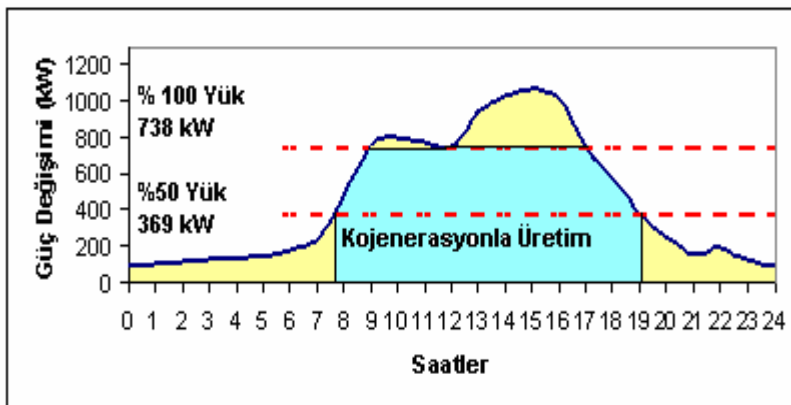


Şekil 4.46 1010 kW'lık Motorun Kasım ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.12. Aralık Ayı

Aralık ayı için toplam elektrik harcaması 345987,54 kWh'tir. Bu şartlara göre bir günlük harcama aylık harcamanın otuz bire bölünmesi sonucu 11161 kWh olarak elde edilir. Aralık ayı için hesaplanan güç değeri 1061 kW'tır. Toplam elektrik ihtiyacının %72'si kojenerasyondan karşılanacaktır.

Bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 4.47 1010 kW'lık Motorla Aralık ayı elektrik üretim dağılımı

Günlük kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $11161 * 0,72 = 8035,9 \text{ kWh}$

Günlük şebekeden karşılanabilen elektrik:  $11161 * 0,28 = 3125,08 \text{ kWh}$

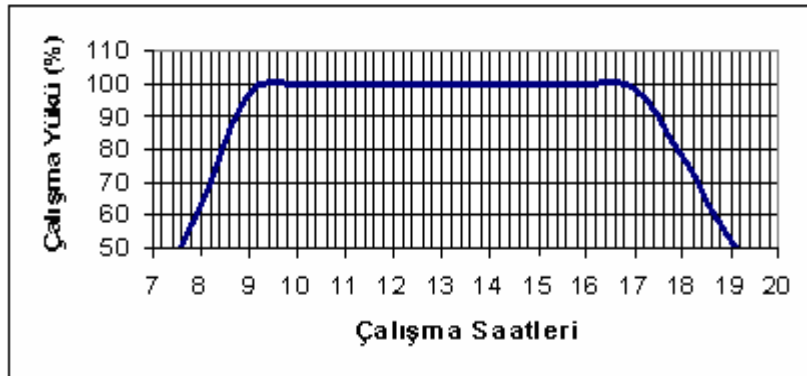
Aylık kojenerasyonla karşılanabilen elektrik:  $345987,54 * 0,72 = 249110,6 \text{ kWh}$

Aylık şebekeden karşılanabilen elektrik:  $345987,54 * 0,28 = 96876,4 \text{ kWh}$

Kasım ayında kojenerasyonun değişik yüklerde çalışma saatleri aşağıda verilmiştir:

**Çizelge 4.34** 1010 kW'lık motorun Aralık ayı çalışma saatleri

Çalışma Yüğü (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100
Çalışma Süresi (saat)	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	8



**Şekil 4.48** 1010 kW'lık Motorun Aralık ayı çalışma yükü dağılımı

#### 4.2.13. Minimum Güce Göre (Temmuz Ayı tüketimi) sistem tayini yapılarak kojenerasyon sistem seçiminin analizi

G3516LE tipli motorun genel özellikleri EK 4'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu verilere dayanarak motorun teknik özellikleri iterasyon yapılarak belirlenmiş ve çizelge 4.35'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.35** CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki çalışma özellikleri

<b>Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>%50</b>	<b>%60</b>	<b>%70</b>	<b>%80</b>	<b>%90</b>	<b>%100</b>
<b>Mekanik Güç (kW)</b>	505	606	707	808	909	1010
<b>Elektriksel Güç (kW)</b>	369	442,8	516,6	590,4	664,2	738
<b>Motor Verimi (%)</b>	33,1	33,86	34,62	35,22	35,66	36,1
<b>Yakıt Tüketimi (Mjoule/br-kWh)</b>	10,89	10,654	10,418	10,238	10,114	9,99

Bu şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda kojenerasyon sisteminin değişik yüklerde çalışmasına göre üretilen elektriğin birim maliyetleri çizelge halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.36** CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki maliyet ve yakıt tüketim çizelgesi

<b>Çalışma Yüğü (%)</b>	<b>%50</b>	<b>%60</b>	<b>%70</b>	<b>%80</b>	<b>%90</b>	<b>%100</b>
<b>Birim Maliyet (kW/YTL)</b>	0,204	0,199	0,1949	0,1915	0,1892	0,1869
<b>Saatte Tüketilen Doğalgaz (m3)</b>	137,5	161,4	184,1	206,8	229,8	252,2
<b>Saatte Tüketilen Yakıt Maliyeti (YTL)</b>	75,17	88,25	100,67	113,07	125,66	137,91

Ancak kurulması düşünülen sistem sabit yüklerde değil değişik yük aralıklarında çalışacağından hesaplamalarda iki farklı yük aralığındaki maliyetin hesaplanmasında ortalama birim maliyet alınmıştır.

Aşağıda tüm yıl boyunca sistemin değişik yük aralıklarındaki çalışma saatleri, bu saatlerdeki çalışma yükü değişimleri, hangi yükte kaç saat çalıştığı ve değişik yüklerde üretilen elektrik miktarlarının kojenerasyonla üretilen toplam elektrik miktarındaki oranları aşağıdaki çizelge halinde gösterilmiştir. (çizelge 4.37)

**Çizelge 4.37** CAT G3516 LE Motorunun değişik yük aralıklarında ortalama çalışma özellikleri

Çalışma Yüğü (%)	% 50–60	% 60–70	% 70–80	% 80–90	% 90–100	%100	Toplam
<b>Yıllık Toplam Çalışma Saati (saat)</b>	267,6	265,2	401,2	502,1	675,7	1915,1	4.026,9
<b>Üretilen Elektrik (kWh)</b>	111553	130653	228062	323475	486.529	1.451.518	2.731.788
<b>Elektriğin Birim Maliyeti (YTL/kWh)</b>	0,201	0,197	0,193	0,190	0,188	0,187	----
<b>Elektriğin Yıllık Toplam Maliyeti (YTL/kWh)</b>	22477,8	25749,7	44060,3	61573,7	91482,7	3.712.47,5	516.591,6

Çizelgeden de görüleceği üzere sistemin yıl içindeki toplam çalışma süresi 4026,9 saattir. Hastane yıllık toplam elektrik ihtiyacının %74,31'ini yani 2.731.788,1 kWh'ini kojenerasyondan kalan kısmı olan 944.652,9'unu kWh'ini de şebekeden karşılayacaktır. Bu durumda elektrik ihtiyacı için yapılması gereken toplam harcama aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Hastanenin toplam elektrik ihtiyacı = 3.676.441,16 kWh

Kojenerasyondan karşılanacak elektrik miktarı = 2.731.788,1 kWh

Kojenerasyondan karşılanan kısmın maliyeti = 516.591,6 YTL (sadece üretim maliyeti)

Şebekeden bir yılda alınacak elektrik miktarı = 944.652,9 kWh

Şebekeden karşılanacak kısmın maliyeti:

$$944.652,9 \text{ kWh} * (0,1195 * 1,18) \text{ YTL /kWh} = 133.205 \text{ YTL}$$

Hastanenin kojenerasyonlu hali ile toplam elektrik harcaması:

$$516.591,6 \text{ YTL} + 133.196 \text{ YTL} = 649.788 \text{ YTL}$$

Hastanenin kojenerasyonsuz hali ile toplam elektrik harcaması = 518.378 YTL

Kojenerasyonla beraber yıllık fazladan ödenecek elektrik maliyeti:

$$649.796 \text{ YTL} - 518.378 = 131.410 \text{ YTL}$$

Kojenerasyon sisteminin bu şartlarda çalışması halinde hastane elektrik enerjisine fazladan 131.410 YTL daha fazla ödeme yapacaktır. Ancak kojenerasyon sistemlerinin ısıtma yükü ve maliyetindeki etkileri de hesaplanmalıdır.

Alınan sonuçlara göre verilen çizelgeden görüldüğü üzere kojenerasyon sisteminin buhar kazanının çalışma saatlerinde çalışma süresi toplam 4027 saat buhar kazanının tek başına çalışma süresi ise yaklaşık 511 saat olmaktadır. Motordan alınacak olan ısı enerjisi ilerleyen kısımlarda hesaplanmıştır. Çalışma yüklerine göre egzoz gazlarının genel özellikleri çizelge 4.38’de verilmiştir.

**Çizelge 4.38** CAT G3516 LE Motorunun değişik yüklerdeki egzoz gazı özellikleri

<b>Çalışma Yükü (%)</b>	<b>%50</b>	<b>%60</b>	<b>%70</b>	<b>%80</b>	<b>%90</b>	<b>%100</b>
<b>Gaz Çıkış Sıcaklığı (C°)</b>	552	547,6	543,2	539,6	536,8	534
<b>Hacimsel Gaz Akışı (Nm<sup>3</sup>/br-kWh)</b>	4,98	4,928	4,876	4,844	4,832	4,82
<b>Anlık Kütlesel Gaz akışı (kg/br-kWh)</b>	6,220	6,156	6,092	6,052	6,036	6,020
<b>Saatlik Kütlesel Gaz akışı (kg/h)</b>	2295,2	3730,5	4307	4890	5486,7	6080,2
<b>Egzoz Gazı Debisi (Kg/sn)</b>	0,64	1,04	1,20	1,36	1,52	1,69

Değişik yüklerde egzoz gazlarından alınabilecek ısı enerjilerinin miktarları aşağıda hesaplanmıştır:

%50 Yükleme:

(egzoz gazlarının Cp’si: 1,08 kJ/kgK )

$$Q_{\%50} = 0,64 * 1,08 * (552-130) = 291,7 \text{ kW}$$

%100 Yükleme:

$$Q_{\%100} = 1,69 * 1,08 * (534-130) = 737,4 \text{ kW}$$

**Çizelge 4.39** CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yüklerine göre egzoz gazlarından attığı ısı

Çalışma Yüğü (%)	%50	%60	%70	%80	%90	%100
Elde Edilen Isı (kW)	291,7	469	535,5	601,6	667,8	737,4

Kojenerasyon sistemi değişik yükleme aralıklarında çalışacağı için bu aralıklarda çalışması durumunda elde edebileceğimiz ısı enerjisi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 4.40** CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yükü aralıklarında egzoz gazlarından attığı ortalama ısı enerjisi

Çalışma Yüğü (%)	%50–60	%60–70	%70–80	%80–90	%90–100	%100
Elde Edilen Isı (kW)	380,37	502.28	568.56	634.71	702.59	737.38
Yıllık Çalışma Süresi (saat)	267,6	265,2	401,2	502,1	675,7	1915,1
Elde Edilecek Toplam Isı (kWh)	101786,3	133204,1	228107,8	318688,7	474741,3	1412158
Kojenerasyon Sisteminden Bir Yılda Elde Edilecek Toplam Isı (%80 verimle iletildiği kabulü ile)					2.668.686 kWh	

Çizelgeden de görüldüğü gibi kurulacak kojenerasyon sisteminin egzoz gazlarından bir yılda elde edebileceğimiz toplam ısı enerjisi miktarı 2.668.686 kWh olmaktadır.

Egzoz gazlarının yanı sıra hastanede ihtiyaç duyulan sıcak su eldesi için motorun gövde soğutucu suyundan faydalanılabilmektedir. Seçilen motorun katalogundan elde edilen veriye göre gövde soğutucu sunun maksimum sıcaklığı 99C°'dir ve sıcaklığı kullanılacak ısı eşanjörlerinde 80°C'ye düşürülebilmektedir. Seçilen sistemden değişik yüklere göre elde edilebilecek ısı miktarı aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 4.41** CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yüklerinde soğutma suyunun enerjisi

Çalışma Yüğü (%)	%50	%60	%70	%80	%90	%100
Soğutma Suyundan Elde Edilen Isı (kW)	322	349,6	377,2	400,8	420,4	440

**Çizelge 4.42** CAT G3516 LE Motorunun değişik çalışma yük aralıklarında soğutma suyunun ısı enerjisi

Çalışma Yüğü (%)	%50–60	%60–70	%70–80	%80–90	%90–100	%100
Elde Edilen Isı (kW)	335,8	364	389	410,6	430,2	440
Yıllık Çalışma Süresi (saat)	267,6	265,2	401,2	502,1	675,7	1915,1
Elde Edilecek Toplam Isı (kWh)	89860,08	96532,8	195316,9	206162,3	290686	842644
Kojenerasyon Sistemi-Soğutma Suyundan Bir Yılda Elde Edilecek Toplam Isı					1721202,08kWh	

Kojenerasyon sisteminden bir yıl boyunca toplamda elde edilecek ısı enerjisi:

$$2.668.686 \text{ kWh} + 1.721.202 \text{ kWh} = 4.389.888 \text{ kWh}$$

Kojenerasyonla karşılanan ısı enerjisinin karşılığı olan doğalgaz miktarı ise:

$$4.389.888 \text{ kWh} / 9,59 \text{ kW} / \text{m}^3 = 457.757 \text{ m}^3$$

Kojenerasyonla gelen yakıt tasarrufu:

$$457.757 \text{ m}^3 * 0,547 = 250.393 \text{ YTL'dir.}$$

Sonuç olarak hastaneye kojenerasyon sistemi kurulması durumunda yılda toplam 4027 saat çalışacaktır. Sistem elektrik üretimi bakımından yılda 131.409 YTL ek maliyet getirirken; ısı enerjisi üretimi bakımından yılda 250.393YTL tasarruf sağlamakta ve aradaki farkı miktarı kar olarak üretmektedir.

Kojenerasyon sisteminin yıllık toplam karı:

$$249.935 - 131.410 = 119.085 \text{ YTL'dir. Bu şartlarda sistemin geri ödeme süresi şöyle hesaplanabilir.}$$

$$G_j = \text{Yıllık net kazanç} = 119.084 \text{ YTL} / \text{Yıl}$$

$G_Y$  = İlk yatırım maliyeti = 816.500 YTL (Borusan güç sistemleri)

$f$  = Yıllık faiz oranı = 0,09 (CAT finans)

$t_g$  = Geri ödeme süresi (yıl)

$$t_g = \frac{\ln\left[\frac{119.085}{119.085 - 816.500 * 0,09}\right]}{\ln(1 + 0,09)} = 11,14 \text{ YIL}$$

Statik hesaplama yöntemine göre hesaplama yapılırsa:

$816500 / 119085 = 6,9$  yıl olarak hesaplanmaktadır.

Bu geliri bir yıl boyunca kojenerasyondan elde edilen elektriğin birim maliyetine yansıtırsak:

Kojenerasyondan alınan toplam elektrik = 2.731.788 kWh

Kojenerasyondan alınan elektriğin yıllık maliyeti =  $516.591 - 250.393 = 249.876$  YTL

Kojenerasyondan alınan elektriğin birim maliyeti:

$249.876 / 2.731.788 = 0,091$  YTL/kWh

Yıllık kojenerasyonla beraber (şebekeden alınan + kojenerasyonla üretilen) toplamda kullanılacak olan elektriğin birim maliyetini de düşünmek gerekir. Hastane kojenerasyon sistemi ile beraber yılda toplam;

$516.591 + 133.205 = 649.796$  YTL elektrik harcaması yapacak; ancak atıl ısı enerjisinin değerlendirilmesi ile beraber 250.393 YTL geri kazanım yapacaktır. Bu durumda toplamda kullanılan elektriğin birim maliyeti:

$(649.796 - 250.393) / 3.676.441 = 0,108$  YTL/kWh olur.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Milenyum çağını yaşamakta olduğumuz şu günlerde enerji, yaşamın en temel ve vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Dünyada enerji ihtiyacının gün geçtikçe artması, kaynakların yetersiz kalması ve enerji maliyetlerinin yüksek olması daha verimli sistemlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle yapılan yeni yatırımlarda mevcut enerji kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu yatırımlarda amaç enerji kaynaklarını en ekonomik şekilde değerlendirmek, geri kazanımları artırmak ve maliyetleri aşağı çekmek ya da kontrol altında tutmak olmaktadır.

Bu çalışmada enerjiyi optimum kullanan yöntemlerden biri olan kojenerasyon sistemleri, genel hali ile araştırılmış ve Erzurum Aziziye Araştırma Hastanesi enerji gereksinimi için doğalgaz motorlu iki farklı kojenerasyon sisteminin çalışma şartları ve ekonomikliği incelenmiştir. Çalışmamızda sistem seçimi, seçilen sistemin uygulanması ve sistemin analizinin yapılmasında uygulanan yaygın yöntemlerden farklı olarak detaylandırma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde yıllık çalışma saatleri ve şartları göz önüne alınmayıp, sistemin günlük çalışma şartları dikkate alınmıştır.

Kojenerasyon sistemlerinin güvenilirliğinin artırılması ve daha ekonomik olması için kullanılacak yakıtın kolay ve ucuz bulunabilmesi, sürekli ve güvenilir olması çok önemlidir. Doğalgaz; teknik özelliklerinin yanı sıra ergonomik ve ekonomik olmasından dolayı kojenerasyon sistemlerine en uygun olan yakıt türüdür. Ülkemizde doğalgaz hattının yaygın olarak döşenmiş olması ve enerji tüketiminde doğalgazın tercih edilir olması da göz önünde bulundurularak Aziziye Araştırma Hastanesinde kurulabilecek bir kojenerasyon sistemi için, yakıt olarak doğalgazın kullanılması tercih edilmiştir.

Kojenerasyon sistemi seçimi için Hastanenin elektrik yük miktarı, elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaçları arasındaki oran ve gerekli elektriksel gücün gün içinde çok değişken olması da göz önüne alınmıştır. Bunun yanında türbin sistemlerinin gerekli elektrik gücüne göre kurulumunun çok pahalı oluşu, işletme-bakım maliyetleri ve çalışma şartları da

(ilk alıştırma, değişken yüklerde kullanım performansı v.s.) dikkate alınarak doğalgaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin tercih edilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Kullanılacak motorların seçiminin yapılması amacıyla hastanenin yılın her ayı için günlük ortalama elektrik tüketim eğrileri oluşturulmuştur. Her ay için günlük maksimum elektrik güç ihtiyaç değişkendir. şubat ayının belli günlerinde iki saatte bir hastanenin elektrik tüketime ölçülerek bu ay için günlük elektrik tüketim eğrisi oluşturulmuştur. Daha sonra ise diğer ayların elektik tüketim miktarlarından faydalanılarak bu aylar için de aynı eğriler oluşturulmuştur. Oluşturulan eğriler yardımıyla sırasıyla en fazla ve en düşük elektrik tüketimlerinin olduğu şubat ve temmuz ayları baz alınarak iki farklı motor gücü seçilmiştir. Temmuz ayı için maksimum elektrik gücü 722 kW, şubat ayı için ise 1161 kW olarak hesaplanmıştır. Yukarıda ki kriterler çerçevesinde Caterpillar marka motor kataloglarından faydalanılarak iki farklı motor referans alınmıştır. Bunlar tüm teknik zellikleri Ek.3 ve Ek.4'de verilmiş olan 1656 kW güce sahip G3516-C ve 1010 kW güce sahip G3516-LE modelleridir.

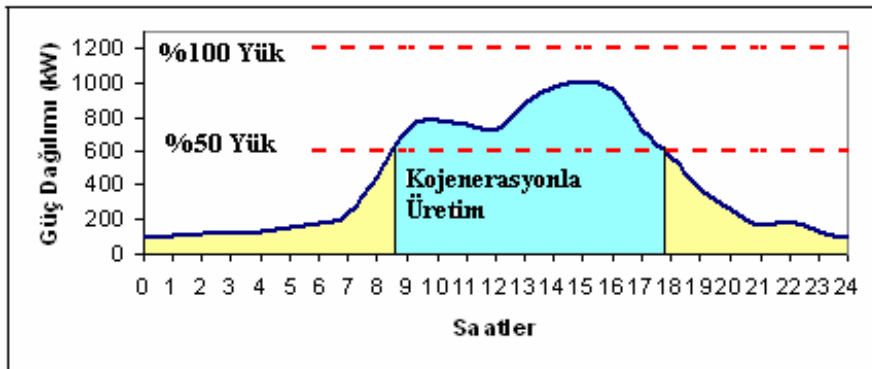
Çalışmamızda ulaşılan ilk sonuç kojenerasyon sistemi uygulanmak istenen tesisin soğuk iklim bölgesinde olmasının sonucu olarak; sistem seçimi yapılırken genel uygulamalarda olduğu gibi elektrik-ısı oranından tam olarak faydalanılamayacağı olmuştur. Çünkü soğuk iklim bölgelerinde binaların ısıl yükleri elektrik yüklerinden çok fazla olmaktadır. Aradaki büyük farkın sonucu olarak tesis için gerekli olan elektrik miktarının büyük bir kısmı kojenerasyon tarafından karşılanabilmesine rağmen; sistemden elde edilecek ısı enerjisi tesisin ihtiyaç duyduğunun çok az bir kısmını karşılayabilmektedir.

Ortaya çıkan bir diğer sonuç ise hastanelerde kurulacak olan kojenerasyon sistemlerinden ideal olan faydanın ve ekonomik kârın elde edilmesinin zor olduğudur. Çünkü genel olarak hastanelerin gün içi elektrik tüketim değerlerindeki değişim, kojenerasyon sisteminin en verimli çalışma şartı olan %100 yükte çalışmasına izin vermemekte veya bu süreyi kısaltmaktadır. Kojenerasyon sistemleri gün içinde ihtiyaç duyulan elektriksel gücü daha az aralıklarda değişen tesisler için çok daha uygun ve

faydalı bir enerji temin sistemi olmaktadır. Sanayi tesisleri ve fabrikalar gibi elektrik tüketim eğrisi değişken olmayan yerlerde kojenerasyonun daha mantıklı ve faydalı bir yatırım olacağı söylenebilir. Ayrıca kojenerasyon sistemlerinin kendini amorti edebilmesi için yılda en az 4500 saat, yüksek yüklemelerde çalışması gerekmektedir (Anonim 2006) Tesisin günlük elektrik tüketim eğrisinin kojenerasyon için uyumlu olmaması demek sistemin hem yıllık toplam çalışma süresinin hem de yüksek yüklerde çalışma süresinin az olması demektir.

Sistemin çalışma ve maliyet analizlerinde aşağıdaki durumlar göz önüne alınmıştır.

1.) Sistem yıl boyunca sadece %50 ve %100 yük aralıklarında çalışacaktır. Yani gerekli elektrik güç ihtiyacı % 50 yüklemenin altına düşmesi halinde sistem otomatik olarak kapanacaktır.



**Şekil 5.1.** Seçilen motorların % 50-%100 yük aralıklarında çalışması

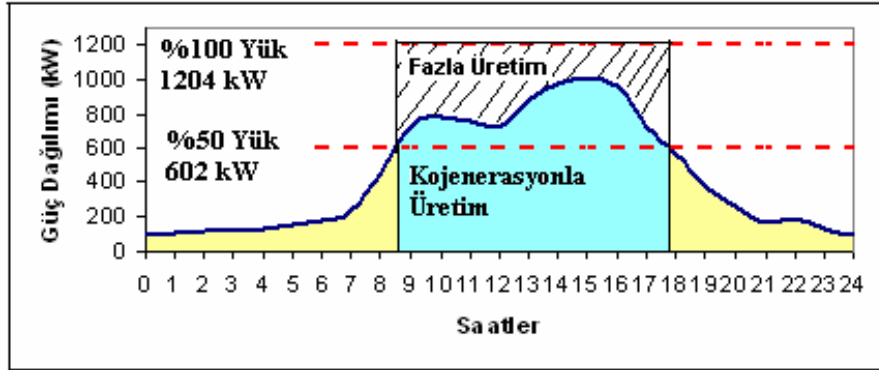
Seçilen kojenerasyon motorlarının yıllık çalışma saatleri 1656 kW'lık motor için 2975 saat, 1010 kW'lık motor için ise 4027 saat olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 5.1) Seçilen motorlar yıl boyunca % 100 yükte çalışmadıkları için ürettikleri elektriğin maliyeti de yükselmektedir. Çizelge 5.1 incelendiğinde motor kapasitesi küçülünce ve yıllık toplam çalışma süresi artınca sistemin veriminde ve geri ödeme süresinde iyileşmeler olduğu görülmektedir. Büyük kapasiteli motorun çalışma süresinin kısa olmasının nedeni; yılın en fazla tüketiminin gerçekleştiği aya göre seçilmiş olmasıdır. Motor elektrik tüketimi

düşük olan aylarında tam yükte çalışmamakta ve %50 yükleme süresine bağlı olarak toplam çalışma süresi de kısalmaktadır. Ayrıca bu motor seçeneği için yıllık net karının 89.403 YTL olmasına rağmen geri ödeme süresi hesaplanamamıştır. Bunun nedeni yıllık net kârın, ilk yatırım maliyetinin yıllık faizinden az olmasıdır.

**Çizelge 5.1** İki farklı motor seçeneğinin normal çalışma şartlarının kıyaslanması

Motor tipleri	G3516 C (1656 kW)	G3516 LE (1010 kW)
Yıllık toplam çalışma süresi (saat)	2975,5	4026,9
Kojenerasyondan alınan elektrik (kWh)	2.512.696	2.731.788
Üretilen elektriğin toplam ihtiyaçtaki oranı (%)	68	74
Kojenerasyondan alınan elektriğin birim maliyeti (YTL/kWh)	0,105	0,091
Toplamda kullanılan elektriğin birim maliyeti (YTL/ kWh)	0,117	0,108
Bir yılda tüketilen toplam doğalgaz miktarı (m <sup>3</sup> )	756.756,77	919.688,01
Sistemden alınan toplam ısı enerjisi (kWh)	2.880.913	4.389.888
Tasarruf edilen doğalgaz miktarı (m3)	300.408	457.757
Yıllık kazanç (YTL)	89.403	119.085
Sistemin toplam maliyeti (YTL)	1.150.000	816.500
Sistemin geri ödeme süresi (yıl)	Sonuç yok	11,1
%80 ve üzerindeki yüklerde çalışma süresi (saat)	502,4	3092,9
Toplam verim (%)	74	81

2.) Sistem bu uygulamada belirlenen çalışma saatleri içinde tam yükte çalıştırılarak, üreteceği fazla elektrik satılabilir ya da elimine edilebilir(Şekil 5.2). Çizelge 5.2’de her iki motor seçeneği için bu şartlarda ortaya çıkan durum gösterilmiştir. Önceki bölümlerde motorların tam yükün altında çalışması durumunda üretilen elektriğin birim maliyetinin yükseleceği belirtilmiştir. Ancak motorların aynı süre zarfında ve aynı zaman aralıklarında tam yükte çalıştırılıp fazla elektriğin elimine edilmesi ya da satılması durumunda maliyetlerinin nasıl değişeceği de belirtilmelidir.



**Şekil 5.2.** Seçilen motorların % 50-%100 yük aralıklarında tam yükte çalışması

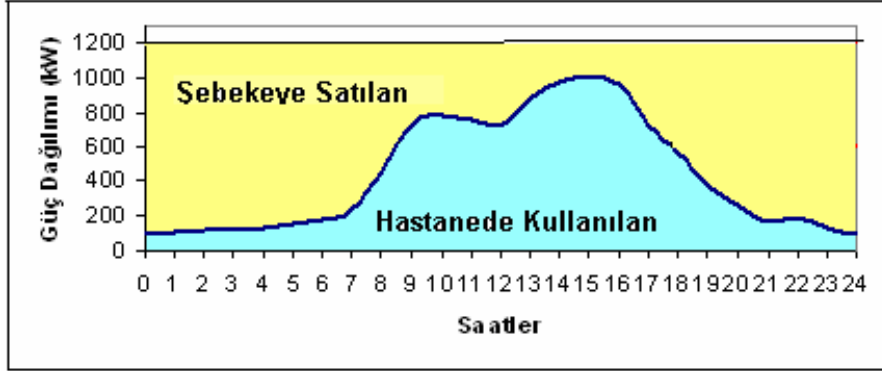
Çizelge 5.2’ de görüldüğü gibi 1656 kW güce sahip motorun yılda 2975 saat tam yükte çalıştırılması durumunda üreteceği fazla elektrik miktarından kaynaklanan maliyet fazlasından dolayı yıllık 987 YTL zarar getirmektedir. Bunun sebebi sistemin toplamda ürettiği elektriğin çok fazla miktarının atıl olmasıdır. Bu şartlarda 1656 kW’lık motorun yıllık çalışma süresi arttıkça zarar daha fazla artmaktadır. 1010 kw’lık motor ise aynı şartlarda çalıştığı zaman yılda 102.477 YTL kâr getirmekte ve kendisini 15 yıl gibi bir süre içinde geri ödemektedir. 1010 kW’lık motor bu şartlarda kullanılırsa yaklaşık 4700 saat çalışma süresinden sonra zarar etmeye başlamaktadır. Ancak belirtildiği gibi fazladan üretilen elektrik değerlendirilmemektedir. Atıl olan elektriğin ısıtma sistemlerine yardımcı olarak kullanılabilmesi halinde ya da Tedaş’a satılabilmesi halinde 1010 kW’lık motor için yıllık kâr 139.795 YTL geri ödeme süresi ise 8.9 yıl olmaktadır. Doğalgaz birim maliyeti(YTL/kWh) elektriğinkinden yüksek olduğu için üretilen elektriğin maliyeti yüksek olmaktadır. Dolayısıyla böyle bir durumda atıl olan elektriğin miktarı arttıkça yıllık açık miktarı da artmaktadır ve kojenerasyon sisteminin bu şartlarda çalışmasının uygun olmadığı sonucunu ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 5.2** İki farklı motor seçeneğinin belirlenen süreler içinde tam yükte çalışma şartlarının kıyaslanması

Motor tipi	G3516 C (1656 kW)	G3516 LE (1010 kW)
Yıllık çalışma saati	2975	4026
Çalışma yükü (%)	100	100
%100 güç (elektrik) (kW)	1204	738
Yıllık elde edilen enerji (kWh)	3.581.900	2.971.188
Kullanılabilir kısım (kWh)	2.512.696	2.971.188
Atıl elektrik (Fazla üretim) (kWh)	1.069.204	0
Tedatından alınan elektrik(kWh)	1.163.745	705253
Tedatından alınan elektrik maliyeti	164.088	99441
Yıllık tüketilen doğalgaz (m <sup>3</sup> )	1.086.321	1015357
Yıllık doğalgaz maliyeti (YTL)	594.218	555400
Harcanan toplam para (YTL)	758.306	654841
Fazladan harcanan para (YTL)	239.928	136463
Toplam alınan ısı (kWh)	4.189.098	4189099
Alınan ısınnın maliyet kazancı (YTL)	238.940	238940
Yıllık net kazanç (YTL)	- 987	102477
Kurulum maliyeti (YTL)	1.150.000	816500
Geri ödeme süresi (yıl)	Sonuç yok	15
Elektriğinn birim maliyeti (YTL/kWh)	0,142	0,114

3.) Genellikle kojenerasyon sistemi uygulamalarında kurulacak sistemin yılda 8000 saat çalışması planlanmakta; yılın kalan 760 saatlik diliminde ise bakım yapılacağı düşünülmektedir(Şekil 5.3). Bu şartlarda üretilecek fazla elektriğinn şebekeye ya da dağıtım şirketi ile yapılacak anlaşmalar sonucunda elektrik kullanıcılarına satılacağı varsayılmaktadır. Türkiye’de elektrik dağıtım şirketi ve EPDK otoprodüktörlerin ürettiği fazla elektriği kendi satış fiyatının % 80’ine almaktadır.(Kıncay ve Yumurtacı, 2006) 1656 kW’lık motorun yılda 8000 saat çalışması sonucunda yıllık net kârın 234.797 YTL olup geri ödeme süresi ise 6,8 yıl olmaktadır. Burada fazla üretilen elektrik miktarının Tedaş satış fiyatının %80’i oranında satıldığı kabulü yapılmıştır.

1010 kW'lık motorun ise bu şartlarda yılda 203.095 YTL kâr getireceği ve geri ödeme süresinin ise 5,3 yıl olacağı görülmüştür(Çizelge 5.3).



Şekil 5.3. Seçilen motorların yılda 8000 saat %100 yükte çalışması

Çizelge 5.3 İki farklı motor seçeneğinin yılın tamamında tam yükte çalışma şartlarının kıyaslanması

Motor Tipi	G3516 C (1656 kW)	G3516 LE (1010 kW)
Yıllık çalışma saati (saat/yıl)	8000	8000
%100 güç (elektrik) (kW)	1204	738
Yıllık elde edilen enerji (kWh)	9632000	5904000
Hastane tarafından kullanılan kısım (kWh)	3676441	3676441
Fazla üretim (kWh)	5955559	2227559
Saatte tüketilen yakıt (m <sup>3</sup> /h)	365	252
Yıllık tüketilen doğalgaz (m <sup>3</sup> /yıl)	2921200	2017600
Yıllık doğalgaz maliyeti (YTL)	1597896	1103627
Toplam alınan ısı (kWh)	11264800	9416000
Alınan ısınnın doğalgaz karşılığı (m <sup>3</sup> )	1174640	981856
Alınan ısınnın maliyet kazancı(motor) (YTL)	642528	537075
Tedaşa satılan elektrik kazancı (YTL)	671787	251269
Toplam elde edilen gelir (YTL)	1314315	788344
Yıllık net harcama(YTL)	283581	315283
Toplam maliyet(YTL)	1150000	816500
Yıllık net kazanç(YTL)	234797	203095
Geri ödeme süresi (yıl)	6,8	5,3

Yapılan çalışmada Aziziye Araştırma Hastanesi için bu şartlarda çalışacak motorlu kojenerasyon sistemlerinin ekonomik bir yatırım olmayacağı ortaya çıkmıştır. Sonucun bu şekilde çıkmasında yükseltinin de çok önemli bir payı vardır. Daha önceki bölümde yapılan hesaplamalarda Erzurum'un sahip olduğu yükselti farkından dolayı motorların normal şartlar altında çalıştığı durumdaki ile aynı özgül yakıtı harcayarak % 22 daha az güç üreteceği belirtilmişti. Elektriğin birim maliyetinin yüksek çıkmasında etkili olan rakım farkı da dikkate alınması gereken bir parametredir.

Kojenerasyon sistemleri üzerine yapılan çalışma ve uygulamaların tümünde yıllık toplam çalışma saati 7500–8000 saat civarında kabul edilmektedir. Bunun yanında sistemin çalışma yükü tüm çalışma saatlerinde % 100 olarak kabul edilmektedir. Bilindiği gibi kojenerasyon uygulaması yapılacak birçok yerde bu şartları yakalamak çok zordur. Günlük elektrik tüketim eğrisi düz bir çizgiden ibaret olan bir tesis bulmak zordur. Ancak ülke yönetimleri tarafından sağlanacak olan sübvanseler, imkânlar ve yasal kolaylıklar olması durumunda bu çalışma şartlarını yakalamak zor değildir. Yasal düzenlemelerin uygun olması halinde hastanede kurulması düşünülen kojenerasyon sistemi yılda toplam 8000 saat % 100 yükte çalışabilecektir. Üretilen fazla elektrik ise elektrik dağıtım kurumuna veya kullanıcılara en kötü ihtimalle satış fiyatı kadar bir değere satılabilecektir. Üretilen fazla elektrik dağıtım kurumuna satılabilir veya üniversitenin başka bir tesisindeki elektrik harcamasından eşdeğerde elektrik enerjisi maliyeti düşürülebilir. Bu şartlarda çalışacak bir kojenerasyon sistemi daha kârlı olacaktır.

Ziher (2005) Slovenya'da 4,2 MW kapasiteli bir hastane için gaz türbinli kojenerasyon sistemlerini incelemiş ve geri ödeme süresini kojenerasyonla 6.71 yıl, trijenerasyonla 5.86 yıl olarak bulmuştur.

Renedo (2005) İspanya'da bulunan 3.35 MW kapasiteli bir hastane için yaptığı çalışmada dizel motorlu ve gaz türbinli kojenerasyon sistemlerini karşılaştırmış ve motorlu sistemlerin türbinli sistemlere göre daha uygun sonuçlar verdiğini görmüştür. Motorlu sistemlerin ise tam yükte çalıştırılmasının daha iyi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Yapılan çalışmada seçilen kojenerasyon sistemlerinin yeterli oranda kâr getirmeyen bir yatırım olmasının en büyük nedenlerinden biri de Türkiye’de doğalgaz birim maliyetleri ile elektrik birim maliyetleri arasında oluşmuş olan farktır. Türkiye’de kullanılan elektriğin satış fiyatına yaklaşık beş yıldan beri hiç zam yapılmamıştır. Ancak doğalgazın fiyatı ülkemizin yerli enerji kaynağı olmadığı için yüksektir ve dövize endeksli olarak değişmektedir. Son beş yılda dünyada olan savaşlar ve diğer etkili olaylar yüzünden doğalgaza çok kez zam yapılmıştır. Bunun sonucunda ve diğer girdi maliyetlerinin artmasına bağlı olarak kojenerasyonla üretilen elektriğin birim maliyeti oldukça artmış ancak elektrik satış fiyatları sabit kalmıştır. EK 5’de Türkiye’de doğalgaz fiyatlarının yıllara bağlı olarak değişimi verilmiştir. Aşağıda doğalgazın Kasım 2002 ve ağustos 2007 tarihlerindeki birim fiyatı verilmiştir. ([www.botas.com](http://www.botas.com))

01.11.2002: 239.236 TL/m<sup>3</sup>

01.08.2007: 0,43586 YTL/m<sup>3</sup> (Artış:% 82.19) ([www.botas.com](http://www.botas.com))

Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlardan biri de kojenerasyon sistemlerinin daha verimli ve ekonomik çalışabilmesi için ilk önce gerekli yasal düzenlemelerin yapılarak sistemin daha uygun zaman aralıklarında ve yüklerde çalışmasının sağlanmasıdır. Kojenerasyon sistemleri için ucuz primer yakıt kullanılması gereklidir. Bunun yanında güvenilirliğin artırılması, büyük çapta ve uzun vadeli kojenerasyon (kojenerasyonla bölgesel ısıtma) yatırımlarının olabilmesi için, yakıt temininde sürekliliğin sağlanması gerekmektedir.

Teknik verimliliği, güvenilirliği ve ekonomikliği dünyada kanıtlanmış olan kojenerasyon sistemlerinin seçimi ve kullanımı çok önemlidir. Gerekli parametrele göz önüne alınmadan yapılacak olan sistem seçimleri ekonomik olmayabilir. Kojenerasyon sistemlerinde elde edilen ısı ve elektriğin tamamına yakınının kullanılması, sistemin ekonomikliğini artırıp, kendini geri ödeme süresini kısaltmaktadır. Kojenerasyon sistemleri ile birincil enerjiden tasarruf sağlanacağından, sistemin çevreye en önemli katkılarından biri de burada ortaya çıkmaktadır. Kojenerasyon sistemleri hem enerji tasarrufu ve parasal açıdan önemli oranda kâr getiren hem de muadillerine nazaran çevreye daha duyarlı olan iyi bir enerji dönüşüm sistemleridir.

Türkiye fosil kaynaklı yakıtlar ve doğalgaz bakımından dışa bağımlı bir ülkedir. Bu da yakıt temini ve fiyatları bakımından uzun vadelerde kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaşmasını ve kullanımını engellemektedir. Ayrıca bu şartlarda daha çok kojenerasyon sisteminin kurulması ülkemizin dış ülkelere daha çok bağımlı olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla ülkemizde kurulacak kojenerasyon sistemlerinin kurulumu esnasında daha çok biyogazlı sistemler tercih edilmelidir. Elektrik üretiminde ise mümkün olduğunca yerli kaynaklardan faydalanılmaya çalışılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Anonymous, 2001. The European Association for The Promotion of Cogeneration Aguide to Cogeneration, March 2001.
- Anonymous, 2002. U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, Technology Characterization of Reciprocating Engines.
- Anonymous, 2003. World Alliance For Decentralized Energy, Guide to Decentralized Energy Technologies.
- Anonymous, 2006. [http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/about\\_us/twentyfour7/Guaranteedpowerforhospitals.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/about_us/twentyfour7/Guaranteedpowerforhospitals.pdf).
- Anonim, 2005. [www.evkultur.com/cevre/enerji/yasam/enerji](http://www.evkultur.com/cevre/enerji/yasam/enerji) mimarlığı, Çelik Erenzenin.
- Anonim, 2007a. Borusan Holding-Borusan Güç Sistemleri Bölümü, Göker GÜRKAN Eğitim Sunumu.
- Anonim, 2007b. Borusan Holding-Borusan Güç Sistemleri Bölümü, Kerim DEMİR Eğitim Sunumu.
- Anonim, 2007c. Borusan Holding-Borusan Güç Dökümanları, İstanbul.
- Aikins, J.E.A., 1995. An Investigation on the Factors That Determine the Atractivenes of Cogeneration bNeat Recovery System & CHp, 15 (5) 473-480
- Augusto Araujo Da Gama Cerqueria,S., Azucena Nebra,S.1999, Cost Attribution Methodologies in Cogeneration Systems, Energy Conversion and Management,40(1999), 1587-1597.
- Badaniç, M., Csatti, A., Anzioso, F., 2005, Performance of an Innovetive 120 kW Natural Gas Cogeneration System, Energy, 48(2007),823-833.
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö.,Yılmaz, M., Erdoğan, S., 2006. Erzurum İli Enerji Çalışmaları İçin İklim ve Meteoroloji Verileri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 95 (2006).
- Bidini, G., Grimaldi, C.N. Mariani, F., 1999. Experimantal Analysis of the Actual Beheviour of a Natural Gas Fueled Engine Caterpillar (CAT) 3516. İtaly.
- Bilgen,E.,2000. Exergetic and Engineering Analyses of Gas Turbine Based Cogeneration System, Energy, 25 (2000),1215-1229.
- Bojic, M., 1996. Cogeneration of Power and Heat By Using Endo Reversible Carnot Engine. Yugoslavia.
- Casten,T.R., Brown, M., 2003. Guide to Decentralized Energy Technologies, World Report Allience for Decentralized Energy.
- Demirçivi,T., 1999. Motorlu Kojenerasyon Sistemleri. Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bil. Enst.
- Derbentli, T., 1996. Birleşik Isı Güç Sistemleri. Enerji, (6).
- Gilijamse, W., Boonstra, m.e., 1995. Energy and Efficiency in Nea Houses.Heat Demand Reduction Versus Cogeneration. Armsterdam, Netherlands.
- Hernoe,T. 2004, Overview of Cogeneration Technologies and Applications, 2004 Cogeneration Week in Indonesia, 18 May 2004, Gran Melia Hotel, Jakarta.
- İnalı,M.,Yücel, H.L., Işık, E., 2002. Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Mühendis ve Makine, 506 (2002), 13–25.
- Kıncay, O., Yumurtacı, Z., 2006. Bir Üniversite Kampüsü İçin Uygun Enerji Sisteminin Seçimi. Tesisat Mühendisliği sayı 95.
- Lucas, K., 2000. Lehrstuhl für Tecnische Termodynamk. Germany.

- Riad, B., Michel, F., 1998. Energy Convers.Mgmt, No :16-18 Vol. 39 pp. 1791–1802. France.
- Rosen, M. A., Le Minh N., Dincer, İ., 2004. Efficiency Analysis of a Cogeneration and District Energy System. Applied Thermal Engineering, 25, (2005), 147–159.
- Smith, M.A.F., P.C. Twidell, J.W., 1995. Technical and Operational Performance of a Small Scale CHP Plant. Energy, 20 (12), 1205–1214.
- Tien, W., Yeh, R., 2007. Theoretical Analysis of Cogeneration System for Ships. Energy Conversion and Management, 48 (2007), 1965–1974.
- [www.borusangucsisstemleri.com.tr](http://www.borusangucsisstemleri.com.tr), 2007
- [www.cat.com](http://www.cat.com), 2007
- [www.cogen.org](http://www.cogen.org), 2006
- [www.cogen3.net](http://www.cogen3.net), 2006
- [www.cospp.articles/article\\_display.cfm?ARTICLE\\_ID=280137&p122](http://www.cospp.articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=280137&p122), 2007
- [www.epdk.com.tr](http://www.epdk.com.tr), 2007
- [www.eurocogen.org](http://www.eurocogen.org), 2006
- [www.evkultur.com.tr](http://www.evkultur.com.tr), 2005
- [www.igdas.com.tr](http://www.igdas.com.tr), 2007
- [www.kojenerasyon.com.tr](http://www.kojenerasyon.com.tr), 2006
- [www.localpower.org](http://www.localpower.org), 2006
- [www.mimag-samko.com.tr](http://www.mimag-samko.com.tr), 2006
- [www.palen.com.tr](http://www.palen.com.tr), 2007

## EKLER

**Ek. 1** Kojenerasyon Teknolojilerinin Özelliklerine Göre Tablolaştırılmış hali

Birincil Çalıştırıcı	Kondenseli Buhar Türbini	Geri Beslemeli Buhar Türbini	Açık Çevrimli Gaz Türbini	CCTG Kojenereli Gaz Türbin Sistemi	Sıkıştırma Ateşlemeli Motor	Kıvılcım Ateşlemeli Motor	Stirling Motoru	Mikro Türbin	Yakıt Pili	Küçük Çaplı Hidro	Fotovoltaik
Yakıt	Herhangi Bir Yakıt	Herhangi Bir Yakıt	Doğalgaz,Bi yogaz, Propan, Distile Yağlar	Doğalgaz,Bi yogaz, Propan, Distile Yağlar	Doğalgaz,Bi yogaz, Propan, Distile Yağlar	Doğalgaz,Bi yogaz, Propan, Sıvı Yakıtlar	Herhangi Bir Yakıt	Doğalgaz, Biyogaz Propan,Distile yağlar	Hidrojen, Doğalgaz, Biyogaz,propan	---	---
Kapasite (MW)	1-100	0.5-500	0.25-500	3-300	0.08-20	0.08-20	0.001-0.025	0.025-0.5	0.01-10	<10MW	<1kw-100kw
Elektriksel verim %	10-20	7-20	25-42	35-55	35-45	25-43	12-20	20-30	30-70	90	7-17
Toplam Kojenerasyon verimi	≤ 80	≤ 80	65-87	73-90	65-90	70-92	≤ 90	≤ 85	≤ 85	---	---
Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	1,000- 3,350	1,000-3,500	800-1,800	800-1,200	900-1,500	900-1,500	2,000-5,000	1,300-2,500	3,500-5,000	1,450-5,600	4,500-6,000
İşletme Ve bakım Maliyeti (\$/kWh)	≤ 0.4	≤ 0.4	0.3-1	0.3-1	0.5-2	0.5-2	0-3.5	1	0.5-5	=0.7	1%
8000 Saatlik Çalışma Maliyeti (\$/kWh)	2.5-6.5	2.5-6.5	4.0-5.5	4.0-4.5	4.0-5.5	4.5-5.5	5.0-9.5	5.0-7.0	9.0-11.5	3.0-10.0	34.5-46. (1850 saat/yıl)


## Ek.2. Yakıt Pillerinin Türleri ve Bu Türlerin Özellikleri

	<b>Fosforik Asitli Yakıt Pilleri (PAFC)</b>	<b>Polimer Elektrolitli Yakıt Pilleri (PEMFC)</b>	<b>Katı Oksitli Yakıt Pilleri (SOFC)</b>	<b>Eriyik Karbonatlı Yakıt Pilleri (MCFC)</b>	<b>Alkalikli Yakıt Pilleri (AFC)</b>
<b>Elektrik Verimi</b>	% 36–42	% 30–40	% 45–60	% 45–60	% 70
<b>Kapasite Aralığı</b>	3–25 KW	3–250 KW	1–10 MW	250 KW - 5 MW	10–200 KW
<b>Isıl Uygulamalar</b>	Çalışma esnasında 2000 °C sıcaklık oluşur. Alan ısıtmasında veya sıcak su üretimi için uygundur.	Kojenerasyon sistemleri açısından 80 °C de su elde edilebilir. Küçük alanların ısıtılması amacıyla değerlendirilebilir	1000 °C gibi çok yüksek sıcaklıkta çalıştığı için oluşan ısıнын endüstriyel tesisler büyük sistemlerde kullanımı mümkündür.	650 °C nin üzerinde olan çalışma sıcaklığı sayesinde kojenerasyon amaçlı ticari ve endüstriyel tesislerde, hastanelerde ısıtma amaçlı kullanılabilir.	Düşük çalışma sıcaklığı sebebiyle sabit sistemlerde ve desalinasyon tesislerde kullanılabilir.
<b>Avantajları</b>	İlk uygulanan yakıt pili teknolojisi olduğu için gelişmiştir. Ticari amaçlı kullanım ve yaygınlık açısından en gelişmiş sistemlerdir.	Çalışma sıcaklıkları düşük olduğu için devreye alma ve kısmi yüklerde çalıştırılması çok kolaydır.	Bu yöntem yakıt pili tasarımlarına esneklik kazandırır. Çalışma sıcaklığı yüksek olduğu için daha az katalizöre gerek duyulur	Isıl kapasitesinin ve ısı kalitesinin yüksek oluşu elektriksel verimi artırmak amacıyla değerlendirilebilir.	Elektriksel verimi çok yüksektir. Buna karşın diğerlerine nazaran maliyeti düşüktür
<b>Dezavantajları</b>	Yakıt pili sistemlerinin haricindeki diğer güç üretim yöntemlerine göre hala çok pahalıdır.	Düşük çalışma sıcaklığı nedeni ile çok pahalı olan ve CO etkisi sonucu sistemin performansını olumsuz etkileyen platin katalizör kullanılması gerekir. Düşük çalışma sıcaklığı kojenerasyon verimini de olumsuz etkiler.	850 °C'nin üstüne çıkılması sistem için çok pahalı alaşımların kullanılmasını gerektirir. Bu sıcaklığın altında ise iyonik iletim zayıflar ve verim düşer. Yüksek sıcaklık devreye alma zamanını uzatır.	Bu sistemlerde tercih edilen kimyasal yöntem risklidir. Bu yüzden kararlı çalışmayı zayıflatır ve verimi olumsuz etkileyebilir. Operasyon sıcaklığına erişilmesi uzun zaman alır	Yakıt kaynağı olarak saf hidrojen ve oksijen kullanımı zordur.

### Ek.3 G3516 C (1656 kW) Motorunun Teknik Katalogu

G3516C

GAS ENGINE TECHNICAL DATA



ENGINE SPEED:

1500

COMPRESSION RATIO:

11.3:1

AFTERCOOLER - STAGE 1 MAX. INLET (°C):

92

AFTERCOOLER - STAGE 2 MAX. INLET (°C):

54

JACKET WATER - MAX. OUTLET (°C):

99

COOLING SYSTEM:

JW+OC+1AC, 2AC

IGNITION SYSTEM:

ADEM3

EXHAUST MANIFOLD:

DRY

COMBUSTION:

LOW EMISSION

FUEL:

NAT GAS

FUEL SYSTEM:

CAT LOW PRESSURE  
WITH AIR FUEL RATIO CONTROL

FUEL PRESS. RANGE (KPag):

3.5 - 34.5

MIN. METHANE NUMBER:

80

RATED ALTITUDE (m):

500

AT AIR TO TURBO. TEMP. (°C):

25

NOx EMISSION LEVEL:

500 mg/Nm3

FUEL LHV (MJ/Nm3):

35.6

APPLICATION:

GENSET

RATING AND EFFICIENCY		NOTES	LOAD	100%	75%	50%
ENGINE POWER	(WITHOUT FAN)	(1)	KW	1656	1242	828
GENERATOR POWER	(WITHOUT FAN)	(2)	EKW	1584	1188	792
ENGINE EFFICIENCY	(ISO 3046/1)	(3)	%	41.8	41.1	39.2
ENGINE EFFICIENCY	(NOMINAL)	(3)	%	40.8	40.1	38.3
THERMAL EFFICIENCY	(NOMINAL)	(4)	%	44.5	44.9	46.3
TOTAL EFFICIENCY	(NOMINAL)	(5)	%	85.3	85.0	84.6

ENGINE DATA						
FUEL CONSUMPTION	(ISO 3046/1)	(6)	MJ/bkW-hr	8.61	8.77	9.18
FUEL CONSUMPTION	(NOMINAL)	(6)	MJ/bkW-hr	8.82	8.98	9.4
AIR FLOW (0 °C, 101.3 kPa)		(7)	Nm3/bkW-hr	4.18	4.23	4.34
AIR FLOW		(7)	kg/bkW-hr	5.4	5.46	5.61
COMPRESSOR OUT PRESSURE			kPa (abs)	341	258	178
COMPRESSOR OUT TEMPERATURE			°C	185	143	94
AFTERCOOLER AIR OUT TEMPERATURE			°C	55	54	54
INLET MAN. PRESSURE		(8)	KPa(a)	307	233	160
INLET MAN. TEMPERATURE	(MEASURED IN PLENUM)	(9)	°C	55	54	54
TIMING		(10)	°BTDC	28	28	28
EXHAUST STACK TEMPERATURE		(11)	°C	477	496	520
EXHAUST GAS FLOW (0 °C, 101.3 kPa)		(12)	Nm3/bkW-hr	4.43	4.49	4.61
EXHAUST MASS FLOW		(12)	kg/bkW-hr	5.59	5.66	5.82

EMISSIONS DATA						
NOx (as NO2) (corr. 5% O2)		(13)	mg/Nm3 (dry)	500	500	500
CO (corr. 5% O2)		(14)	mg/Nm3 (dry)	972	949	936
THC (corr. 5% O2), molecular weight of 15.84)		(14)	mg/Nm3 (dry)	2111	2391	2858
NMHC (corr. 5% O2, molecular weight of 15.84)		(14)	mg/Nm3 (dry)	317	359	429
CO2 (corr. 5% O2)		(14)	mg/Nm3 (dry)	220212	219976	222196
EXHAUST O2		(15)	% DRY	10.3	10.1	10.1
LAMBDA		(15)		1.78	1.77	1.74

HEAT BALANCE DATA						
LHV INPUT		(18)	KW	4057	3100	2163
HEAT REJECTION TO JACKET		(17)	KW	445	384	320
HEAT REJECTION TO ATMOSPHERE		(18)	KW	117	97	78
HEAT REJECTION TO LUBE OIL		(19)	KW	100	89	75
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 25°C)		(20)	KW	1381	1103	805
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 120°C)		(20)	KW	1030	825	604
HEAT REJECTION TO A/C - STAGE 1		(21)	KW	229	96	3
HEAT REJECTION TO A/C - STAGE 2		(22)	KW	128	89	54

CONDITIONS AND DEFINITIONS

ENGINE RATING OBTAINED AND PRESENTED IN ACCORDANCE WITH ISO 3046/1. DATA REPRESENTS CONDITIONS OF 25°C, 100 KPA BAROMETRIC PRESSURE, 30% RELATIVE HUMIDITY, 2.5 KPA AIR FILTER RESTRICTION, AND 5 KPA EXHAUST STACK PRESSURE. ENGINE EFFICIENCY AND FUEL CONSUMPTION SPECIFICALLY NOTED AS ISO 3046/1 ARE REPRESENTED WITH 1.25 KPA AIR FILTER RESTRICTION AND 0 KPA EXHAUST STACK PRESSURE. CONSULT ALTITUDE CURVES FOR APPLICATIONS ABOVE MAXIMUM RATED ALTITUDE AND/OR TEMPERATURE. NO OVERLOAD PERMITTED AT RATING SHOWN.

EMISSION LEVELS ARE BASED ON THE ENGINE OPERATING AT STEADY STATE CONDITIONS AND ADJUSTED TO THE SPECIFIED NOx LEVEL AT 100% LOAD. EMISSION TOLERANCES SPECIFIED ARE DEPENDANT UPON FUEL QUALITY. METHANE NUMBER CANNOT VARY MORE THAN ± 3. PUBLISHED PART LOAD DATA IS WITH LAMBDA CONTROL.

ENGINE RATING IS WITHOUT ENGINE DRIVEN WATER PUMPS.

FOR NOTES INFORMATION CONSULT PAGE THREE.

DM5614-01

PAGE 1 OF 3

19-Mar-04

### Ek.3 Devam G3516 C (1656 kW) Motorunun Teknik Katalogu

G3516C

GAS ENGINE TECHNICAL DATA

CATERPILLAR®

FUEL USAGE GUIDE

CAT METHANE NUMBER	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85 to 100
IGNITION TIMING	-	-	-	-	-	16	16	16	16	20	28	28
DERATION FACTOR	0	0	0	0	0	0.75	0.80	0.85	0.88	0.92	1.00	1.00

ALTITUDE DERATION FACTORS

AIR TO TURBO (°C)	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76
250	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.78
500	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79
750	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80
1000	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.90	0.87	0.84	0.81
1250	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86	0.83
1500	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84
1750	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
2000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87
2250									
2500									
2750									
3000									

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS

AIR TO TURBO (°C)	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0	1.27	1.31	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
250	1.21	1.25	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
500	1.15	1.19	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
750	1.10	1.13	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
1000	1.04	1.07	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
1250	1.00	1.01	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
1500	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2250									
2500									
2750									
3000									

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

FREE FIELD MECHANICAL & EXHAUST NOISE

100% Load Data		dB(A)		dB							
Free Field Mechanical	DISTANCE FROM THE ENGINE (METERS)	1	105.5	55.6	71.7	83.6	91.5	94.3	92.2	91.3	101.2
		7	86.6	39.7	54.8	66.7	74.6	77.4	75.3	74.4	84.3
		15	82.0	32.1	48.2	60.1	68.0	70.8	68.7	67.8	77.7
Free Field Exhaust	DISTANCE FROM THE ENGINE (METERS)	1.5	115.7	71.5	106.2	99.5	105.8	89.1	97.1	102.3	104.4
		7	102.3	58.1	92.8	86.1	92.2	75.7	83.7	88.9	91.0
		15	95.7	51.5	86.2	79.5	85.8	69.1	77.1	82.3	84.4
		Overall SPL		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
		Octave Band Center Frequency (OBCF)									

FUEL USAGE GUIDE:

This table shows the derate factor required for a given fuel. Note that deration occurs as the methane number decreases. Methane number is a scale to measure detonation characteristics of various fuels. The methane number of a fuel is determined by using the Caterpillar Methane Number Calculation program.

ALTITUDE DERATION FACTORS:

This table shows the deration required for various air inlet temperatures and altitudes. Use this information along with the fuel usage guide chart to help determine actual engine power for your site.

INLET AND EXHAUST RESTRICTION CORRECTIONS FOR ALTITUDE CAPABILITY:

To determine the appropriate altitude derate factor to be applied to this engine for inlet or exhaust restrictions differing from the standard conditions listed on page 1, a correction to the site altitude can be made to adjust for this difference. Add 43 meters to the site altitude for each additional kPa of exhaust stack pressure greater than spec sheet conditions. Add 85 meters to the site altitude for each additional kPa of inlet restriction greater than spec sheet conditions. If site inlet restriction or exhaust stack pressure are less than spec sheet conditions, the same trends apply to lower the site altitude.

ACTUAL ENGINE RATING:

It is important to note that the Altitude/Temperature deration and the Fuel Usage Guide deration are not cumulative. They are not to be added together. The same is true for the Low Energy Fuel deration (reference the Caterpillar Methane Number Program) and the Fuel Usage Guide deration. However, the Altitude/Temperature deration and Low Energy Fuel deration are cumulative; and they must be added together in the method shown below. To determine the actual power available, take the lowest rating between 1) and 2).

- 1) (Altitude/Temperature Deration) + (Low Energy Fuel Deration)
- 2) Fuel Usage Guide Deration

Note: For NA's always add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration. For TA engines only add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration whenever the Altitude/Temperature deration is less than 1.0 (100%). This will give the actual rating for the engine at the conditions specified.

AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS:

Aftercooler heat rejection is given for standard conditions of 25°C and 152 m altitude. To maintain a constant air inlet manifold temperature, as the air to turbo temperature goes up, so must the heat rejection. As altitude increases, the turbocharger must work harder to overcome the lower atmospheric pressure. This increases the amount of heat that must be removed from the inlet air by the aftercooler. Use the aftercooler heat rejection factor to adjust for ambient and altitude conditions. Multiply this factor by the standard aftercooler heat rejection. Failure to properly account for these factors could result in detonation and cause the engine to shutdown or fail. For 2 Stage Aftercoolers with separate circuits, the 1st stage will collect 90% of the additional heat.

SOUND DATA:

Data determined by methods similar to ISO Standard DIS-6526-10. Accuracy Grade 3. SPL = Sound Pressure Level.

DM5614-01

PAGE 2 OF 3

19-Mar-04

### Ek.3 Devam G3516 C (1656 kW) Motorunun Teknik Katalogu

G3516C	GAS ENGINE TECHNICAL DATA	CATERPILLAR®
<b>NOTES</b>		
1 ENGINE RATING IS WITHOUT ENGINE DRIVEN WATER PUMPS. TOLERANCE IS $\pm 3\%$ OF FULL LOAD.		
2 GENERATOR POWER DETERMINED WITH AN ASSUMED GENERATOR EFFICIENCY OF 95.65% AND POWER FACTOR OF 0.8 [GENERATOR POWER = ENGINE POWER $\times$ GENERATOR EFFICIENCY].		
3 ISO 3046/1 ENGINE EFFICIENCY TOLERANCE IS (+)0, (-)5% OF FULL LOAD % EFFICIENCY VALUE. NOMINAL ENGINE EFFICIENCY TOLERANCE IS $\pm 2.5\%$ OF FULL LOAD % EFFICIENCY VALUE.		
4 THERMAL EFFICIENCY: JACKET HEAT + LUBE OIL HEAT + STAGE 1 A/C HEAT + EXH. HEAT TO 120°C.		
5 TOTAL EFFICIENCY = ENGINE EFF. + THERMAL EFF. TOLERANCE IS $\pm 10\%$ OF FULL LOAD DATA.		
6 ISO 3046/1 FUEL CONSUMPTION TOLERANCE IS (+)5, (-)0% OF FULL LOAD DATA. NOMINAL FUEL CONSUMPTION TOLERANCE IS $\pm 2.5\%$ OF FULL LOAD DATA.		
7 UNDRIED AIR. FLOW TOLERANCE IS $\pm 5\%$		
8 INLET MANIFOLD PRESSURE TOLERANCE IS $\pm 5\%$		
9 INLET MANIFOLD TEMPERATURE TOLERANCE IS $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .		
10 TIMING INDICATED IS FOR USE WITH THE MINIMUM FUEL METHANE NUMBER SPECIFIED. CONSULT THE APPROPRIATE FUEL USAGE GUIDE FOR TIMING AT OTHER METHANE NUMBERS.		
11 EXHAUST STACK TEMPERATURE TOLERANCE IS (+)35°C, (-)30°C.		
12 WET EXHAUST. FLOW TOLERANCE IS $\pm 6\%$		
13 NOX TOLERANCES ARE $\pm 18\%$ OF SPECIFIED VALUE.		
14 CO, CO <sub>2</sub> , THC, and NMHC VALUES ARE "NOT TO EXCEED".		
15 O <sub>2</sub> % TOLERANCE IS $\pm 0.5$ ; LAMBDA TOLERANCE IS $\pm 0.05$ . LAMBDA AND O <sub>2</sub> LEVEL ARE THE RESULT OF ADJUSTING THE ENGINE TO OPERATE AT THE SPECIFIED NOX LEVEL.		
16 LHV RATE TOLERANCE IS $\pm 2.5\%$ .		
17 TOTAL JW HEAT (based on treated water) = JACKET HEAT + LUBE OIL HEAT + STAGE 1 A/C HEAT + 0.90 $\times$ (STAGE 1 + STAGE 2) $\times$ (ACHRF-1). TOLERANCE IS $\pm 10\%$ OF FULL LOAD DATA. HEAT REJECTION BASED ON		
18 RADIATION HEAT RATE BASED ON TREATED WATER. TOLERANCE IS $\pm 50\%$ OF FULL LOAD DATA.		
19 LUBE OIL HEAT RATE BASED ON TREATED WATER. TOLERANCE IS $\pm 20\%$ OF FULL LOAD DATA.		
20 EXHAUST HEAT RATE BASED ON TREATED WATER. TOLERANCE IS $\pm 10\%$ OF FULL LOAD DATA.		
21 STAGE 1 A/C HEAT (based on treated water) = STAGE 1 A/C HEAT + 0.90 $\times$ (STAGE 1 + STAGE 2) $\times$ (ACHRF-1). TOLERANCE IS $\pm 5\%$ OF FULL LOAD DATA.		
22 STAGE 2 A/C HEAT (based on treated water) = STAGE 2 A/C HEAT + (STAGE 1 + STAGE 2) $\times$ 0.10 $\times$ (ACHRF - 1). TOLERANCE IS $\pm 5\%$ OF FULL LOAD DATA. HEAT REJECTION BASED ON 570 LITERS/MIN WATER FLOW.		
DM5614-01	PAGE 3 OF 3	19-Mar-04

## Ek.4. G3516 LE (1010 kW) Motorunun Teknik Katalogu

G3516 LE

GAS ENGINE TECHNICAL DATA

CATERPILLAR®

ENGINE SPEED:	1500	FUEL:	NAT GAS
COMPRESSION RATIO:	11:1	FUEL SYSTEM:	LPG Deltec
AFTERCOOLER (°C)	54	WITH AIR FUEL RATIO CONTROL	
JACKET WATER (°C)	99	MIN. FUEL PRESS. (KPa <sub>g</sub> ):	10
COOLING SYSTEM:	COMBINED	MIN. METHANE NUMBER:	80
IGNITION SYSTEM:	EIS	RATED ALTITUDE (m):	500
EXHAUST MANIFOLD:	DRY	AT AMBIENT TEMP (°C):	25
COMBUSTION:	LEAN BURN	NOx EMISSION LEVEL:	1.2 g/bhp-hr

RATING AND EFFICIENCY	NOTES	LOAD	100%	75%	50%
LHV OF FUEL		MJ/Nm <sup>3</sup>	36.1	36.1	36.1
ENGINE POWER		KW	1010	758	505
ENGINE EFFICIENCY	(1)	%	36.1	35.0	33.1
THERMAL EFFICIENCY	(8)	%	47.2	49.7	53.2
TOTAL EFFICIENCY	(7)	%	83.3	84.6	86.2

ENGINE DATA					
FUEL CONSUMPTION	(1)	MJ/bkW-hr	9.99	10.3	10.89
AIR FLOW (0 °C, 101.3 kPa)	(WET)	Nm <sup>3</sup> /bkW-hr	4.49	4.52	4.63
AIR FLOW	(WET)	kg/bkW-hr	5.8	5.84	5.99
COMPRESSOR OUT PRESS.		KPa <sub>a</sub>	263	212	159
COMPRESSOR OUT TEMP.		°C	151	119	83
INLET MAN. PRESS.		KPa <sub>a</sub>	237	177	126
INLET MAN. TEMP.	(11)	°C	65	63	60
TIMING	(12)	°BTDC	24	24	24
NOISE - MECH @ 1m		dB(A)	100	99	98
NOISE - EXH @ 1.5 m		dB(A)	111	110	109
EXHAUST STACK TEMP.		°C	534	541	552
EXHAUST GAS FLOW (0 °C, 101.3 kPa)	(WET)	Nm <sup>3</sup> /bkW-hr	4.82	4.85	4.98
EXHAUST MASS	(WET)	kg/bkW-hr	6.02	6.06	6.22

EMISSIONS DATA					
NOx (as NO <sub>2</sub> ) (corr. 5% O <sub>2</sub> )	(10)	mg/Nm <sup>3</sup>	500	500	500
CO (corr. 5% O <sub>2</sub> )	(10)	mg/Nm <sup>3</sup>	1093	1086	1094
THC (corr. 5% O <sub>2</sub> )	(10)	mg/Nm <sup>3</sup>	1953	2184	2473
NMHC (corr. 5% O <sub>2</sub> )	(10)	mg/Nm <sup>3</sup>	293	328	371
EXHAUST O <sub>2</sub>	(10)	%	9.5	9.2	9.0
LAMBDA			1.66	1.62	1.58

HEAT BALANCE DATA					
LHV INPUT	(1)	KW	2801	2166	1527
HEAT REJ. TO JACKET	(2) (8)	KW	440	391	322
HEAT REJ. TO ATMOSPHERE	(4)	KW	76	68	55
HEAT REJ. TO LUBE OIL	(5)	KW	91	77	62
HEAT REJ. TO EXH. (LHV to 25°C)	(2)	KW	1021	790	558
HEAT REJ. TO EXH. (LHV to 120°C)	(2)	KW	791	609	428
HEAT REJ. TO A/C	(3) (9)	KW	162	84	26

**CONDITIONS AND DEFINITIONS**

ENGINE RATING OBTAINED AND PRESENTED IN ACCORDANCE WITH ISO 3046/1 (STD. REF. CONDITIONS OF 25°C, 100 KPa, 152 m). NO OVERLOAD PERMITTED AT RATING SHOWN. CONSULT ALTITUDE CURVES FOR APPLICATIONS ABOVE MAXIMUM RATED ALTITUDE AND/OR TEMPERATURE.

**NOTES**

- 1) FUEL CONSUMPTION TOLERANCE ACCORDING TO ISO 3046/1. TOLERANCE IS + 5% OF FULL LOAD DATA.
- 2) HEAT REJECTION TO JACKET AND EXHAUST TOLERANCE IS ± 10% OF FULL LOAD DATA.
- 3) HEAT REJECTION TO A/C TOLERANCE IS ± 5% OF FULL LOAD DATA.
- 4) HEAT REJECTION TO ATMOSPHERE TOLERANCE IS ± 50% OF FULL LOAD DATA.
- 5) HEAT REJECTION TO LUBE OIL TOLERANCE IS ± 20% OF FULL LOAD DATA.
- 6) THERMAL EFFICIENCY: JACKET HEAT + LUBE OIL HEAT + EXH. HEAT TO 120°C.
- 7) TOTAL EFFICIENCY: ENGINE EFF. + THERMAL EFF. TOLERANCE IS ± 10% OF FULL LOAD DATA.
- 8) TOTAL JW HEAT: COMBINED = JACKET HEAT + OIL COOLER HEAT (heat rate based on treated water)  
2-CIRCUIT AND 3 CIRCUIT = JACKET HEAT (heat rate based on treated water)
- 9) TOTAL A/C HEAT: COMBINED AND 3-CIRCUIT = A/C HEAT x A/C HEAT REJ. FACTOR (heat rate based on treated water)  
2-CIRCUIT = A/C HEAT x A/C HEAT REJ. FACTOR + O/C HEAT

10) EMISSION DATA SHOWN ARE DRY AND NOT TO EXCEED VALUES.

PUBLISHED PART LOAD DATA REQUIRES LAMBDA CONTROL.

11) MEASURED IN THE INTAKE MANIFOLD PLENUM.

12) TIMING INDICATED IS FOR USE WITH THE MINIMUM FUEL METHANE NUMBER SPECIFIED. CONSULT THE APPROPRIATE FUEL USAGE GUIDE FOR TIMING AT OTHER METHANE NUMBERS.

DM0991-02

10-Jul-02

## Ek.4 Devam G3516 LE (1010 kW) Motorunun Teknik Katalogu

### G3516 LE

### GAS ENGINE TECHNICAL DATA



#### FUEL USAGE GUIDE

DERATE FACTOR/ENGINE TIMING vs METHANE NUMBER											
<30	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80 to 100
0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	1.0/18	1.0/20

\* Denotes Air Fuel Ratio Control Required for Maximum Rating Shown.

#### ALTITUDE DERATION FACTORS

	50	45	40	35	30	25	20	15	10	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000
A	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67									
M	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.70	0.68									
B	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69									
I	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.70									
E	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71									
N	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72									
T	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74									
(°C)	15	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75									
10	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76									

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

#### AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS

	50	45	40	35	30	25	20	15	10	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000
A	1.36	1.41	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
M	1.28	1.33	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39
B	1.20	1.26	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
I	1.13	1.18	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
E	1.05	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
N	1.00	1.02	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
T	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
(°C)	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

#### FUEL USAGE GUIDE:

This table shows the derate factor required for a given fuel and what engine timing to use. Note that deration occurs as the methane number decreases. Methane number is a scale to measure ignition and burning characteristics of various fuels. Representative values are shown below.

Methane	100
Ethane	44
Propane	34
n-Butane	10
Hydrogen	0

Most dry pipeline natural gas has a methane number of 87 or above. The gas quality should be analyzed to determine the percentage of each constituent and then determine the methane number. Consult the dealer or factory for assistance.

#### ALTITUDE DERATION FACTORS:

This table shows the deration required for various ambient temperatures and altitudes. Use this information to help determine actual engine power for your site.

#### ACTUAL ENGINE RATING:

It is important to note that the Altitude/Temperature deration and the Fuel Usage Guide deration are not cumulative, i.e., they are not to be added together. The same is true for the Low Energy Fuel deration (reference the Caterpillar Methane Number Program) and the Fuel Usage Guide deration. However, the Altitude/Temperature deration and Low Energy Fuel deration are cumulative; and they must be added together in the method shown below. To determine the actual power available, take the lowest rating between 1) and 2).

- 1) (Altitude/Temperature Deration) + (Low Energy Fuel Deration)
- 2) Fuel Usage Guide Deration

Note: For NA's always add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration. For TA engines only add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration whenever the Altitude/Temperature deration is less than 1.0 (100%). This will give the actual rating for the engine at the conditions specified.

#### AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS:

Aftercooler heat rejection is given for standard conditions of 25°C and 152 m altitude. To maintain a constant inlet air manifold temperature, as the ambient air temperature goes up, so must the heat rejection. As altitude increases, the turbocharger must work harder to overcome the lower atmospheric pressure. This increases the amount of heat that must be removed from the inlet air by the aftercooler. Use the aftercooler heat rejection factor to adjust for ambient and altitude conditions. Multiply this factor by the standard aftercooler heat rejection. Failure to properly account for these factors could result in detonation and cause the engine to shut down or fail.

**Ek.5 01.03.2000 ve 01.08.2007 Tarihleri arasında Türkiye’deki doğalgaz satış fiyatı değişimleri**

DAĞITIM KURULUŞLARINA UYGULANAN DOĞAL GAZ SATIŞ FİYATLARI (KDV HARİÇ)							
Yürürlük Tarihi	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Haric Fiyat	Dağıtım Şirketi Serbest Tüketici ÖTV Haric Fiyat	ÖTV TUTARI	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Dahil Fiyat (1)	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Dahil Fiyat Değişimi (1)	Dağıtım Şirketi SERBEST TÜKETİCİ ÖTV Dahil Fiyat (2)	Dağıtım Şirketi Serbest Tüketici ÖTV Dahil Fiyat (2)
	YTL/Sm³	YTL/Sm³	YTL/Sm³	YTL/Sm³	%	YTL/Sm³	%
01.08.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.07.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.06.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.05.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.04.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.03.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.02.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.01.2007	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.12.2006	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	0,00	0,450254	0,00
01.11.2006	0,435862	0,429254	0,021000	0,456862	6,71	0,450254	5,54
01.10.2006	0,407119	0,405607	0,021000	0,428119	0,00	0,426607	0,00
01.09.2006	0,407119	0,405607	0,021000	0,428119	0,00	0,426607	0,00
01.08.2006	0,407119	0,405607	0,021000	0,428119	7,25	0,426607	6,87
01.07.2006	0,378188	0,378188	0,021000	0,399188	0,00	0,399188	0,00
01.06.2006	0,378188	0,378188	0,021000	0,399188	5,74	0,399188	5,74
01.05.2006	0,356512	0,356512	0,021000	0,377512	0,00	0,377512	0,00
01.04.2006	0,356512	0,356512	0,021000	0,377512	0,00	0,377512	0,00
01.03.2006	0,356512	0,356512	0,021000	0,377512	5,83	0,377512	5,83
01.02.2006	0,335699	0,335699	0,021000	0,356699	0,00	0,356699	0,00
01.01.2006	0,335699	0,335699	0,021000	0,356699	0,00	0,356699	0,00
01.12.2005	0,335699	0,335699	0,021000	0,356699	0,00	0,356699	0,00
01.11.2005	0,335699	0,335699	0,021000	0,356699	5,78	0,356699	5,78
01.10.2005	0,316220	0,316220	0,021000	0,337220	0,00	0,337220	0,00
01.09.2005	0,316220	0,316220	0,021000	0,337220	5,84	0,337220	5,84
01.08.2005	0,297619	0,297619	0,021000	0,318619	0,00	0,318619	0,00
01.07.2005	0,297619	0,297619	0,021000	0,318619	6,05	0,318619	6,05
01.06.2005	0,279454	0,279454	0,021000	0,300454	0,00	0,300454	0,00
01.05.2005	0,279454	0,279454	0,021000	0,300454	0,00	0,300454	0,00
01.04.2005	0,279454	0,279454	0,021000	0,300454	0,00	0,300454	0,00
01.03.2005	0,279454	0,279454	0,021000	0,300454	4,25	0,300454	4,25
01.02.2005	0,267212	0,267212	0,021000	0,288212	0,00	0,288212	0,00
01.01.2005	0,267212	0,267212	0,021000	0,288212	0,00	0,288212	-4,07
Yürürlük Tarihi	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Haric Fiyat	Dağıtım Şirketi Serbest Tüketici ÖTV Haric Fiyat	ÖTV (ATV) TUTARI (*)	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Dahil Fiyat (1)	Dağıtım Şirketi Eysel Tüketim ÖTV Dahil Fiyat Değişimi (1)	Dağıtım Şirketi SERBEST TÜKETİCİ ÖTV Dahil Fiyat (2)	Dağıtım Şirketi Serbest Tüketici ÖTV Dahil Fiyat (2)
	TL/Sm³	TL/Sm³	TL/Sm³	TL/Sm³	%	TL/Sm³	%

01.12.2004	267.212	279.454	21.000	288.212	6.05	300.454	5.10
01.11.2004	250.770	264.996	21.000	271.770	6.04	285.996	5.10
01.10.2004	235.280	251.114	21.000	256.280	6.11	272.114	11.86
01.09.2004	220.523	222.268	21.000	241.523	0.00	243.268	0.15
01.08.2004	220.523	221.893	21.000	241.523	6.27	242.893	6.35
01.07.2004	220.523	221.633	6.750	227.273	6.26	228.383	5.58
01.06.2004	207.130	209.565	6.750	213.880	0.00	216.315	-0.30
01.05.2004	207.130	210.208	6.750	213.880	0.00	216.958	-0.23
01.04.2004	207.130	210.707	6.750	213.880	0.00	217.457	-0.18
01.03.2004	207.130	211.090	6.750	213.880	0.00	217.840	-0.27
01.02.2004	207.130	211.682	6.750	213.880	0.00	218.432	
01.01.2004	207.130		6.750	213.880	0.00		
01.12.2003	207.130		6.750	213.880	0.00		
01.11.2003	207.130		6.750	213.880	0.00		
01.10.2003	207.130		6.750	213.880	-8.20		
01.09.2003	226.230		6.750	232.980	0.00		
01.08.2003	226.230		6.750	232.980	-4.07		
01.07.2003	236.102		6.750	242.852	-7.06		
01.06.2003	254.553		6.750	261.303	-8.00		
01.05.2003	277.275		6.750	284.025	12.01		
01.04.2003	246.825		6.750	253.575	0.00		
01.03.2003	247.034		6.541	253.575	0.00		
01.02.2003	247.231		6.344	253.575	0.00		
01.01.2003	247.567		6.008	253.575	3.50		
01.12.2002	239.144		5.856	245.000	0.00		
01.11.2002	239.236		5.764	245.000	-4.67		
01.10.2002	251.400		5.591	256.991	-5.82		
01.09.2002	267.447		5.423	272.870	3.90		
01.08.2002	257.309		5.311	262.620	5.98		
01.07.2002	242.630		5.171	247.801	4.92		
12.06.2002	231.076		5.110	236.186	4.89		
01.06.2002	220.072		5.110	225.182	2.94		
01.05.2002	213.662		5.090	218.752	-		
01.04.2002	213.662		-	-	-		
01.03.2002	213.662		-	-	-		
01.02.2002	213.662		-	-	-		
08.01.2002	227.300		-	-	-		
01.01.2002	243.502		-	-	-		
01.12.2001	243.502		-	-	-		
01.11.2001	243.502		-	-	-		
01.10.2001	235.449		-	-	-		
01.09.2001	210.486		-	-	-		
01.08.2001	197.639		-	-	-		
01.07.2001	182.324		-	-	-		
01.06.2001	172.983		-	-	-		
01.05.2001	159.578		-	-	-		

15.04.2001	151.402		-	-	-		
01.04.2001	143.782		-	-	-		
26.03.2001	130.711		-	-	-		
01.03.2001	118.828		-	-	-		
01.02.2001	108.025		-	-	-		
01.01.2001	104.372		-	-	-		
24.11.2000	102.225		-	-	-		
14.11.2000	100.506		-	-	-		
18.10.2000	99.815		-	-	-		
26.09.2000	99.791		-	-	-		
16.09.2000	98.932		-	-	-		
05.09.2000	97.117		-	-	-		
23.08.2000	96.228		-	-	-		
05.08.2000	95.496		-	-	-		
06.06.2000	95.466		-	-	-		
19.05.2000	95.048		-	-	-		
09.03.2000	93.422		-	-	-		
01.03.2000	90.534		-	-	-		

(\*) Fatura tanzim tarihinde geçerli olan ÖTV tutarıdır.

**Not:** 01.02.2004 tarihinden itibaren Dağıtım Şirketlerinin fiyatları kullanım amaçlarına göre farklılaştırılmıştır.

01 Mart 2000 tarihinden itibaren Konut fiyatları TL bazında belirlenmektedir.

Dağıtım Kuruluşları fiyatlarının belirlenmesinde doğal gazın 9155 kcal/Sm<sup>3</sup> olan üst ısı değeri esas alınmaktadır.

12.06.2002 Tarih ve 24783 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Özel Tüketim Vergisi Kanunu" gereği, 12.06.2002 tarihinden itibaren doğal gaz satış fiyatlarına Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) uygulanmaktadır. Bu oranlar T.C. Maliye Bakanlığı tarafından belirlenmektedir.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Ordu’da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Alanyurt İlköğretim Okulunda, Lise Öğrenimini ise Ordu Fatih Lisesi’nde tamamladı. 1999 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ekim 2006’dan itibaren Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosuyla Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.