

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN EKONOMİK
ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

Ramazan GÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Talat İNAN

İSTANBUL 2009

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN EKONOMİK
ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

Ramazan GÜN
(141101720070007)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Talat İNAN

İSTANBUL 2009

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlayıp sunduğum bu çalışmamın her aşamasında gerekli teşvik ve desteklerini esirgemeyen Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. A. Talat İNAN ile Makine Eğitimi Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mustafa KURT'a, ayrıca yetişmemde büyük katkıları olan Teknik Eğitim Fakültesi hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmamda Kojenerasyon sisteminin ekonomik (maliyet) analizi hesaplamalarında yardımlarını ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen Arke Enerji Sistemleri ve Ticaret Ltd. Şti. yetkililerinden Makine Yüksek Mühendisi Özay KAS'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak her zaman bana destek veren ve yanımda olan çok değerli sevgili eşim Gülşen GÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2009

Ramazan GÜN

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
SEMBOLLER.....	vii
KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLolar.....	xi
BÖLÜM I	1
I.1. Giriş.....	1
I.2. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Tüketimi.....	2
I.2.1. Dünya’da Enerji Tüketimi.....	2
I.2.2. Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketimi.....	3
I.2.3. Türkiye’de Enerji Planlaması.....	6
I.3. Kojenerasyon.....	12
I.4. Kojenerasyon Sisteminin Tarihsel Gelişimi.....	13
I.5. Kojenerasyon Sisteminin Modülleri.....	14
I.6. Türkiye’de Kojenerasyon Sistemi.....	16
I.7. Avrupa’da Kojenerasyon Sistemi.....	18
I.8. Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Yerleri.....	19
I.9. Çeşitli Kojenerasyon Uygulamaları.....	20
I.9.1. Absorbsiyon Chiller ile Soğutma.....	20
I.9.2. Kurutma Havası Üretimi.....	21
I.9.3. Kızgın Yağ ve Endüstriyel Isıtma.....	21
I.9.4. Merkezi Isıtma.....	22
I.9.5. Endüstriyel ve Merkezi Isıtma.....	22
I.9.6. Sera Isıtması.....	23

I.9.7. Desalinizasyon ile Suyun Tuzdan Arındırılması Uygulaması.....	23
I.9.8. Çöplük Gazı Uygulaması.....	24
I.10. Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları.....	24
I.11. Kojenerasyon Uygulamaları ve Sera Gazları	
Emisyonlarına Etkisi.....	26
BÖLÜM II.....	28
II.1. Türkiye’de Yapılan Araştırmalar.....	28
II.2. Dünya’da Yapılan Araştırmalar.....	31
BÖLÜM III	37
III. Materyal ve Yöntem.....	33
III.1. Materyal.....	33
III.1.1. Kojenerasyon Sistemlerinde Üretim Teknikleri.....	33
III.1.2. Gaz Türbinleri.....	35
III.1.2.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Tekniği.....	36
III.1.2.2. Basit Çevrimli Gaz Türbinli Kojenerasyon.....	37
III.1.2.3. Rejeneratör İlaveli Gaz Türbinli Kojenerasyon	
Sistemi.....	38
III.1.2.4. Gaz Türbinleri Emisyonları ve Kontrolü.....	39
III.1.3. Gaz motorları.....	42
III.1.4. Buhar Türbinleri	45
III.1.5. Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar.....	46
III.2. Yöntem.....	48
III.2.1. Bölgesel Isıtma.....	51
III.2.2. Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensibi.....	52
III.2.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik	
Olurluluğunun Belirlenmesi.....	53
BÖLÜM IV.....	56
IV.1. Kojenerasyon Sisteminin Uygulaması için Ekonomik Analizinin	
Hesap Tekniği.....	56
IV.2. Kojenerasyon Santralinin İşletme Maliyet Analizinde Yararlanılan	
Eşitlikler.....	56
IV.2.1. Kojenerasyon Santrali Kurulmadan Önceki Enerji	
İhtiyaçları.....	56

IV.2.2. Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek	
Elektrik İhtiyacı.....	57
IV.2.3. Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek	
Isıtma İhtiyacı.....	57
IV.2.4. Kojenerasyon Santralinin Üretebileceği	
Elektrik ve Isı Enerjisi.....	58
IV.2.5.Kojenerasyon Santralinde Elektrik, Isı ve Yük	
Verimi Yüzdesi.....	58
IV.2.6.Kojenerasyon Santralinin Kurulumundan Sonraki	
Genel Maliyetler.....	59
IV.2.7.Kojenerasyon Santralinin İşletme Giderleri.....	59
BÖLÜM V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	70
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

Sınırlı olan enerji kaynaklarının azalması, sanayileşme ile birlikte enerji talebindeki artış ve fosil yakıtların gaz salınımlarından dolayı meydana gelen çevre problemleri, enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Dünyada olduğu gibi Türkiye’de enerji politikalarını buna göre belirlemektedir. Enerji politikaları kısaca; dışa bağımlılığı azaltmak, maliyeti düşürmek, rekabet gücünü artırmak ve çevre problemlerini oluşturan emisyonların azaltılması şeklinde söylenebilir. Aynı zamanda üretim tesislerini de yerli doğal kaynakları kullanmaya ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı hale getirmeye çalışmaktadır. Kojenerasyon uygulamasını teşvik edici çalışmalar bu kapsamda yer almaktadır.

Kojenerasyon; hem elektrik hem de ısı enerjisinin birlikte eş zamanlı olarak üretilmesidir. Kısaca tüm ısı makinalarının çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmak olarak da tarif edilebilir. Kojenerasyon tekstil, kağıt, seramik, gıda ve ağaç gibi birçok sanayi sektöründe uygulandığı gibi merkezi ve bölgesel ısıtma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Kojenerasyon santrallerinde yakıt olarak ta doğal gaz, kömür, fueloil ve sıvılaştırılmış doğal gaz gibi yakıtlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri detaylı bir şekilde incelenmiş olup, Ankara’da A tipi özel bir hastanenin yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak bir kojenerasyon santralinde üretilen ısı ve elektriğin maliyet analizi yapılarak ekonomik kazanç hesaplanmıştır. Bu işletme ısıyı, ısı merkezinden birincil enerji kaynağı doğalgazdan, elektriği ise TEDAŞ’tan karşılamaktadır. Bu durumda her iki ikincil enerjiyle yapılan harcama ile (birincil enerji aynı olmak koşuluyla) kojenerasyon santrali kurulumunda ısı ve elektrik enerjisinin birlikte üretimine yapılan harcamanın karşılaştırılması yapılarak yıllık olarak elde edilen net tasarruf tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon sistemler, kojenerasyon uygulaması, ısıtma sistemlerinde kojenerasyon

ABSTRACT

AN APPLICATION ON THE COST ANALYSIS OF COGENERATION SYSTEMS

Diminishing of limited energy resources, the dramatic increase in the demand for energy supply as a result of industrialization and gas emissions from fossil fuels all together cause environmental problems. This fundamental problem makes it crucial to use the energy efficiently. Likewise the other countries all over the world, Turkey designates its energy usage policies accordingly. These policies can be summarized as decreasing the dependence to foreign markets, reducing the costs, increasing the competitive power and decreasing the emissions which cause environmental problems. Furthermore, semi-natural resources are used in production plants and the usage of renewable energy resources and cogeneration applications are encouraged.

Cogeneration is a process where electrical and thermal energy is produced simultaneously. In other words, the waste heat given off by heat machines is utilized. In addition to textile, paper, ceramic, food and wood industry cogeneration can be used at central and regional heating. Natural gas, coal, fuel oil and LNG are used as fuels at cogeneration power stations.

In this study cogeneration systems were focused in detail and cost analysis was conducted for an A type Ankara hospital which supplies its annual heat and electrical energy from a cogeneration system. This enterprise supplies its heat from natural gas which is the primary energy and the electrical energy is supplied from TEDAŞ. In this case, the expenditure of both secondary energies (required that the primary energy is the same) was compared with the expenditure of a cogeneration system which produces heat and electrical energy simultaneously. Finally the net benefit was determined.

Key Words: Cogeneration Systems, Application of Cogeneration Systems, Cogeneration in Heating Systems.

July, 2009

Ramazan GÜN

SEMBOLLER

α	: Amortisman faktörü
η	: Isıl Verim
W	: Üretilen iş
Q_H	: Alınan ısı enerji
Q_L	: Çevreye aktarılan ısı enerji
f_q	: Isının fiyatı
f_e	: Elektriğin fiyatı
f_y	: Yakıtın fiyatı
s	: Santralin yıllık çalışma saati

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CHP	: Combine Heat and Power
CCHP	: Combine Cooling Heat and Power
EIO	: Elektrik Isı Oranı
EYO	: Enerjide Yararlanma Oranı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı
GB	: Gaz Türbini
GM	: Gaz Motoru
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
J	: Jeneratör
SSCB	: Sovyet Sosyal Cumhuriyet Birliği
PV	: Foto Voltaik
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TYÜK	: Talebin Yerli Üretimle Karşılama Oranı

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil I.1. Nihai Enerji İhtiyacımızın Karşılanması.....	6
Şekil I.2. Genel Enerji Talebi.....	7
Şekil I.3. Genel Enerji Talebi.....	7
Şekil I.4. Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı.....	9
Şekil I.5. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri.....	10
Şekil I.6. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri.....	10
Şekil I.7. Enerji Kaynakları İthalatı	11
Şekil I.8. Enerji Üretim ve Net İthalat.....	12
Şekil I.9. Kojenerasyon Şeması.....	13
Şekil I.10. Kojenerasyon Sisteminin Şematik Görünümü	15
Şekil I.11. Kojenerasyon Sistemlerinin Modülleri.....	15
Şekil I.12. Türkiye’de Kojenerasyonun Sektörel Dağılımı	17
Şekil I.13. Kojenerasyon Tesislerinin Kullandıkları Yakıt Türüne Göre Dağılımı....	17
Şekil I.14. Türkiye’de Elektrik Üretimine Yakıt Cinslerine Göre Dağılımı.....	17
Şekil I.15. Türkiye’de yıllara göre Kurulmuş Kojenerasyon Santrallerinin Gücü ...	18
Şekil I.16. Avrupa’da Kojenerasyon	19
Şekil I.17. Dünya’da Kojenerasyon.....	19
Şekil I.18. Absorbsiyonlu Chiller ile Kojenerasyon Soğutma Yapılması	21
Şekil I.19. Kojenerasyon Sisteminde Kurutma Hava Üretimi.....	21
Şekil I.20. Kojenerasyon Sisteminde Kızgın Yağ Elde Edilmesi.....	22
Şekil I.21. Kojenerasyon Sistemi ile Bölgesel Isıtma Yapılması.....	22
Şekil I.22. Ekmek Fırını Uygulaması.....	23
Şekil I.23. Sera Isıtılması.....	23
Şekil I.24. Deniz Suyundan İçme Suyu Elde Edilmesi.....	24
Şekil I.25. Çöplük Gazından Enerji Elde Edilmesi.....	24
Şekil I.26. Klasik ve Kojenerasyon Sistemlerine ait Enerji Akış Diyagramları.....	25
Şekil II.1. Trijenerasyon.....	29
Şekil III.1. Gaz Türbini.....	33
Şekil III.2. Gaz Motoru ya da Dizel Motor.....	34

Şekil III.3. Soğutma Devreleri.....	34
Şekil III.4. Gaz Türbinli Basit Çevrim Kojenerasyon Tesisi Prensip Şeması.....	36
Şekil III.5. Gaz ve Buhar Türbininden Oluşan Kombine Çevrim Kojenerasyon Tesisi Prensip Şeması.....	37
Şekil III.6. Basit Çevrimli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi.....	38
Şekil III.7. Basit Çevrimli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi Enerji Verimliliği.....	38
Şekil III.8. Rejeneratör İlaveli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi Akış Şeması.....	39
Şekil III.9. Gaz Motorundaki Enerji Dağılımı.....	42
Şekil III.10. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Prensip Şeması.....	43
Şekil III.11. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemi.....	45
Şekil III.12. Çeşitli Birincil Yakıtların Isıl Değerleri.....	46
Şekil III.13. Kojenerasyon ve Konvansiyonel Sistemlerle Enerji Üretimlerinin Sankey Diyagramı Karşılaştırılması.....	49
Şekil III.14. Isı Makinası Akış Diyagramı.....	50
Şekil III.15. Kojenerasyon Sisteminin Akış Diyagramı.....	51
Şekil III.16. Kojenerasyon Sistemlerinin Çalışma Prensibi	53
Şekil III.17. Yük-Süre Eğrisi.....	54
Şekil V.1. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Isıtma Enerjisi İhtiyacı.....	71
Şekil V.2. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Elektrik Enerjisi İhtiyacı.....	72
Şekil V.3. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Elektrik ve Isı Enerjisi İhtiyacı.....	72
Şekil V.4. Kojenerasyon Sisteminin Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler	73
Şekil V.5. Kojenerasyon Sisteminin Elektrik ve Isı Enerjisini Karşılama Verimi....	74

TABLÖLAR

SAYFA NO

Tablo I.1. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi.....	3
Tablo I.2. Genel Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	4
Tablo I.3. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	4
Tablo I.4. Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı.....	4
Tablo I.5. Enerji Talep - Üretim - İthalat ve İhracatının Gelişimi.....	5
Tablo I.6. Genel Enerji Talepleri.....	6
Tablo I.7. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	8
Tablo I.8. Genel ve Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı.....	8
Tablo I.9. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri.....	9
Tablo I.10. Enerji Kaynakları İthalatı.....	10
Tablo I.11. Enerji Talep - Üretim ve İthalatının Gelişimi.....	11
Tablo III.1. Gaz Türbinleri Egzoz Emisyon Değerleri.....	40
Tablo III.2. Bazı Yakıtların Metan Sayıları ve Diğer Özellikleri.....	47
Tablo IV.1. 2008 Yılına ait Fatura Değerleri ve Kojen Ünitesinin Teknik Bilgileri.....	61
Tablo IV.2. Ankara’da Özel Bir Hastaneye ait Kojenerasyon Sisteminin 2008 yılı Tasarruf Analiz Tablosudur. (770 kW – Doğalgaz Yakıtlı Santral).....	69
Tablo V.1. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Enerji İhtiyaçları.....	71
Tablo V.2. Kojenerasyon Sistemi Kurulumunda Enerji İhtiyaçları	72
Tablo V.3. Kojenerasyon Sisteminin Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler	73
Tablo V.4. Kojenerasyon Sisteminin Elektrik ve Isı Enerjisini Karşılama Verimi...	73

BÖLÜM I

I.1. Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi, ekosistem ile ekonomik sebepler, sınırlı olan enerji kaynaklarının verimli biçimde kullanılması bakımından enerjinin üretimi ve kullanım aşamasında kayıpları azaltarak enerji verimliliğinin artırılmasını hedeflenmektedir. Bu nedenle enerjinin üretimi ve kullanım aşamalarında yeni stratejiler oluşturulmaktadır. Birincil yakıt rezervlerinin azaldığı ve küresel rekabetin arttığı günümüzde enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak kaçınılmaz olmuştur. Enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesi demek olan kojenerasyon, günümüz çağdaş enerji yönetimi teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Basit çevrimde çalışan bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin % 30-40 kadarını elektriğe çevirebilmektedir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir.

Yapılan araştırmalar sonucu 2005 yıl sonu itibariyle Dünya’da bilinen petrol rezervinin 2040, doğalgazın 2065 ve kömürünün 2227 yılında tükenecek olması öngörülmektedir. Bu durum ise alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ile ilgili projelerin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca enerji israfından vazgeçilmesi ve enerjiyi en yüksek verimle kullanabilecek teknolojik yenilikleri de gerçekleştirmek için özel çaba sarf edilmesi gereklidir.

Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik ömürleri 100.000 – 150.000 saat mertebesinde dir. Bu da yaklaşık 12–20 yıla karşılık gelmektedir. Enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması Dünya’da yıllardır üzerinde çalışılan bir konu olmasına rağmen Türkiye’de özellikle son yıllarda pratik ve teorik olarak gelişmeye başlamıştır [3].

Bu çalışmada, kojenerasyon sistemleri ve modüllerinin geniş bir şekilde tanıtımı yapılacak daha sonra yapılacak çalışmanın ekonomik (maliyet) analizi üzerinde durulacaktır. Bu ekonomik (maliyet) analizin tartışılması, sistemde kullanılan yakıt, kojenerasyon tekniği ve uygulamanın yapıldığı yer göz önünde bulundurularak ele alınacaktır.

I.2. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Tüketimi

I.2.1. Dünya’da Enerji Tüketimi

Daha güçlü bir ekonomik büyümeye rağmen Dünya toplam enerji tüketimindeki artış 2005 yılına göre 2006 yılında yavaşlamıştır. Enerji fiyatları yakıt türüne ve bölgelere göre farklılıklar gösterse de, alışılmış değerleri üzerinde seyretmiştir. 2006 yılında da ham petrol fiyatları artmıştır. Doğal gaz ve kömür fiyatları ise Kuzey Amerika hariç tüm bölgelerde artış göstermiştir. Dünya birincil enerji tüketimi 2006 yılında son on yıllık ortalamanın üzerine çıkarak % 2,4 artmıştır. Birincil enerji tüketimi en hızlı artan bölge % 4,9 ile Asya Pasifik ülkeleridir. Bu artışın en büyük kısmını ise Çin’de görülen % 8,4’lük birincil enerji tüketimi artışı oluşturmuştur.

Dünya petrol tüketimi 2006’da % 0,7 artarak günlük 83,7 milyon varile ulaşmış Petrol tüketimindeki en büyük artış % 6,7 ile Çin’de görülmüştür. Suudi Arabistan, Venezüella ve Nijerya’da çıkarılan ham petrol miktarındaki azalma Birleşik Arap Emirlikleri ve Irak’taki artışlarla dengelenmiştir. Rusya 2006 yılında petrol üretimini günlük 220 bin varil artırarak eski SSCB sonrası dönemde yeni bir tepe noktasına ulaşmıştır.

Dünya toplam doğalgaz tüketimi 2005 yılında % 3,4 artmış 2006’da ise % 2,5 olarak artmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde bu dönemde yüksek fiyatlar ve ılıman bir iklim yaşanmış olması nedeniyle doğalgaz tüketim miktarı düşerken, Çin ve Rusya’da artmıştır. Dünya çapındaki artışın % 40’ı Rusya’dan kaynaklanmıştır. Doğalgaz üretimi ise 2006 yılında % 3 oranında artarken Rusya yine en büyük doğalgaz üreticisi olma konumunu sürdürmüştür.

Dünya kömür tüketimi % 4,5 artışla, tüketimi en hızlı artan hidrokarbon olma özelliğini 2006’da da sürdürmüştür. 2005’te görülen % 5,7’lik artış oranı azalsa da; mevcut artış son on yıllık ortalamanın üzerinde seyretmiştir. Dünya’nın en fazla kömür tüketen ülkesi Çin, kömür tüketimini % 8,7 artırmıştır. Dünya’daki kömür

tüketimindeki artışın % 70'i Çin'den kaynaklanmıştır. ABD'deki kömür tüketimi 2002'den bu yana 2006'da ilk kez azalmıştır. Diğer bölgelerde ise kömür tüketimi % 3,5 artmıştır [21].

I.2.2. Türkiye'de Enerji Üretim ve Tüketimi

Birincil enerji tüketimi yıllık ortalama % 2,8 oranında bir artışla 2005 yılı sonu itibariyle 92,5 milyon ton petrol eş değerine (Mtep), elektrik enerjisi tüketimi ise yıllık % 4,6 oranında bir artışla 160,8 milyar kWh'e ulaşmıştır. 2001 krizinin etkilerinin hafiflediği 2003 sonrası dönemde ise birincil enerji tüketimi yıllık ortalama % 5,7, elektrik enerjisi tüketimi ise % 6,7 oranında büyümüştür. 2006 yılında kömür, birincil enerji kaynakları üretiminin % 48,3'ünü, petrol % 8,5'ini, doğalgaz % 3,1'ini, hidrolik (jeoterm. elek) % 12,6' sını, jeotermal (ısı) % 4,0' sını, diğer yenilenebilir kaynaklar (güneş + rüzgar) % 1,5'ini, ticari olmayan yakıtlar (odun, hayvan ve bitki atıkları) ise % 19,2'sini oluşturmaktadır. Tablo I.1 de Türkiye'de birincil enerji kaynakları üretimi görülmektedir.

Tablo I.1. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi[21].

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
TAŞKÖMÜRÜ (BIN TON)	2745	2248	2392	2494	2319	2059	1946	2170	2319
LİNYİT (BIN TON)	44407	52758	60854	59572	51660	46168	43709	57708	61484
ASFALTİT (BIN TON)	276	67	22	31	5	336	722	888	452
PETROL (BIN TON)	3717	3516	2749	2551	2442	2375	2276	2281	2176
DOĞAL GAZ MİLYON M ³)	212	182	639	312	378	561	708	897	907
HİDROLİK (GWh)	23148	35541	30879	24010	33684	35330	46084	39561	44338*
JEOTERM.ELEK. (GWh)	80	86	76	90	105	89	93	94	*
JEOTERM. ISI (BIN TEP)	364	437	648	687	730	784	811	926	1081
RÜZGAR GWh)			33	62	48	61	58	59	127
GÜNEŞ (BIN TEP)	28	143	262	287	318	350	375	385	403
ODUN (BIN TON)	17870	18374	16938	16263	15614	14991	14393	13819	13293
HAY.BİT.ART. (BIN TON)	8030	6765	5981	5790	5609	5439	5278	5127	4984
TOPLAM (BIN TEP)	25478	26719	26047	24576	24282	23783	24332	24559	26802
TOPLAM YILLIK ARTIŞ (%) (BIN TEP)	-1,1	0,8	-5,8	-5,6	-1,2	-2,1	2,3	0,9	9,1

*2006 yılı HİDROLİK (GWh) ve JEOTERM. ELEK. (GWh) verileri birlikte verilmiştir.

1990 yılında 944 kep/k. olan kişi başına enerji tüketimi, 2006 yılında 1365 kep/k. olmuştur. Türkiye'de genel enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo I.2. de verilmektedir.

Tablo I.2. Genel Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı [21].

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	8181	8548	15525	11176	13830	17535	18904	19421	22798
LİNYİT (BİN TON)	45891	52405	64384	61010	52039	46051	44823	56571	60184
ASFALTİT (BİN TON)	287	66	22	31	5	336	722	738	602
PETROL (BİN TON)	22700	27918	31072	29661	29776	30669	31729	31062	31395
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	3418	6937	15086	16339	17694	21334	22446	27488	31313
HİDROLİK (GWh)	23148	35541	30879	24010	33684	35330	46084	39561	44338*
JEOTERMAL ELEK. (GWh)	80	86	76	90	105	89	93	94	*
JEOTERMAL ISI (BİN TEP)	364	437	648	687	730	784	811	926	1081
RÜZGAR (GWh)	-	-	33	62	48	61	58	59	127
GÜNEŞ (BİN TEP)	28	143	262	287	318	350	375	385	403
ODUN (BİN TON)	17870	18374	16938	16263	15614	14991	14393	13819	13293
HAY.BİT. ART. (BİN TON)	8030	6765	5981	5790	5609	5439	5278	5127	4984
NET ELEK. İTHALİ (GWh)	-731	-696	3354	4146	3153	570	-680	-1162	-1663
İKİNCİL KÖMÜR İTHALİ (BİN TON)	453	1024	2184	1949	2310	2259	2209	2573	2343
TOPLAM (BİN TEP)	52987	63679	80500	75402	78331	83826	87818	91362	99590
YILLIK ARTIŞ (%)		3,7	10,0	-8,9	6,1	9,3	6,2	4,0	9,0
KİŞİ BAŞINA TÜK. (kgpe)	944	1031	1194	1100	1125	1185	1231	1268	1365

*2006 yılı HİDROLİK (GWh) ve JEOTERM. ELEK. (GWh) verileri birlikte verilmiştir.

Türkiye’de 1990 ile 2006 yılları arasında nihai enerji tüketiminin kaynaklara ve sektörlere göre dağılımı Tablo I.3 ve Tablo I.4 de verilmektedir.

Tablo I.3. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı*[21].

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	2747	3040	9244	5344	8211	9747	9965	9904	12395
LİNYİT (BİN TON)	15739	12420	11070	7454	9336	10339	10808	8009	9330
ASFALTİT (BİN TON)	285	66	18	30	5	336	722	738	602
PETROL (BİN TON)	19380	24193	24750	23399	23335	24613	26100	26333	26553
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	862	3335	5201	5392	5858	8537	9112	11725	14272
ELEKTRİK (GWh)	45670	65724	96140	95445	101298	110748	120305	129416	142216
JEOTERMAL ISI (BİN TEP)	364	437	648	687	730	784	811	3153	3280
GÜNEŞ (BİN TEP)	28	143	262	287	318	350	375	385	403
ODUN (BİN TON)	17870	18374	16938	16263	15614	14991	14393	13819	13268
HAY.BİT. ART. (BİN TON)	8030	6765	5981	5790	5609	5439	5278	5127	4984
İKİNCİL KÖMÜR (BİN TON)	3644	4158	5112	4538	4910	5185	5357	5596	5629
NET (BİN TEP)	41611	49976	61556	56048	59486	64990	69004	71798	77366
YILLIK ARTIŞ (%)		3,7	10,0	-8,9	6,1	9,3	6,2	4,1	7,8

*Nihai enerji tüketimi verilerinde, kaynakların elektrik üretimi harici tüketim miktarları esas alınır. Kaynakların, elektrik üretimi amacıyla kullanılan miktarları ise, tabloda elektrik enerjisi cinsinden ifade edilir.

Tablo I.4. Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı [21].

	1990	%	1995	%	2000	%	2004	%	2005	%	2006	%
SANAYİ	14542	35	17372	35	24501	40	28789	42	28282	39	30984	40
KONUTve HİZMETLER	15358	37	17596	35	20058	33	20952	30	23013	32	23726	31
ULAŞTIRMA	8723	21	11066	22	12008	20	13775	20	13849	19	14884	19
TARIM	1956	5	2556	5	3073	5	3314	5	3359	5	3610	5
ENERJİ DIŞI	1031	2	1386	3	1915	3	2174	3	3296	5	4163	5
NET	41611	100	49976	100	61555	100	69001	100	71798	100	77366	100
ÇEVİRİM-ENERJİ	11376	21	13702	22	18945	24	18814	21	19564	21	22223	22
GENEL ENERJİ TÜKETİMİ	52987	100	63678	100	80500	100	87818	100	91362	100	99590	100

1990 yılında 41,6 Mtep olan nihai enerji tüketimi yıllık ortalama % 2,9'luk artışla 2004 yılında 69,0 Mtep, 2006 yılında 77,4 Mtep değerine ulaşmıştır. Bu dönemde nihai enerji tüketim yapısındaki önemli değişiklik elektrik ve doğalgaz tüketiminde olmuştur. 1990 yılında nihai enerji tüketimi içinde doğalgazın payı % 1,9'dan 2006 yılında % 17,4'e, elektrik tüketiminde ise % 9,4'den % 15,8'e yükselmiştir. Bu dönem içerisinde gerek jeotermal ısı kullanımında ve gerekse güneş enerjisinde önemli artışlar gözlenirken, ticari olmayan yakıtların tüketimlerinde düşüşler olmuştur. 1999 yılından itibaren Türkiye'de rüzgardan elektrik enerjisi üretimine de başlanmıştır. 2006 yılında nihai enerji tüketiminde petrol % 35,6 ile en yüksek paya sahip olurken, petrolü % 10,6 ile taşkömürü izlemiştir. Nihai enerji tüketimi içerisinde sanayi sektörünün payı 1990'da % 35'den 2006 yılında % 40'a yükselmiştir. Bu dönem içerisinde nihai tüketim toplamı içerisinde petrolün payı ise % 36'dan % 35,6 düşmüştür.

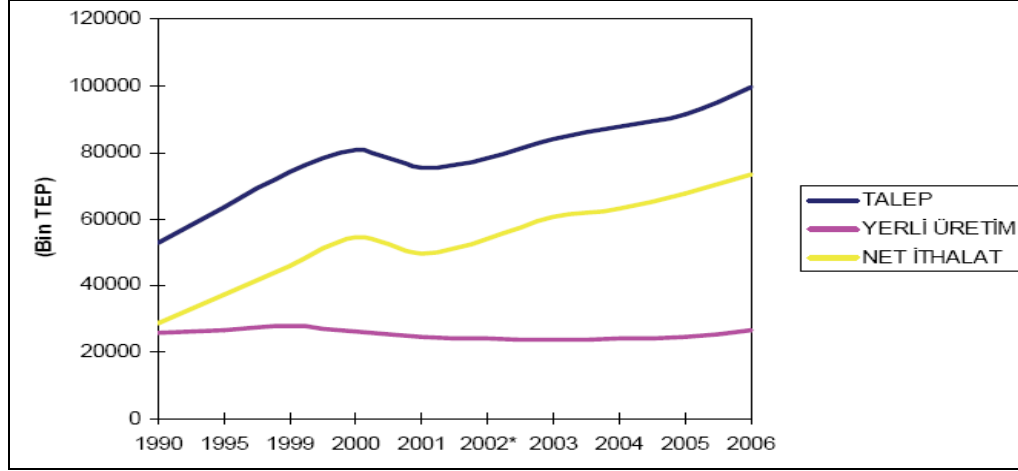
Yerli kaynaklarımızdan üretilen enerji miktarındaki artışın enerji talebimizden daha düşük olması nedeniyle, net enerji ithalatımız 1990'daki 28,5 Mtep değerinden 2006'da 73,4 Mtep değerine ulaşmıştır. Bu miktardaki ithal enerji kaynaklarına yalnızca 2006 yılında 29 milyar dolar ödenmiştir. Geçmiş yıllarda olduğu gibi, 2006 yılında da başta petrol olmak üzere doğalgaz, taş kömürü ve elektrik enerjisi ithalatı yapılmıştır. Kömür ithalatları toplam olarak 15,1 Mtep (% 18,8), ham petrol ve petrol ürünleri ithalatı 37,4 (Mtep) (% 46,5), doğalgaz ithalatı 30,0 Mtep (% 37,3) ve elektrik enerjisi ithalatı 0,05 (Mtep) olmuştur. 2006 yılında enerji talebimizin % 73,3'ü ithalat ile karşılanırken ancak % 26,7'si yerli kaynaklar (üretim) ile karşılanmıştır. Tablo I.5'de Enerji Talep - Üretim - İthalat ve İhracatının Gelişimi, Şekil I.1'de de Nihai Enerji İhtiyacımızın Karşılanması görülmektedir.

Tablo I.5. Enerji Talep – Üretim - İthalat ve İhracatının Gelişimi (BİN TEP)[21].

	1990	1995	1999	2000	2001	2002*	2003	2004	2005	2006
TALEP	52987	63679	74275	80501	75403	78354	83826	87818	91362	99590
ÜRETİM*	25656	26749	27729	26156	24681	24324	23783	24332	24549	26802
İTHALAT	30936	39779	49406	56342	52780	58629	65239	67885	73480	80514
İHRACAT	2104	1947	2791	1584	2620	3162	4090	4022	5171	6572
İHRAKİYE	355	464	587	467	624	1233	644	631	628	588
NET İTHALAT	28477	37368	46028	54291	49536	54234	60505	63232	67681	73354
TYÜKO** (%)	48,1	42,0	37,2	33,1	32,6	31,0	28,4	27,7	26,9	26,9

*Rafineri dışı üretim dahildir.

**TYÜKO: Talebin Yerli Üretimle Karşılama Oranı



Şekil I.1. Nihai Enerji İhtiyacımızın Karşılanması [21].

I.2.3. Türkiye’de Enerji Planlaması

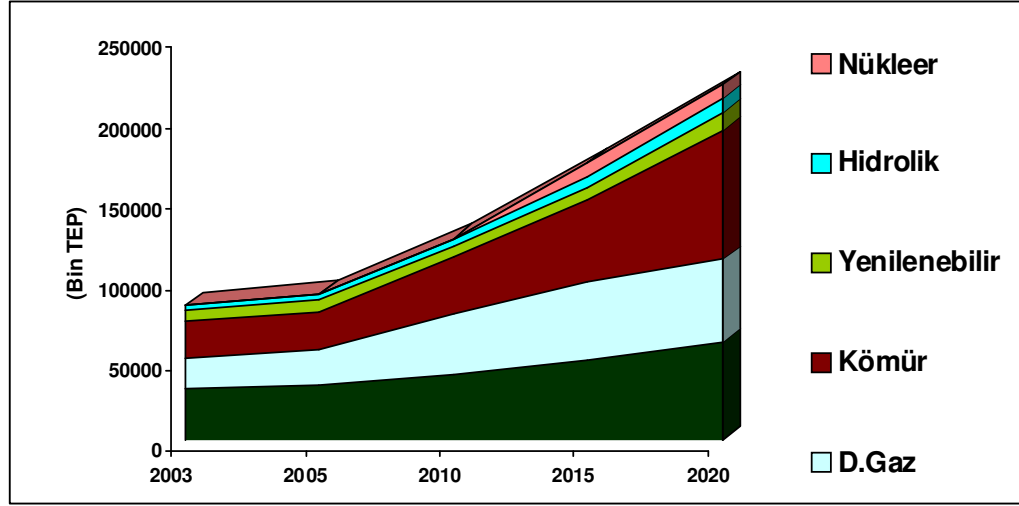
2003 yılında 83,8 Mtep olan genel enerji talebinin yıllık ortalama % 5,9 artış hızı ile 2005 yılında 91 Mtep, 2010 yılında 125,6 Mtep ve 2020 yılında 222,3 Mtep’e ulaşması beklenmektedir.

Tablo I.6. Genel Enerji Talepleri [22].

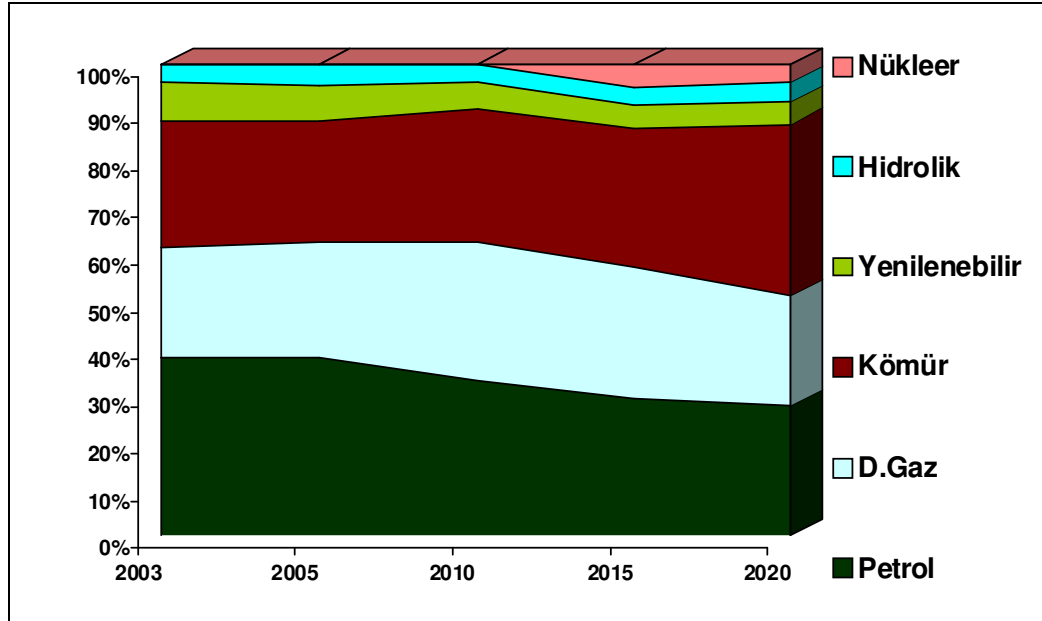
	2003	2005	2010	2015	2020
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	17487	25763	29273	44952	80623
LİNYİT (BİN TON)	46051	37704	102557	151511	209585
ASFALTIT (BİN TON)		200	700	700	700
PETROL (BİN TON)	30669	33534	39847	48757	58868
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	21374	25747	42624	51357	59300
NÜKLEER (GWh)				31579	31579
HİDROLİK (GWh)	35330	47287	57009	82095	109524
RÜZGÂR (GWh)	61	160	4890	6636	8382
JEOTERM. ELEKT. (GWh)	89	330	384	384	384
JEOTERMAL ISI (BİN TEP)	784	976	1650	2736	4484
GÜNEŞ (BİN TEP)	350	409	495	605	862
ODUN (BİN TON)	14991	13819	11275	10250	10250
HAY. BİT. ART. (BİN TON)	5439	5127	4493	4026	3696
TOPLAM (BİN TEP)	83804	91048	125585	169486	222274
ARTIŞ (%)		4,2	6,6	6,2	5,6
KİŞİ BAŞINA TÜK. (kgpe)	1184	1287	1601	2170	2533

Talebin kaynaklara dağılım oranına baktığımızda; 2003 yılında kömür % 26,8, petrol % 38, doğalgaz % 23,2, hidrolik % 3,6, ticari olmayan yakıtlar % 6,9 ve yenilenebilir kaynaklar % 1,5 pay alırken, bu payların 2020 yılında kömür % 36,2, petrol % 27,5, doğalgaz % 23,2, hidrolik % 4,2, ticari olmayan yakıtlar % 1,8, yenilenebilir kaynaklar % 3,4 ve nükleer % 3,7 olması beklenmektedir.

2003 yılında 1184 kgpe olan kişi başına genel enerji tüketiminin, 2005 yılında 1287 kgpe, 2010 yılında 1601 kgpe ve 2020 yılında ise 2533 kgpe olması beklenmektedir. Tablo I.6 ve Şekil I.2 ile Şekil I.3’ de Türkiye’de genel enerji talebi görülmektedir.



Şekil I.2. Genel Enerji Talebi [22].



Şekil I.3. Genel Enerji Talebi [22].

Tablo I.7. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı [22].

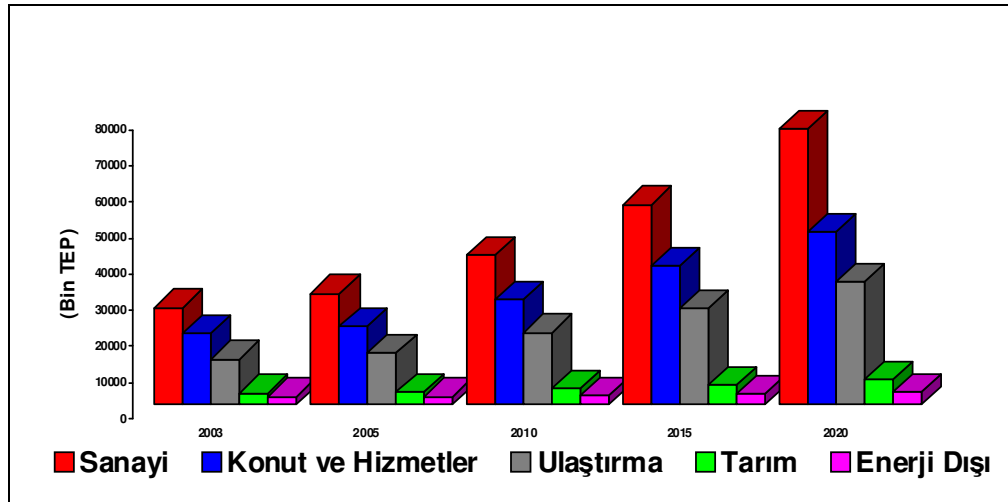
	2003	2005	2010	2015	2020
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	9737	17142	18549	32797	53354
LİNYİT (BİN TON)	11107	9986	10951	11126	12201
ASFALTİT (BİN TON)		200	700	700	700
PETROL (BİN TON)	25488	27717	34814	43225	52890
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	8669	11002	21561	25066	27240
ELEKTRİK (GWh)	108326	127756	199948	305357	432841
JEOTERMAL ISI (BİN TEP)	784	976	1650	2736	4484
GÜNEŞ (BİN TEP)	350	409	495	605	862
ODUN (BİN TON)	14991	13819	11275	10250	10250
HAY. BİT. ART. (BİN TON)	5439	5127	4493	4026	3696
İKİNCİL KÖMÜR (BİN TON)	5184	3592	4211	5459	7405
NET (BİN TEP)*	63833	72252	97309	128673	167781
ARTIŞ (%)		6,4	6,1	5,7	5,5

2003 yılında 63,8 Mtep olan nihai enerji tüketiminin yıllık ortalama % 5,8’lik artışla 2020 yılında 167,8 Mtep’e ulaşması beklenmektedir (Tablo I.7.) . 2003 yılında % 41 olan petrolün payının 2020 yılında % 33’e düşmesi, aynı şekilde ticari olmayan kaynakların payının da % 9’dan % 2’ye düşmesi, aynı yıllar itibariyle % 15 olan elektrik enerjisinin payının % 22’ye, % 21 olan toplam kömürün payının % 25’e, doğalgazın % 12’den % 15’e, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise % 2’den % 3’e çıkması beklenmektedir.

Tablo I.8. Genel ve Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı (BİN TEP) [22].

	2003	%	2005	%	2010	%	2015	%	2020	%
SANAYİ	26736	42	30571	42	41450	43	55296	43	76180	46
KONUT VE HİZ.	19517	31	21650	30	29019	30	38507	30	47459	28
ULAŞTIRMA	12396	19	14299	20	19914	20	26541	21	34039	20
TARIM	3087	5	3489	5	4370	4	5443	4	6753	4
ENERJİ DIŞI	2098	3	2244	3	2556	3	2886	2	3261	2
NIHAİ ENERJİ TÜKETİMİ	63833	100	72252	100	97309	100	128673	100	167781	100
ÇEVİRİM SEKTÖRÜ	19972	24	18796	21	28275	23	40813	24	54493	25
GENELENERJİ TÜKETİMİ	83804	100	91048	100	125585	100	169486	100	222274	100

2003 - 2020 yılları arasında tüketimin sektörlere dağılımı incelendiğinde, 2003 yılında % 42 ile en yüksek payı alan sanayi sektörünün bu durumunu koruması ve 2020 yılında % 46 ile yine en yüksek paya sahip olması, ulaştırma sektörünün payının % 19’dan % 20’ye çıkması aynı şekilde 2003 yılında % 24 olan çevrim sektörünün payının 2020 yılında % 25’e ulaşması, bu dönem içerisinde diğer sektörlerin paylarının ise düşmesi beklenmektedir (Tablo I.8 ve Şekil I.4).



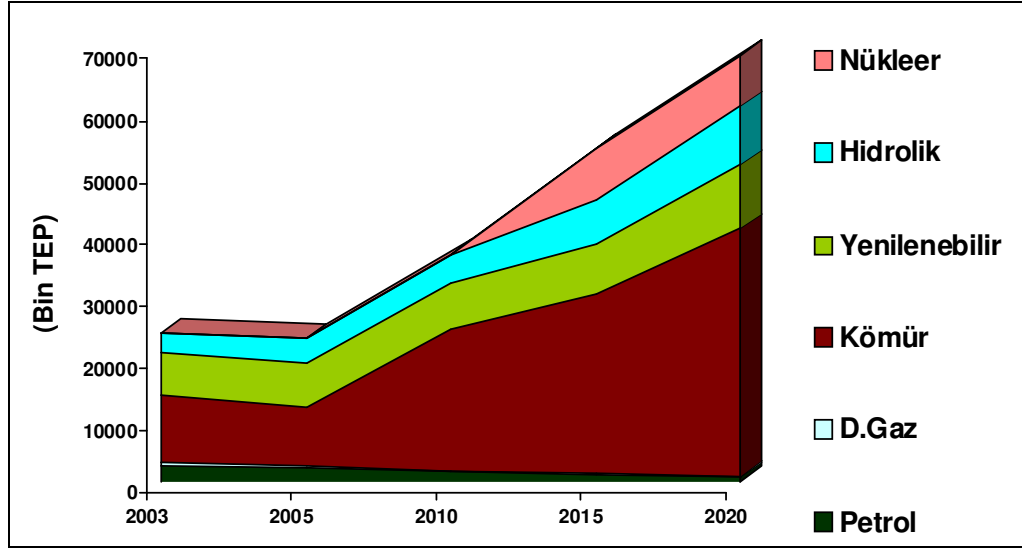
Şekil I.4. Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı [22].

Bugün bilinen rezervler göz önüne alınarak belirlenen, ülkemiz birincil enerji kaynakları üretim hedefleri aşağıda (Tablo I.9 ve Şekil I.5 ile Şekil I.6) verilmektedir.

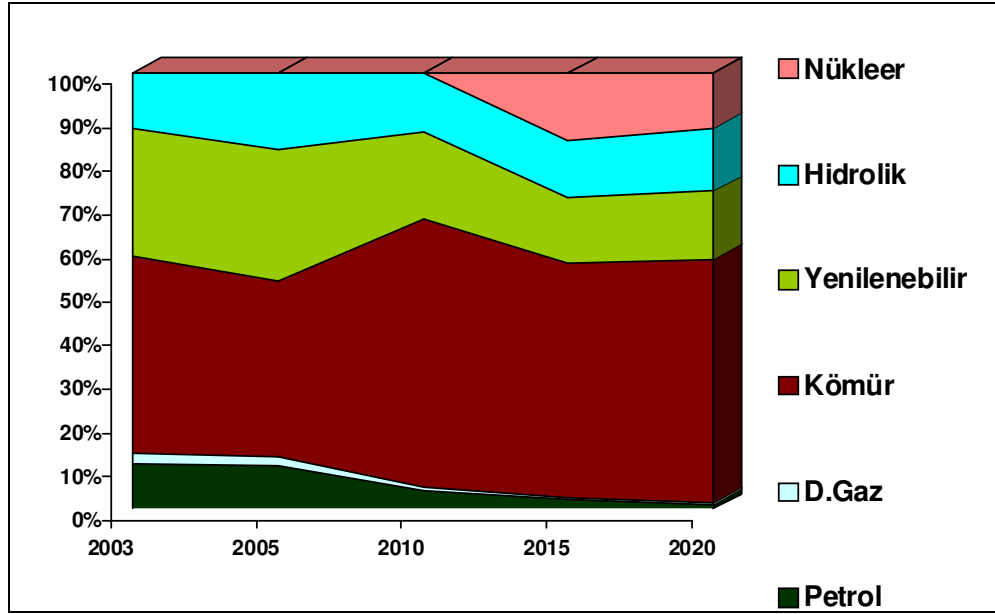
Tablo I.9. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri [22].

	2003	2005	2010	2015	2020
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	2011	3050	9000	9000	9000
LİNYİT (BİN TON)	46168	37704	102557	151511	209585
ASFALTİT (BİN TON)		200	700	700	700
PETROL (BİN TON)	2375	2159	1498	1018	660
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	561	464	258	234	252
NÜKLEER (GWh)				31579	31579
HİDROLİK (GWh)	35330	47287	57009	82095	109524
RÜZGÂR (GWh)	61	160	4890	6636	8382
JEOTERM. ELEKT. (GWh)	89	330	384	384	384
JEOTERMAL ISI (BİN TEP)	784	976	1650	2736	4484
GÜNEŞ (BİN TEP)	350	409	495	605	862
ODUN (BİN TON)	14991	13819	11275	10250	10250
HAY.BİT. ART. (BİN TON)	5439	5127	4493	4026	3696
TOPLAM (BİN TEP)	23812	23091	36690	53710	65649
ARTIŞ (%)		-1,5	9,7	7,9	4,1

Üretimlerinde önemli artış olması beklenen enerji kaynaklarımız linyit ve hidrolik enerji kaynaklarıdır. Linyitin yıllık ortalama % 9,3 artış hızı ile üretiminin 2003 yılındaki 46 milyon ton seviyesinden 2020 yılında 210 milyon ton'a ulaşması, hidrolik enerjinin ise yine aynı dönemlerde yıllık ortalama % 6,9 artış hızı ile 35.330 GWh'ten 109.524 GWh'e ulaşması beklenmektedir. Böylece 2003 yılında 23,8 Mtep olan birincil enerji kaynakları üretimlerinin yıllık ortalama % 6,1 artış hızı ile 2005 yılında 23,1 Mtep'e, 2010 yılında 36,7 Mtep'e ve 2020 yılında ise 65,6 Mtep'e ulaşması beklenmektedir.



Şekil I.5. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri [22].

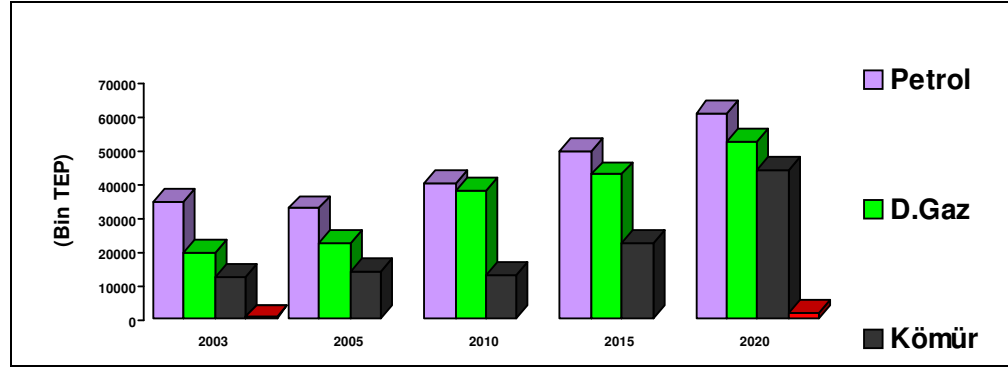


Şekil I.6. Birincil Enerji Kaynakları Üretim Hedefleri [22].

Türkiye’de hemen her türlü enerji kaynağı mevcut olmakla birlikte, linyit ve hidrolik enerji kaynağının dışındaki enerji kaynakları ihtiyaçlarımıza cevap verebilecek miktarda değildir. Sanayileşmeye ve gelişmeye paralel olarak artan enerji talebinin güvenilir olarak karşılanmasının sağlanmasında, bugün olduğu gibi gelecekte de enerji ithalatı kaçınılmaz olmaktadır. Önümüzdeki yıllarda ithal edilmesi planlanan enerji kaynakları ve bunların miktarları aşağıda (Tablo I.10) verilmektedir.

Tablo I.10. Enerji Kaynakları İthalatı [22].

	2003	2005	2010	2015	2020
PETROL (BİN TON)	32798	31375	38349	47739	58207
DOĞALGAZ (MİLYON M ³)	20823	25283	43103	51860	59785
TAŞKÖMÜRÜ (BİN TON)	18344	22713	20273	35952	71623
ELEKTRİK (GWh)	1158				18107
TOPLAM (BİN TEP)	65192	67957	89565	116447	157295
ARTIŞ (%)		2,1	5,7	5,5	6,2



Şekil I.7. Enerji Kaynakları İthalatı [22].

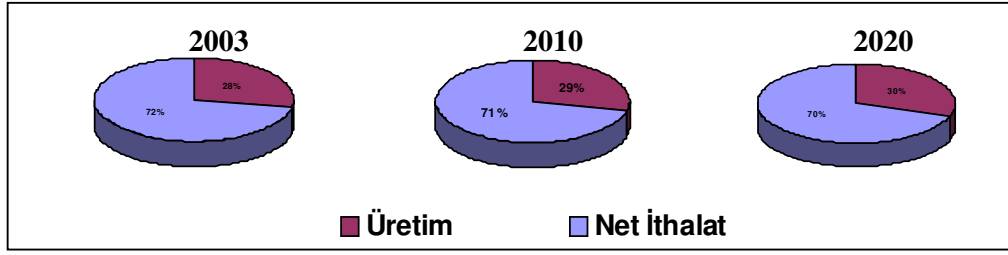
2003 yılında 65,2 Mtep civarında olan toplam enerji ithalatının, 2010 yılında 89,6 Mtep, 2020 yılında 157,3 Mtep olması beklenmektedir. 2003 yılında toplam enerji ithalatında petrol % 52 ile en fazla paya sahip olup, bunu % 29 ile doğalgaz, % 19 ile taşkömürü takip etmektedir. Bu oranların 2020 yılında petrol % 38, doğalgaz % 33, taşkömürü % 28 ve % 1 ile elektrik enerjisi takip etmektedir (Şekil I.7).

Tablo I.11 ve Şekil I.8 'i incelenmesinden de görüleceği üzere, enerji kaynaklarımızın ve dolayısıyla üretim miktarlarımızın kısıtlı olması ve bunun sonucunda ithalatın giderek artması nedeniyle 2000 yılında % 35 olan talebin yerli üretimle karşılanma oranının, 2005 yılında % 25, 2010 yılında % 29, 2020 yılında ise % 30 olması beklenmektedir.

Tablo I.11. Enerji Talep –Üretim ve İthalatının Gelişimi (BİN TEP) [22].

	2003	2005	2010	2015	2020
TALEP	83804	91048	125585	169486	222274
ÜRETİM	23812	23091	36690	53710	65649
NET İTHALAT	60458	67957	88894	115776	156625
TYÜKO* (%)	28	25	29	32	30

*TYÜKO:Talebin Yerli Üretimle Karşılanma Oranı



Şekil I.8. Enerji Üretim ve Net İthalat [22].

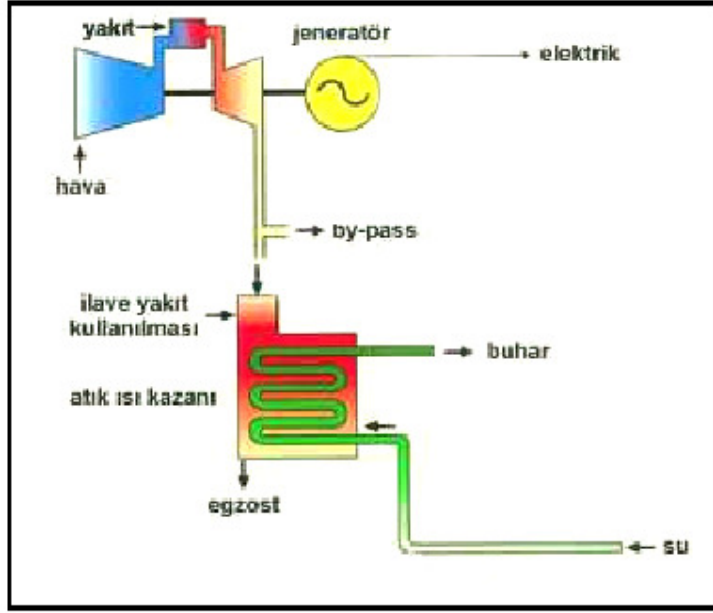
I.3. Kojenerasyon

Tek bir sistemden eş zamanlı olarak elektrik ve/veya mekanik güç ile kullanılabilir ısı üretilmesi demek olan kojenerasyon veya diğer adıyla Bileşik Isı ve Güç Üretimi tekniğinde ana kaynak; kullanılan gaz türbini veya gaz motorunun jeneratör gücü ile motor soğutma ısısı, yağlama yağı ve egzost gazının ısısıdır[20].

Kombine çevrim terimi, esas itibariyle gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade eder. Genel prensibi, gaz türbin çevriminden çıkan egzoz gazının yüksek enerjisi, Rankine çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimli sistem, ısı güç üretiminde günümüzde geçerli olan en verimli yöntem konumundadır.

Kombine çevrim sisteminde, ilk ısının buhar türbininde değerlendirilmesiyle, sistemden elde edilen toplam güç, konvansiyonel sistemden daha yüksektir. Bu nedenle, özellikle 1980'li yıllardan itibaren gaz türbinli kombine çevrim uygulamalarında büyük artış olmuştur.

Kombine çevrim santralinin genel olarak çalışma prensibi için Şekil I.9 incelenebilir. Şekil I.9'da görüldüğü üzere atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbininin kompresör kamına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülerek verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar. Yanma sonucu oluşan 1000-1100 °C sıcaklığın üzerindeki yüksek basınçlı gaz, türbin kanatçıklarından geçerek türbini döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan 500 - 600 °C sıcaklığındaki atık gaz bir egzoz kanalıyla atık ısı kazanına iletilir. Egzoz gazı, atık ısı kazanına girerek soğur ve daha sonra kazan bacasından atmosfere atılır [3].



Şekil I.9. Kojenerasyon Şeması [3].

I.4. Kojenerasyon Sisteminin Tarihsel Gelişimi

19. yüzyılın son çeyreği ile 20. yüzyılın ilk çeyreğinde Almanya, Danimarka, İsveç, Fransa, Hollanda, Avusturya, Norveç, İsviçre, Belçika, İngiltere, SSCB ve Polonya gibi birçok Avrupa ülkesinde bölgesel ısıtma sistemleri kurulmuştur. En büyüklerden biri olan Moskova bölgesel ısıtma sisteminde, boru şebekesinin uzunluğu 600 km'yi aşmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'nın yıkımı ardından Avrupa'da başlayan yeniden yapılanma süreci içinde bölgesel ısıtmaya büyük önem verilmiştir. Buna en çarpıcı örnek; Polonya'da daha önceden yapımına başlanan sistemlerin devreye girmesiyle, toplam kapasitenin 1958 yılında iki katına çıkarılmasıdır. Bugün yukarıda sözü edilen ülkelerde bölgesel ısıtma; elektrik, gaz, su gibi yaygın bir uygulama haline gelmiştir. İskandinav ülkeleri bölgesel ısıtmada dünya lideri durumundadırlar ve bu konuda sürekli olarak gelişme göstermektedirler. Kullanılan sistemler genellikle sıcak su üreten büyük programlar şeklindedir. İsveç'te ısı temininin büyük bir bölümü bölgesel ısıtma ile gerçekleştirilmektedir. 2000 yılında toplam üretim 45.6 TWh olmuştur. Bu değer toplam temin edilen ısı ve elektriğin % 15' i dir [13].

Bölgesel ısıtma konutların ve iş yerlerinin ısıtma sıcak su ve proses ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. 1970'li yıllarda yakıt fiyatlarını hızla

artmasıyla bölgesel ısıtmanın yaygınlaştırılması dünya çapında artmış ve buna bağlı olarak kojenerasyon santrallerinin kurulması hızlanmıştır. Kojenerasyon merkezi ısıtma uygulamalarını yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanıma olanağı bulmuştur.

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 tesisi Paris’te yapılmış ve buharlı olan bu sistem devamlı olarak gelişmekte olup, hem bileşik ısı-güç üreten hem de yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri tarafından beslenmektedir.

Almanya’da ise bölge ısıtma uygulamalarında 1930’lardan sonra kaynar suya ve özellikle ısı-güç üretimine geçilmiştir. Merkezde ayrıca çöp yakan büyük kapasitedeki buhar kazanları da bulunduğundan işletme rantabilitesi yüksek olmaktadır.

İskandinav ülkeleri bu tesisler açısından en önde gelmektedir. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç’te toplam binaların % 30-80’i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri bileşik ısı – güç üretimi şeklinde tasarlanmıştır [6].

Türkiye’de kojenerasyon, 1992 yılında Yalova Elyaf fabrikasında 3,7 MW’lık Typhoon Gaz türbini uygulamasıyla başlamıştır. 2006 yılına kadar geçen 14 yıl içinde kojenerasyon uygulamaları 1500 defa büyüyerek 5700 MW’lık toplam kapasiteye ulaşmıştır [27].

I.5. Kojenerasyon Sisteminin Modülleri

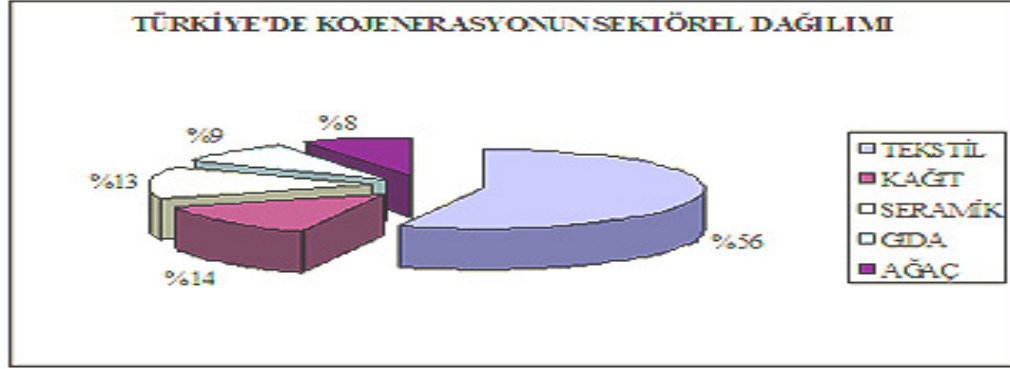
Kojenerasyon sistemlerinin basit çevrimdeki sistemlerden daha yüksek verimle çalışmasının başlıca nedeni egzoz gazlarından faydalanarak ikinci bir enerji üretmektir. Kojenerasyon sistemlerinde jeneratörü tahrik eden gaz türbini, gaz motoru ve dizel motoru olmak üzere 3 farklı motor kullanılmaktadır. Bunlardan Gaz türbini, havayı sıkıştırıp, gaz veya sıvı yakıtı yakarak elektrik jeneratörünü döndüren sistemdir. Gaz türbininden çıkan egzoz gazları, sıcaklığı çok fazla olduğundan, atık ısı kazanında değerlendirilip yüksek verimde ısı enerjisi elde etmede kullanılmaktadır[8]. Şekil I.10’da kojenerasyon sistemi şematik olarak gösterilmiştir.

I.6. Türkiye’de Kojenerasyon Sistemi

Gelişmekte olan ülkelerde enerji yatırımları için ayrılabilen kaynakların sınırlı olması, bir yandan da enerji talebinin hızla büyümesi, enerji verimliliği stratejilerinin önemini bu ülkelerde bir kat daha artırmaktadır. Enerji verimliliği fırsatları neredeyse bütün enerji nihai kullanımlarında, sektörlerinde ve hizmetlerinde bulunabilir ve bu alanda büyük bir potansiyel henüz değerlendirilmemektedir. Nihai kullanım enerji verimliliği ısıtma, iklimlendirme, aydınlatma gibi hizmetleri sağlayan ekipmanların geliştirilmesine odaklanır. Arz tarafı enerji verimliliği ise, tam tersine, daha verimli enerji üretimi, gelişmiş endüstriyel süreçler, kojenerasyon ve enerji geri kazanımları gibi sonuçları olan performans temelli iyileştirmelere yoğunlaşır [9].

Türkiye’de gelişmekte olan sanayi sektörünün enerji gereksinimi ekonomik büyüme hızının üzerinde artmaktadır. Sanayi ve diğer hizmet sektörlerinde ihtiyaç duyulan enerjinin temelini elektrik ve ısı enerjisi oluşturmaktadır. Elektrik enerjisinin elde edilmesinde en büyük pay birincil enerji kaynağı olan doğalgaz oluşturmaktadır (Şekil I.14). Türkiye’de bu tür tesislere satılan doğal gazın miktarı, 1999 yılında 7743 milyar m³ değerine ulaşmış ve toplam doğalgaz satışlarının % 64’ünü oluşturmuştur. Ülkemizde yaşanan ekonomik krize karşın kojenerasyon santralleri 2000 yılında Türkiye elektrik enerjisi üretiminin % 12’sini sağlarken, 2003 yılında bu değer % 16.5’e çıkmıştır. 2003 yılı verilerine göre ülkemizde mevcut 154 kojenerasyon tesisi bulunmakta, 74 tesis için de lisans çalışmaları devam etmektedir. Kojenerasyon teknolojisi ile elektrik ve ısı enerjisini birlikte üreten otoprodüktör tesislerinin kapasitesi 3500 MW’a ulaşmıştır. Ülkemizde kendi kojenerasyon tesislerini kurmuş birçok büyük firma, ürettikleri enerjiyi kendi fabrikalarında kullanmakta; ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmını diğer kuruluşlara bir kısmını da TEAŞ’a satmaktadır [8]. Şekil I.15’de Türkiye’de yıllara göre kurulmuş kojenerasyon santrallerinin gücü görülmektedir. Mevcut durum göz önüne alındığında, Kojenerasyon Türkiye’de ağırlıklı olarak tekstil sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Tekstil sektörünü, birbirine yakın oranlarla kâğıt ve seramik sektörleri izlemektedir (Şekil I.12). Ülkemizdeki kojenerasyon tesislerinin büyük bir çoğunluğu, kurulum kolaylıklarından ötürü, ithal edilen bir kaynak olan doğalgaza dayalıdır (Şekil I.13). Türkiye’de, enerjide dışa bağımlılık oranı yüksek olup, enerji talebi, özellikle son yıllarda hızla artmaktadır.

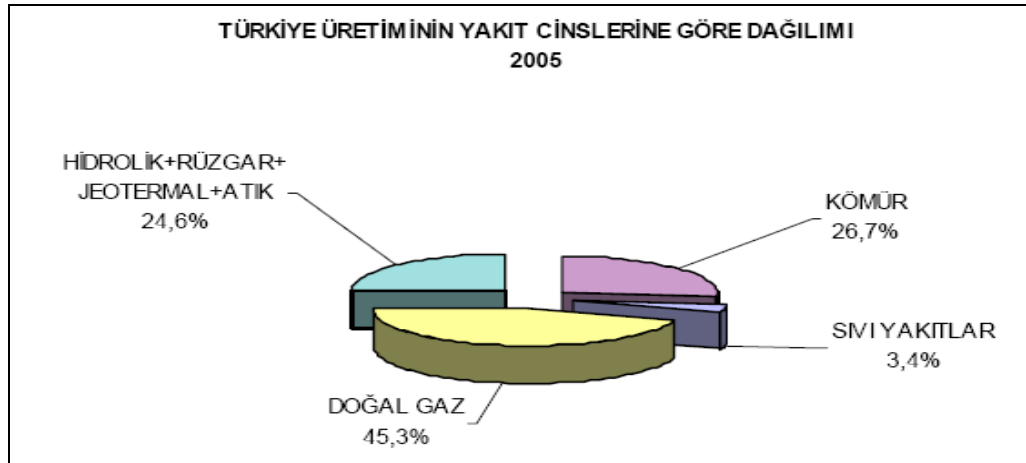
Enerji üretiminde fosil yakıtların kullanımı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın olup, fosil yakıtlı üretim tesislerinin atmosfere zararlı gaz salınımları yüksektir [23].



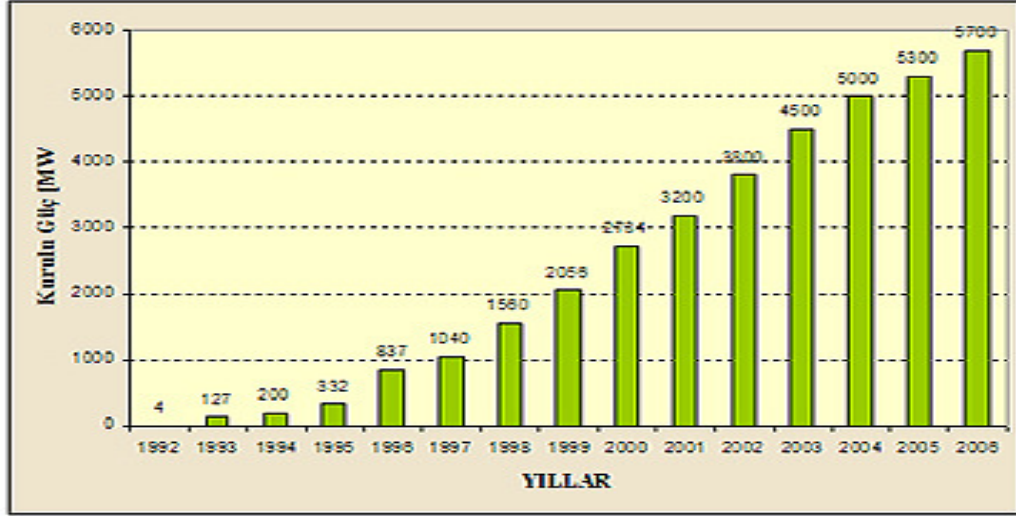
Şekil I.12. Türkiye’de Kojenerasyonun Sektörel Dağılımı [23].



Şekil I.13. Kojenerasyon Tesislerinin Kullandıkları Yakıt Türüne Göre Dağılımı [23].



Şekil I.14. Türkiye Elektrik Üretiminin Yakıt Cinslerine Göre Dağılımı [23].

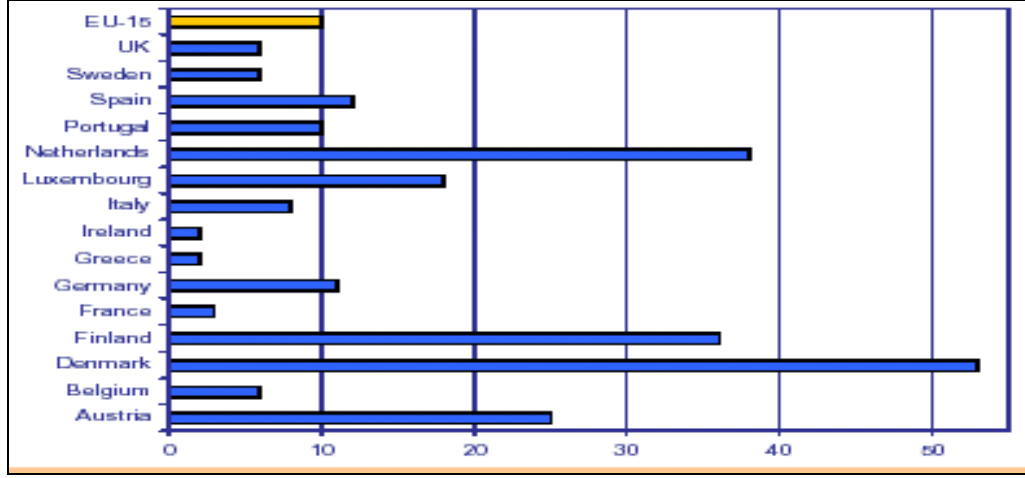


Şekil I.15. Türkiye’de yıllara göre Kurulmuş Kojenerasyon Santrallerinin Gücü [27].

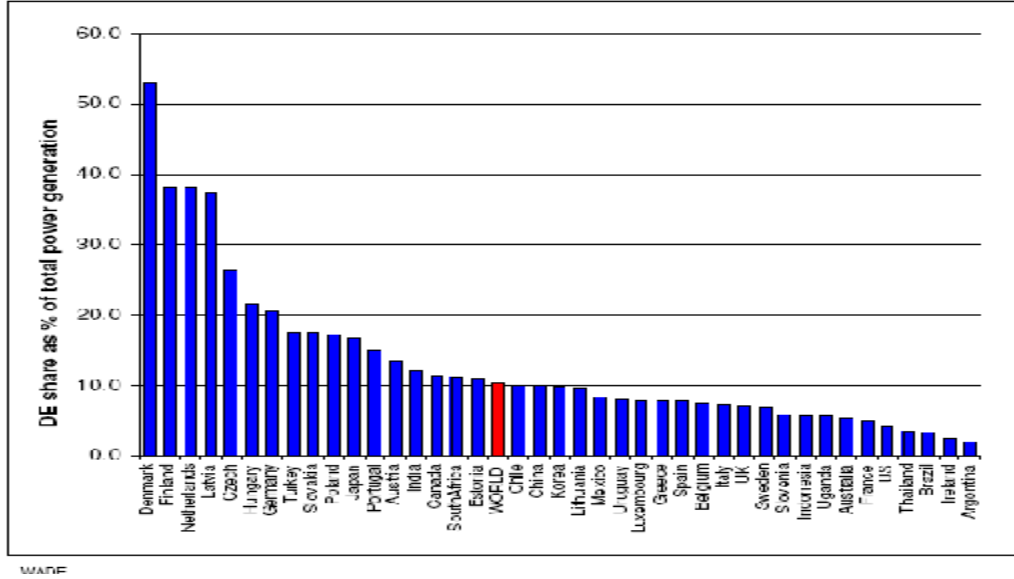
I.7. Avrupa’da Kojenerasyon Sistemi

İklim değişikliklerinin canlı yaşamına etkisi ile ülkelerinin geleneksel sistemlerini revize etmeleri gerçeği karşısında, bütün dünyada daha verimli ve daha az emisyon salınımı sağlayan sistemler üzerine yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Enerji, enerjinin verimli kullanılması ve temiz enerji üretimi, teknolojik gelişmeler ve bu gelişmeler sonucunda ortaya çıkan küresel değişimlerin dünya gündeminde ön sıraya oturması ile birlikte kojenerasyon teknolojisi de hakettiği önemi kazanmıştır.

Enerji stratejileri belirlenirken, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kojenerasyonun yaygınlaştırılmasına, bölgesel enerji üretim teknolojilerine geçilmesine öncelik verilmektedir. Kyoto Protokolü taahhütlerinin yerine getirilmesinin zamanı yaklaştıkça emisyon azaltımında daha katı plan ve stratejiler ortaya konulması gerektiğinin bilincinde olan AB Ülkeleri, şu an için toplam elektrik üretimindeki payı %11 olan kojenerasyon üretimi kapasitesinin önümüzdeki 10-15 yıl içinde %20’ye çıkartılması hedefini benimsemektedirler[27]. Şekil I.16’da Avrupa’da, Şekil 1.17’de de Dünya’da kojenerasyonla üretilen elektrik gücü görülmektedir.



Şekil I.16. Avrupa’da Kojenerasyon [25].



Şekil I.17. Dünya’da Kojenerasyon [25].

I.8. Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Yerleri

Kojenerasyon tesisleri, en gelişmiş ticari enerji üretim sistemi olarak kentsel yerleşimler ve sanayi kesiminde birçok uygulama alanı bulmaktadırlar. Avrupa ülkelerinin çoğu kojenerasyon teknolojilerini birçok farklı projede kapsamlı olarak uygulamaktadırlar. Kojenerasyon tesisleri birçok farklı sanayide uygulama olanağı bulurlar. Bu sanayilerin genellikle enerjiye aynı zamanda hem elektrik, hem de ısı olarak ihtiyaçları vardır. Kojenerasyon tesislerinden yararlanan birçok sanayi kuruluşunun büyük miktarlarda doymuş veya kızgın buhar ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu tip sanayilere örnek olarak petrol rafinerileri, petrokimya kompleksleri, kimya

tesisleri, tekstil boyama tesisleri, kâğıt ve selüloz işleme tesisleri, ağaç işleme tesisleri, gıda üretim tesisleri, gübre tesisleri, vs. verilebilir. Bazı sanayilerin üretim hatlarında ürün kurutma maksadı ile büyük miktarlarda sıcak havaya ihtiyaçları vardır. Bu tip sanayilere tuğla üretimi, seramik veya vitrifiye üretimi örnek gösterilebilir. Kurutma veya ısıtma maksadı ile sürekli sıcak havaya ihtiyacı olan herhangi bir sanayi dalı Kojenerasyon tesislerinden yararlanabilir. Gıda şoklama tesisleri, soğutma tesisleri, et, balık, tavuk veya sebze gibi gıdaların korunmasına yönelik büyük soğuk depolar gibi büyük miktarda soğuk havaya veya suya ihtiyacı olan bazı sanayiler absorbsiyon soğutuculardan yararlanabilirler. Absorbsiyon soğutucular (veya chillerler) asgari miktarda elektrik tüketerek kojenerasyon tesislerinde atık ısıdan üretilen buhar veya sıcak su vasıtasıyla soğuk su üretirler. Kojenerasyon tesisleri aynı zamanda kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutma maksadı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kent veya uydu yerleşimleri aynı zamanda hem elektrik hem de ısıya ihtiyaç duyarlar genel olarak kojenerasyon tesislerinin uygulandığı yerler [10].

Sanayide

- Tekstil
- Kâğıt
- Seramik
- Agro-kimyasal
- İlaç
- Petrokimya
- Alkollü İçecek Üretimi
- Yiyecek
- Madencilik

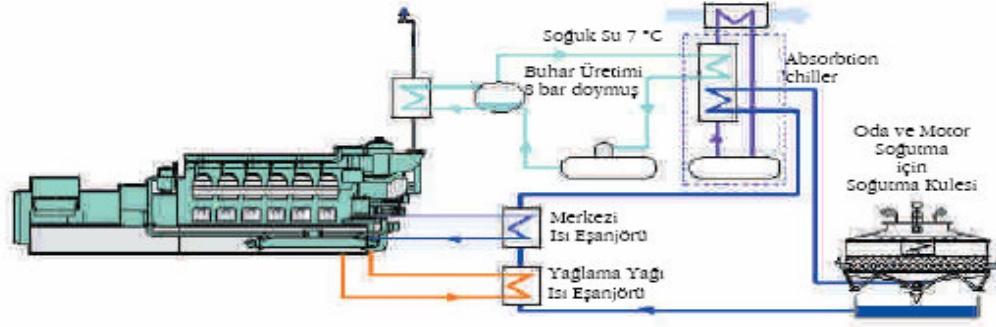
Süreçte

- Doğrudan Boyama
- HP Buhar
- LP Buhar
- Sıcak Su
- Bölgesel Soğutma
- Bölgesel Isıtma
- Soğutma
- Vb [24].

I.9. Çeşitli Kojenerasyon Uygulamaları

I.9.1. Absorbsiyon Chiller ile Soğutma

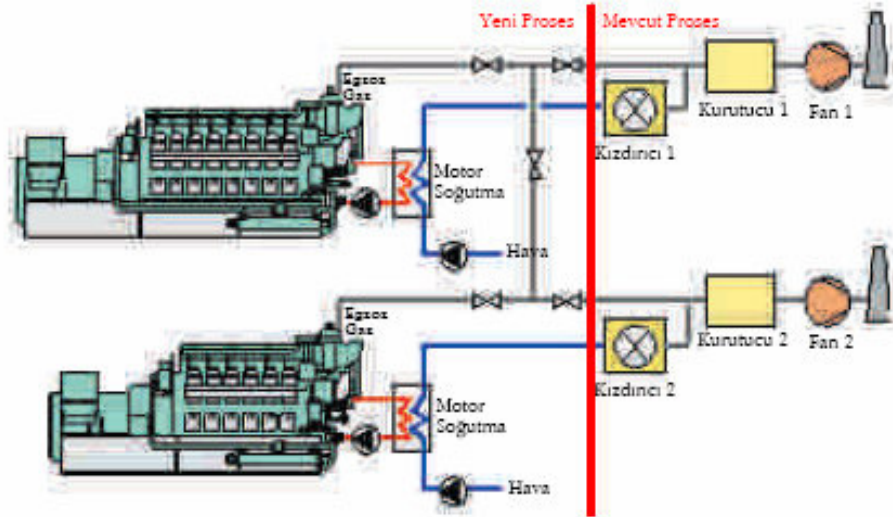
Vakumlu ortamda, sıcak su ya da buhar ile karşılaşıldığında soğutucu etki gösteren LiBr kimyasalından yararlanılarak yapılmış olan Absorbsiyon Chiller'ler, kojenerasyon sistemlerinden elde edilen sıcak su ya da buhar ile tahrik edildiğinde, tüketicilerin ihtiyacı olan soğutmayı da sağlayabilmektedir. Bu prensip ile hem elektrik hem de soğutma ihtiyacını karşılayan şekil I.18'de Tayland'da kurulmuş bir tesis örneği verilmiştir [10].



Şekil I.18. Absorbsiyonlu Chiller ile Kojenerasyon Soğutma Yapılması [10].

I.9.2. Kurutma Havaası Üretimi

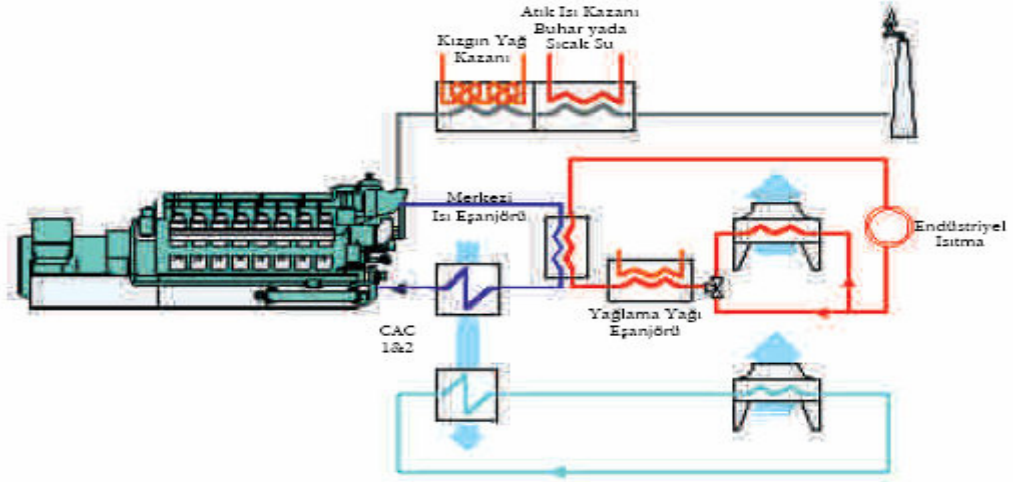
Mevcut prosesinde kurutma havaası ihtiyacı olan Almanya’da Kurulu bir tesiste (Şekil I.19), kojenerasyon sisteminden elektrik enerjisi üretilirken aynı zamanda geri kazanılabilir ısı enerjisi kaynaklarından sıcak hava üretilerek mevcut tesisin ihtiyacı olan kurutma havaası sağlanmaktadır [10].



Şekil I.19. Kojenerasyon Sisteminde Kurutma Havaası Üretimi [10].

I.9.3. Kızgın Yağ ve Endüstriyel Isıtma

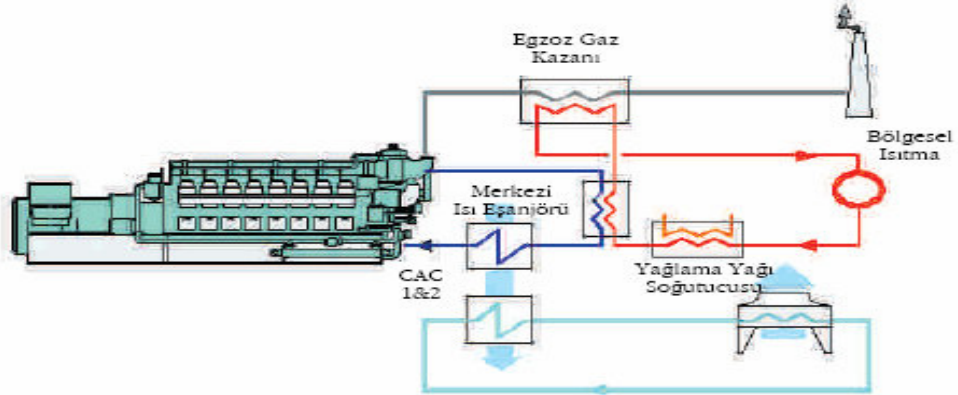
Elektrik enerjisi ihtiyacının yanı sıra, mevcut prosesinde kızgın yağ ve sıcak su ihtiyacı olan bir tesiste (Şekil I.20), kojenerasyon ünitesinin yüksek ısı devresinden yararlanılarak kızgın yağ ve düşük basınçlı buhar üretilmekte aynı zamanda kojenerasyon sisteminin düşük ısı devresinden ise endüstriyel prosesin ısıtmasında kullanılmak üzere sıcak su üretilmektedir [10].



Şekil I.20. Kojenerasyon Sisteminde Kızgın Yağ Elde Edilmesi [10].

I.9.4. Merkezi Isıtma

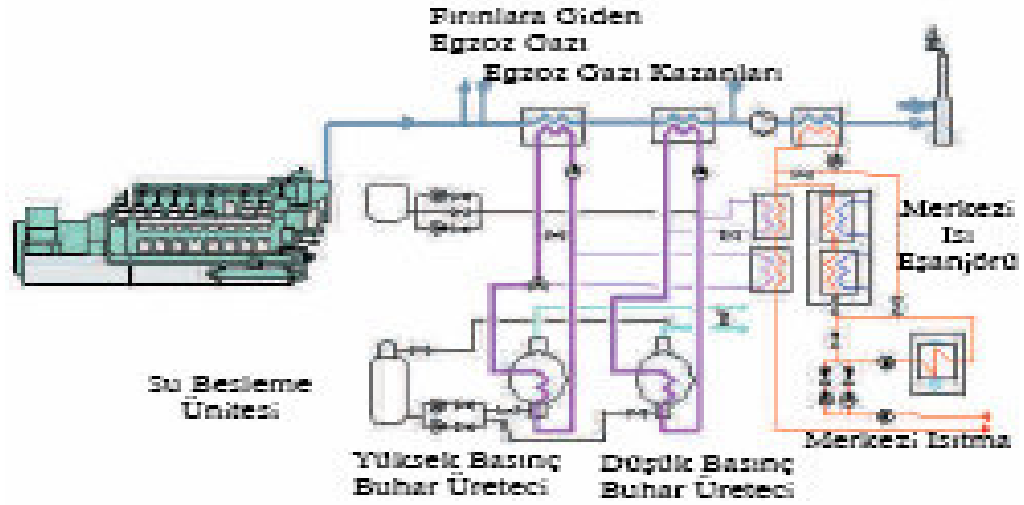
Bu projede elektrik enerjisinin yanı sıra, kojenerasyon sisteminden elde edilen sıcak su ile civardaki mevcut yerleşim birimlerinin ısıtılması amaçlı, merkezi ısıtma yapılmaktadır. Böylece, bir yerleşim biriminin hem elektrik, hem de ısıtma enerjisi ihtiyacı tek bir santralden sağlanmaktadır (Şekil I.21) [10].



Şekil I.21. Kojenerasyon Sistemi ile Bölgesel Isıtma Yapılması [10].

I.9.5. Endüstriyel ve Merkezi Isıtma

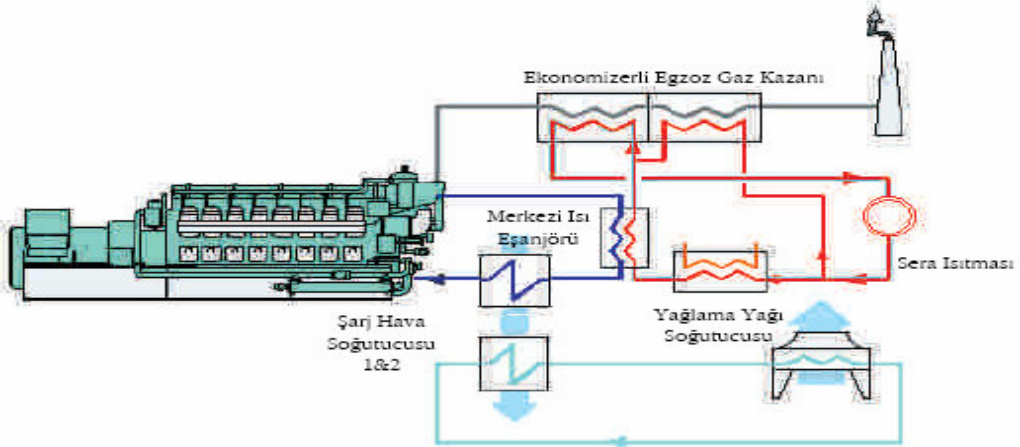
Finlandiya'da bir ekmek fırınında kurulmuş olan bu tesiste (Şekil I.22) ihtiyaç olan elektrik enerjisi üretilirken, fırının ihtiyacı olan, alçak ve yüksek basınçta buharda üretilmektedir. Aynı zamanda buhar sisteminden geri kalan ısı enerjisi ise eşanjörler yardımıyla merkezi ısıtma amacıyla sıcak suya dönüşmektedir.



Şekil I.22. Ekmek Fırını Uygulaması [10].

I.9.6. Sera Isıtması

Danimarka'da kurulmuş olan bu tesiste (Şekil I.23), elektrik üretirken aynı zamanda üretilen ısı enerjisi ile de sera ısıtması yapılmaktadır. Bu uygulamada, kojenerasyon sistemi yardımı ile yaz-kış ekonomik olarak sabit sıcaklıkta ısıtma sağlanabilmekte, dolayısıyla daha kaliteli ve fazla miktarda üretim yapılabilmektedir [10].

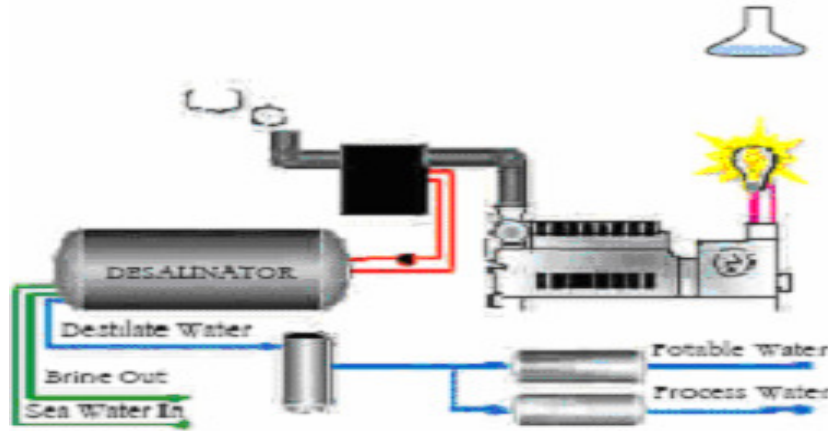


Şekil I.23. Sera Isıtılması [10].

I.9.7. Desalinizasyon ile Suyun Tuzdan Arındırılması Uygulaması

Desalinatör sistemleri, atmosferik basınçtan daha düşük bir ortamda suyun kaynama noktasının düşmesi ilkesine dayanılarak yapılmışlardır. Desalinasyon ünitesine tuzdan ayırtırmak üzere alınan tuzlu deniz suyu, desalinasyon ünitesinde

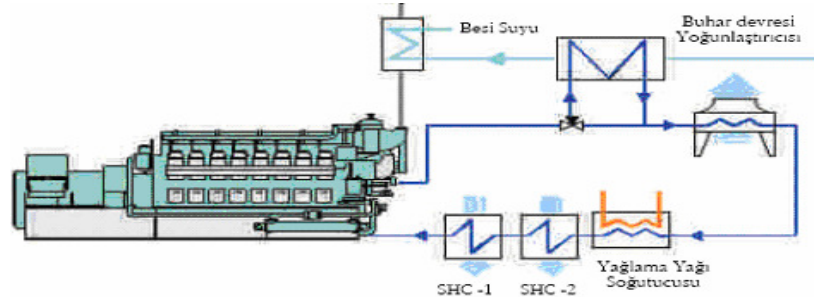
vakumlu ortamda, kojenerasyon ünitesinden elde edilen ısı enerjisi ile kaynatılıp tuzdan ayrıştırılabilir ve PH ayarlaması ve de kimyasal yumuşatmadan sonra içme ve kullanma suyu elde edilebilir (Şekil I.24) [10].



Şekil I.24. Deniz Suyundan İçme Suyu Elde Edilmesi [10].

I.9.8. Çöplük Gazı Uygulaması

Hollanda’da yapılmış olan bu sistemin ilginçliği, sistemin projelendirme farklılığından ziyade kullandığı yakıttır. Yakıt olarak kullanılan gaz, çöplüklerin bozunması sırasında oluşan metan orijinli bir yakıttır. Çöplük gazları, ozon tabakasına ulaşıp zarar vermesi ya da depolandığı yerde patlayıp insanların ölümüne sebebiyet vermesi yerine elektrik ve ısı enerjisi üretmek amaçlı kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilmektedir (Şekil I.25) [10].



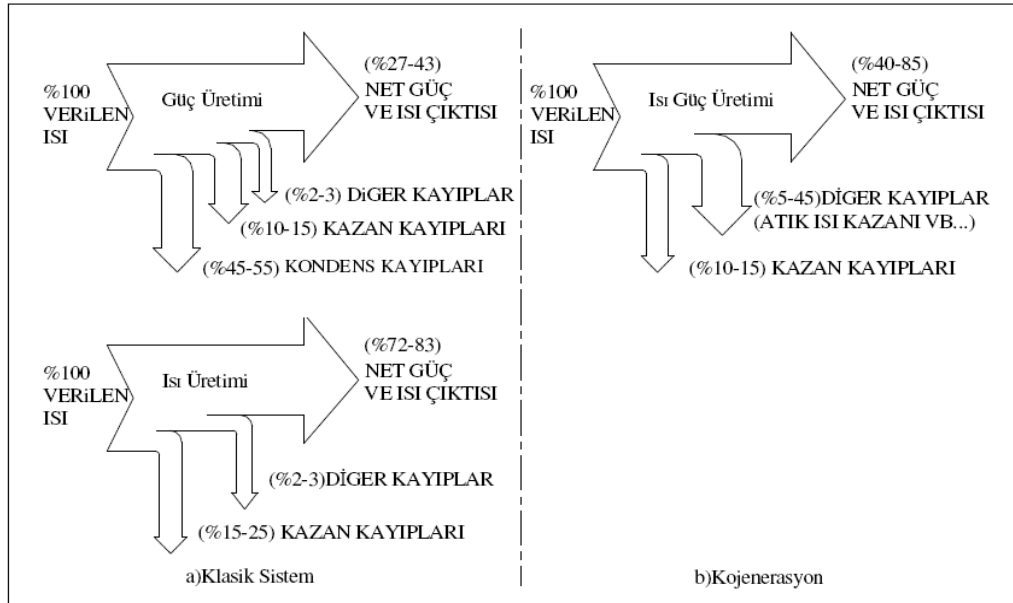
Şekil I.25. Çöplük Gazından Enerji Elde Edilmesi [10].

I.10. Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları

Kojenerasyon tesislerinin en büyük üstünlüğü, gereksinim duyulan enerji türlerini istenildiği zaman ve miktarda üretebilmesidir. Bu tesisler, kendi enerjilerini kendileri ürettiklerinden dışa bağımlı değildir. Üretilen enerjideki kalite ve

devamlılık diğ er bir üstünlüğüdür. Böylece elektrik kesilmesi, frekans ve voltajdaki düzensizlikler ortadan kalkmış olmaktadır. Kojenerasyon tesislerine yapılan kredi harcamaları uzun vadede geri ödemeli olduğu için enerji daha ucuz elde edilmektedir. Kojenerasyon tesislerinde egzoz gazlarından faydalandığından CO₂ emisyonları oldukça düşüktür. Böylece sistem  evre kirliliği yönünden de avantajlı durumdadır [8].

Kojenerasyon sistemleri ile özellikle yüksek teknoloji ürünü olan bilgisayar ve elektronik kumandalı sistemler kullanan tesislerde ihtiyaç duyulan kaliteli elektrik enerjisi sağlanmaktadır. şekil I.26'da elektrik ve ısı enerjisinin ayrı ayrı üretildiği klasik sistem ile kojenerasyon sisteminin enerji akış diyagramları verilmektedir. şekilden de görüldüğü gibi kojenerasyon sisteminde hem elektrik hem de ısı olmak üzere iki enerji üretilmektedir. Buna karşılık ilave bir yakıt yakılmadığından yakıtın enerjisinden daha fazla yararlanılmaktadır.



şekil I.26. Klasik ve Kojenerasyon Sistemlerine ait Enerji Akış Diyagramları [4].

Kojenerasyonun son zamanlarda önem kazanmasının asıl nedenleri hızla artan elektrik talebi, devletin talep artışını karşılamak için kurmak zorunda olduğu ilave tesisleri finanse etmesindeki zorluklar ve enerji kullanımına bağlı olarak  evre emisyonları ve kirliliği sınırlandırma konusunda artan endişelerdir. Kojenerasyon günümüzde mevcut tesislerin genişletilmesi, yeni endüstriyel bölgelerin kurulması, zamanı dolmuş buhar üretim sistemlerinin değiştirilmesi gibi gelişmeler

planlanıyorsa veya enerjinin maliyeti fazlaysa ve güç satımına olanak varsa tavsiye edilir [4].

Kojenerasyon sistemlerinin diğer avantajları maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır

- Yüksek enerji verimini,
- Enerji tasarrufunu (ucuz enerji),
- Sistemin kendi kendini finanse etmesini,
- Kesintisiz elektrik ve ısıyı,
- Yakıt tüketimini oldukça azaltmasını,
- Enerji maliyetlerinin düşürmesini,
- Dağıtım ve iletim kayıpları yok denecek kadar azalmasını,
- Ulusal elektrik üretim ve dağıtımında daha az yüklenme olmasını,
- Çevre kirliliğinin azaltılmasına katkısı sağlamaktadır [25].

1.11. Kojenerasyon Uygulamaları ve Sera Gazları Emisyonlarına Etkisi

Çok çeşitli yakıtlar kullanılabilmesi özelliği ile sadece doğalgaza dayalı değil, diğer yakıtları da kullanarak, katma değer yaratan kojenerasyon sistemlerinin, yüksek enerji çevrim verimi sayesinde yılda 2 milyon ton fuel-oil eşdeğeri yakıt tasarrufu sağlanmakta bunun da ülke ekonomisine katkısı yaklaşık 500 Milyon ABD doları civarındadır. Kojenerasyon tesislerinin 2.500 MW türbinli, yaklaşık 2.000 MW gaz motorlu tesis edilmeleri ile ülkemizde bu güçte elektrik üretimi yapacak toplam 4.500 MW kömürlü santraller ile karşılaştırıldığında, çok büyük miktarda CO₂ tasarrufunun sağlanacağı görülmektedir. Sağlanan CO₂ tasarrufunun detaylı hesapları aşağıda verilmektedir. Ucuz ve kaliteli enerji üretimi özelliği ile Kojenerasyon tesisleri tüketim bölgelerinin yanına kurulduklarından, iletim ve dağıtım hat kayıplarının olmaması özelliği ile yılda 2.800.000 MWh elektrik enerjisi tasarruf edilmektedir.

2.500 MW Türbinli, 2.000 MW Motorlu kojenerasyon sistemi ile ülkemizde bu güçte elektrik üretimi yapacak kömürlü santraller ile karşılaştırılırsa sera etkisi yaratacak 2.000 ton eşdeğeri CO₂ (% 50) emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır.

Kojenerasyon sistemlerinin toplam yıllık elektrik enerjisi üretimi 2003 yılı için 23,2 Milyar kWh olarak alındığında, kojenerasyon sistemleri kullanılarak üretilen elektrik ve ısı enerjisi için yaklaşık 9.05 milyon ton CO₂ emisyon azaltımı sağlanmıştır.

Enerji üretim yatırımlarının yüksek verimli kojenerasyon olarak gerçekleşmesi durumunda (yaklaşık 3.000 MW) yıllık CO₂ tasarrufunun 8,61 milyon ton/yıl, kojenerasyonun toplu konutlara da uygulanması durumunda 0,23 milyon ton/yıl, mevcut kojenerasyon tesislerinin verimlerinin % 10 artırılması durumunda yıllık CO₂ tasarrufunun 0,63 milyon tonu bulacağı hesaplanmaktadır. Sonuç olarak yukarıda bahsedilen yeni ve verim artırıcı uygulamalarla toplam 9,47 milyon ton/yıl CO₂ emisyon tasarrufu sağlanabilecektir.

Bu güne kadar kurulmuş olan kojenerasyon tesislerinin sağladığı 9,05 milyon ton'luk CO₂ emisyon azaltımı ile beraber yukarıda bahsedilen yeni kojenerasyon uygulamalarından elde edilen toplam 9,47 milyon ton CO₂ emisyon tasarrufunu da eklersek yılda 18,52 milyon ton CO₂ azalması sağlanmış olacaktır [22].

BÖLÜM II

II.1. Türkiye’de Yapılan Araştırmalar

Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğalgaz Yakıtlı Otoprodüktör Kojenerasyon Santralleri Üzerine Bir Araştırma isimli Doktora Tezi çalışmasında, Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminde özel sektör olarak büyük katkısı olan otoprodüktör kojenerasyon santralleri tanıtılmış, kullanılan sistemler akış diyagramları halinde sunulmuş, teknik ve ekonomik değerlendirmelerde bulunulmuştur. Elde edilen verilere göre teknik ve ekonomik analizler yapılmış, bilgisayar simülasyon programı hazırlanmıştır. Simülasyon programı sonuçları gerçek santral verileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca hazırlanan programın kojenerasyon santrali fizibilite raporu hazırlanması açısından uygun olduğu belirlenmiştir [8].

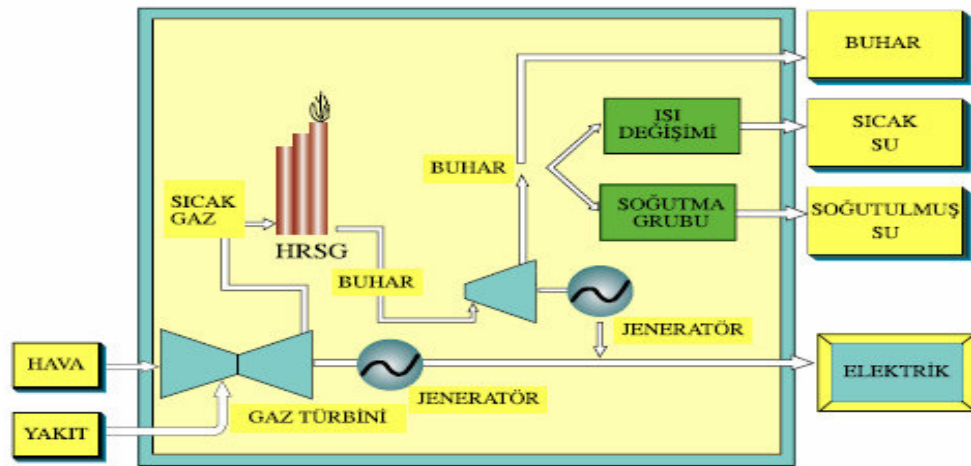
Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, Kojenerasyon sistemi ile elektrik ve ısının beraber üretilmesi ile ilgili iki farklı uygulamanın üzerine durulmuştur [6]. Bu uygulamaların ilki, gaz türbinli kojenerasyon sistemleri; eğer ısı enerjisine elektrik enerjisinden daha fazla ihtiyaç duyuluyorsa bu sistem seçilir. Bu sistemler 4,5 MW ile 20 MW arasında çalışırlar. İkinci uygulama ise, gaz motorlu kojenerasyon sistemleridir. Bu sistemler 100 kW ve 3 MW’lık güç aralığında çalışırlar ve elektrik enerjisine fazla ihtiyaç duyulduğu durumlarda bu sistemler seçilir. Yapılan çalışmada her iki uygulamanın avantaj ve farklılıkları tespit edilmiş sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar ve sistemi etkileyen faktörlerin tümü detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, Süleyman Demirel Üniversitesi’nin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış olan 10 MW gücündeki doğalgazlı kojenerasyon tesisinin termodinamik, ekserji ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Gaz türbinli kojenerasyon tesisinin ekonomik analizi yapıldıktan sonra, gaz türbinli ve gaz motorlu iki farklı kojeneratör için maliyet analizleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır [7].

Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında çeşitli yapılardaki PV güneş topaçlarının verimlilikleri ortalama % 6-16 aralığında olup kalan enerjinin önemli bir bölümü geri kazanılmayan ısı enerji biçiminde olduğu saptamıştır. Bu nedenle Muğla Üniversitesi'nde gerçekleştirilen test düzeneğinde, yalıtımlı ve yalıtımsız PV güneş topaçları ve yalıtımlı su tipi akışkan ile soğutulan fotovoltaik/ısı güneş toplacı (PV/T kojenerasyon) aynı koşullarda test edilerek, kojenerasyon sisteminin getirdiğı farklar ekserjik analizlerle incelemiş, bu sonuçlar ile sistem optimizasyonu yapılmış ve böylece deney sonuçlarının daha kapsamlı uygulamalar için temel oluşturmasını sağlamıştır [5].

Organize Sanayii Bölgelerinde Kojenerasyon Santralinin Yer Optimizasyonu isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında[4], bir Organize Sanayi Bölgesindeki, kapasiteleri ve tüketimleri belirli olan müşterilere buhar dağıtması planlanan bir kojenerasyon santralinin, buhar dağıtım hatların minimum maliyette olacak şekilde dağıtım güzergâhında ve konumunda olması için gerekli parametrelerin belirlenerek çözüme gidilmesi amaçlanmıştır.

Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında[10] mevcut bir fabrikada trijenerasyon sisteminin kullanılabilirliği araştırılmış, sistem fizibilitesi yapılmıştır. Kojenerasyon sistemleri, gaz türbinleri veya dizel motorları gibi verilen yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan enerjiyi shaft gücüne çeviren makinalarla, elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan üretimini sağlayabilen sistemlerdir. Trijenerasyon da, bu sistemlere soğutma etkisinin katılması olarak tanımlanır. Şekil II.1'de Trijenerasyon sistemi gösterilmiştir.



Şekil II.1. Trijenerasyon [10].

Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kojenerasyon Çevrimi ile Güç Üretilmesinin Uygulanabilirliği (Balçova Örneği) isimli çalışmada; Balçova bölge ısıtma sisteminin verileri esas alınarak, karşı basınçlı ve yoğunlaştırıcı çıkışlı buhar çevrimleri ile güç üretiminin olabilirliği ve bu üretimin bölge ısıtma sistemi kapasitesine etkisi analiz edilmiştir. Tesis edilebilecek bir kojenerasyon sistemi ile sistemin ısıtma kapasitesi değişmeksizin kendine yeterli miktarda elektrik üretilmesinin teknik olarak olanaklı olduğu gösterilmiştir [1].

Tekstil Endüstrisinde kullanılan kojenerasyon sistemlerinin kısmi yüke göre verimliliğinin karşılaştırılması isimli çalışmalarında, tekstil endüstrisinde kullanılan kojenerasyon sistemlerinden ara buhar almalı ve karşı basınçlı sistemlerinin kısmi yüke göre verimliliği karşılaştırılmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin termodinamik analizi bilgisayar programı ile sürekli akışlı, sürekli açık sistem koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Her iki kojenerasyon sisteminin değişen kısmi yük (%25, %50, %75 ve %100) değerlerinde ürettikleri ısı ve elektrik miktarları karşılaştırılmıştır. Elektrik üretmek için ara buhar almalı sistemin düşük kısmi yükte, proses ısısı elde etmek için ise tam yükte çalıştırılmasının verimi artıracığı tespit edilmiştir. Karşı basınçlı sistemde ise elektrik ve proses ısısı üretmek için tam yükte çalıştırılmasının verimi artıracığı belirlenmiştir [11].

Aziziye Araştırma Hastanesi enerji gereksinimi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmada, enerjiyi optimum kullanan yöntemlerden biri olan kojenerasyon sistemlerinde kullanılan ilk çevrim elemanları hakkında bilgi vermiş ve genel hali ile ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Erzurum Aziziye Araştırma Hastanesi enerji gereksinimi için doğalgaz motorlu iki farklı kojenerasyon sisteminin çalışma şartları ve ekonomikliği incelemiş, Çalışmada sistem seçimi, seçilen sistemin uygulanması ve sistemin analizinin yapılmasında uygulanan yaygın yöntemlerden farklı olarak detaylandırma yöntemi uygulamıştır. Bu yöntemde yıllık çalışma saatleri ve şartları göz önüne alınmayıp, sistemin günlük çalışma şartları dikkate alınmıştır [2].

Bir Üniversite kampusu için uygun enerji sisteminin seçimi isimli çalışmalarında, bir üniversite kampusunun (Yıldız Teknik Üniversitesi Davut paşa Kampüsü) yıllık elektrik ve ısı tüketimleri hesaplanarak, buna en uygun kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda üniversiteye yapılacak olan kojenerasyon tesisinin toplam geliri yılda 1.884.171,4 \$ olmaktadır ve sistem kendisini 1.25 yılda amorti etmektedir. Sistemin net işletme

geliri de yıllık 573.672,1 \$ olmaktadır. Bu sonuçlara göre kojenerasyon uygulamasının karlılığı üzerinde durulmuştur [12].

Kojenerasyon sistemlerindeki yakıt fiyatlarının ve birim yakıt maliyetlerinin analizi isimli çalışmalarında kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtların 1991-2003 yılları arasındaki fiyatları analiz edilerek yıllık fiyat eskalasyonları belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları kullanılarak, 2003-2023 yılları arasındaki döneme ait her yıl için tahmini yakıt fiyatları hesaplanmıştır. Yakıt fiyatlarının değişimi ekonomik analizleri zorlaştırmaktadır. Ekonomik analizlerin yapıldığı döneme ait fiyat değişimlerini içine alan sabit yakıt fiyatının belirlenmesi hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, 2003-2023 yılları arasında yakıtların bir değere getirilmiş fiyatları elde edilmiş, daha sonra, kojenerasyon sistemlerinin birim elektrik üretimi için yakıt masrafları bulunmuştur. Bu sistemlerde aynı yakıttan elektrik ve ısı enerjisi ürün olarak elde edilir. Bu amaçla, yakıt masraflarının ürünlere dağıtılmasında iki sınır koşul belirlenmiş ve sınır koşullar için hesaplamalar yapılmıştır [14].

II.2. Dünya’da Yapılan Araştırmalar

Tayvan’da Endüstriyel Sektörde Kullanılabilir Enerji Olarak Kojenerasyon Sisteminin Analizi, isimli çalışmalarında; Tayvan yüksek miktarda enerjiyi ithal eden bir ülkedir. 2004 yılı verilerine göre yaklaşık enerjinin % 98 ‘i ithal edilen yakıttan sağlandığını ifade etmektedirler. Bu çalışmanın amacı Tayvan’da çevresel kirliliğin azaltılması, devamlı gelişim, ekonomik ve sağlam elektrik kaynakları için çevresel politikalar ve endüstriyel sektörde kullanılan enerji üretiminden çıkan ısının kullanılmasında kojenerasyon sisteminin cazibeli hale geldiğini ve bu nedenle kojenerasyon sistemlerinin analizini sunmuşlardır. Bu çalışmada 1984-2004 yılları arasında elektrik kaynakları ve tüketimi ayrıca kojenerasyon sisteminden dolayı sera gazı azalımının çevresel faydasını analizleri yapmışlardır. 2004 yılı verilerine göre karbondioksit (CO₂) ve Nitrousoksit (N₂O) azalım faydalarını sırasıyla 3.488 x 10⁷ ve 650 metrik tona ulaştığı tahmin edilmiştir [15].

Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinden Sera Gazı Yayılımlarının Değerlendirilmesi isimli çalışmalarında; Kojenerasyon ve Trijenerasyon Fabrikaların, bölgesel ısıtma yerlerinde önemli enerji kurtarımı ve çeşitli kirletici gazların yayılımını, ayırma üretimini kullanarak azaltmayı sağlarlar. Bu çalışmada

üretimine bağılı olarak CHP (Combined heat end power) ve CCHP (Combined Cooling heat end power) sistemlerinden gelen CO₂ ve diğere sera gazlarının yayılımının azaltılmasını değereendiren orijinal bir indikatöre bağılı trijenerasyon CO₂ emisyon redaktörü olarak isimlendirilen farklı bir yaklaşımı tartışıp sunmuşlardır. İndikatörün görevi; CHP ve CCHP sistemlerinde karakteristik performansları, kara kutu modeline bağılı görevler ve geleneksel kaynaklardan gelen sera gazı yayılımlarının özellikleri olarak tanımlanmaktadır [16].

Kore’de apartmanlarda Kojenerasyon Sistemin Ekonomik Kullanımı isimli çalışmalarında; özel konutların bulunduğu alanlarda sekiz apartmanın, büyüklükleri 57200 m² ile 182760 m² arasında olan yerler seçilmiş ve bu apartmanlarda kojenerasyon sistemi kullanılarak ne kadar enerji tasarrufu sağlandığı üzerinde çalışmışlardır. Elektrik ve ısı taleplerine göre her apartman için bir kojenerasyon sistemi optimum düzenini geliştiren bir bilgisayar programı ile belirlenmiştir. Apartmanların kojenerasyon sistemi ile tanışmasıyla ekonomik kazanç sağlandığı tahmin edilmiş ve gözlemlenen değereer ile tahmin edilen değereer karşılaştırılmıştır. kojenerasyon sistemin benimsenmesiyle doğale gaz tasarrufu % 30’dan fazla olduğu ve toplam enerji harcamasında ortalama ekonomik kazanım 3.6 US\$ m⁻²/yıl elde edilmiştir [17].

Portekiz senaryosunda mikro birleşik ısı ve güç sistemlerinin planlaması isimli çalışmalarında; MikroG modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Mikro-CHP fabrikalarını dayanışma içinde Portekiz enerji yasal taslağıyla birlikte planlamak için model tasarlanabilir, değereendirebilir ve birçok mikro – CHP fabrikayı tekno ekonomik noktada en iyi şekilde kullanabilir. MikroG, bazı veri merkezlerine cazibeli gelir, örneğin mikro – kojenerasyon teknolojileri ve daha önce açıklanan güç tüketim profilleridir. Ek olarak spor salonları da bir uygulamalı durum, modelin tüm görevlerini gösterdiği düşündürebilmektedir. Geliştirilen model görünen pratik özelliklerinden çok kullanılışlı olduğu ispatlanmıştır. Bu model mikro – CHP Portekiz pazarının gelişimine yardımcı olabilmektedir. Başka bir açıdan EU kojenerasyon yönergesi ve Kyoto Protokolü hedeflerinin başarmasına katkıda bulunur. MikroG modelindeki diğere gelişmeler, diğere mikro – kojenerasyon teknolojilerine uygulama alanını genişletebilir ve CO₂ emilim işini başarabilmektedir [18].

BÖLÜM III

III. Materyal ve Yöntem

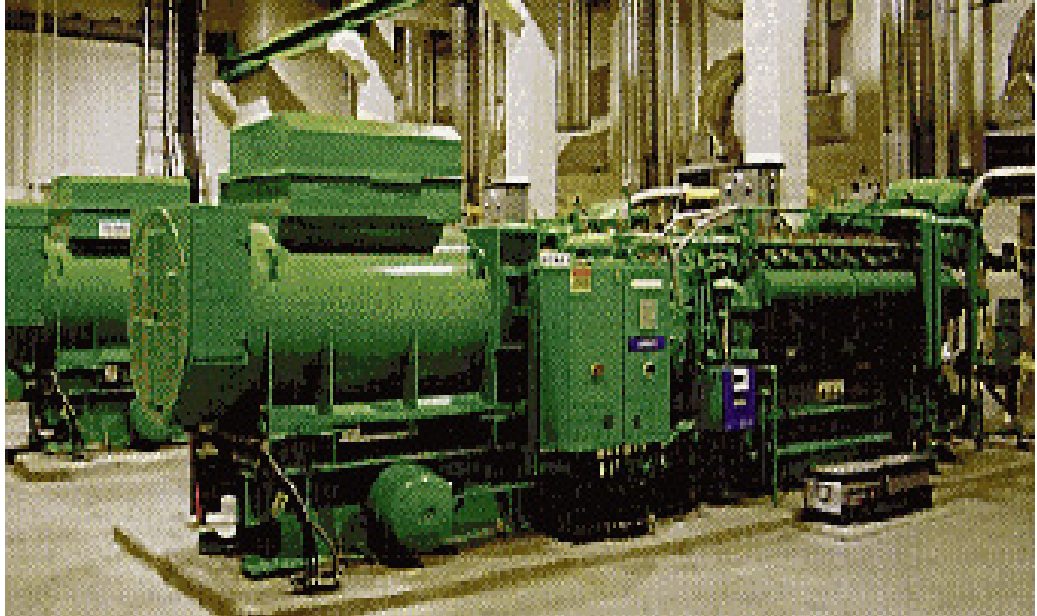
III.1. Materyal

III.1.1. Kojenerasyon Sistemlerinde Üretim Teknikleri

Kojenerasyon iki çeşit ana tahrik ünitesi vasıtasıyla uygulanmaktadır.

- Gaz Türbini
- Gaz Motoru ya da Dizel Motor

Gaz türbinleri kojenerasyon uygulamaları için yaygın olarak 4,5 - 20 MW güç aralığında kullanılmaktadır. Buna karşılık gaz motorları da daha küçük güçlerde ve Türkiye’de özellikle 1 MW seviyelerinde uygulanmaktadır. Ancak gaz motoru kojenerasyon uygulamalarını bu boyutta sınırlamak doğru değildir. Tek modülde 100 kW seviyelerinden 3 MW seviyelerine kadar motorlar mevcut olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santrallerde 10 MW seviyelerine ulaşılabilir. Bu uygulama Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır.

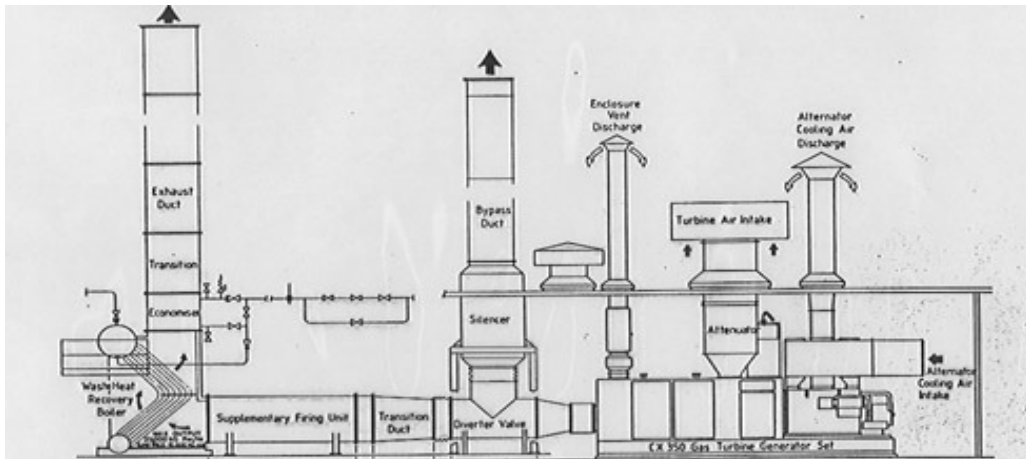


Şekil III.1. Gaz Türbini [26].



Şekil III.2. Gaz Motoru ya da Dizel Motor [26].

Şekil III.1 ve Şekil III.2’de görüldüğü bu üniteler, kendi başlarına sadece elektrik üretebilecek durumdadırlar. Bu üniteleri, kojenerasyon sistemi haline getirmek için dışarı atılan ısının kullanılır ısı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Gaz türbininde bu ısı egzoz gazı ısısı şeklinde olup, bir atık ısı kazanı marifetiyle bu ısı proses ihtiyacına göre buhar, sıcak su, kızgın su ya da kızgın yağ üretmek için kullanılabilir. Diğer bir yaygın kullanım alanı da egzoz gazının hava ile karıştırılarak direkt kurutma uygulamalarında kullanılmasıdır. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim verimi % 80 seviyelerini yakalayabilmektedir. Gaz motorlarında ise atık ısıнын yaklaşık 1/3 oranı egzoz gazından 2/3 de motorun soğutma sistemlerinden geri kazanılmaktadır [26].



Şekil III.3. Soğutma Devreleri [26].

Şekil III.3’de görüldüğü üzere soğutma devreleri; silindir-gömlek soğutması, karterdeki yağın soğutulması ve turbocharger soğutmasından oluşmaktadır. Buna egzoz eşanjöründen elde edilen ısı eklenmektedir.

III.1.2. Gaz Türbinleri

Gaz türbini bir araba motoru gibi yakıt enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinedir. Sıkıştırılmış havayı alıp nozullarında genişleten türbin, çıkış şaftı ile bir jeneratör veya kompresörü çalıştırır. Makinanın içerisinde sıkıştırılmış havanın sağlanması bir aksenal veya radyal akış kompresörü ile gerçekleştirilir. Sıkıştırılmış hava, yakıtle ısıtıldığı çok sayıdaki yanma odaları içerisine gönderilir. Burada yakıt ağır yağ, motorin, kerozen, doğalgaz, gaz veya sıvı yakıt kombinasyonlarından biri olabilir. Prensip olarak yanma sistemi uygun olarak tasarlandığı takdirde herhangi bir tür yakıt kullanılabilir.

Gaz türbinlerinde önemli olan kullanılan yakıtın türü değil, kızgın havanın elde edilmesidir. Yaklaşık 1200 derecedeki kızgın hava nozullarda kısmen hız enerjisine dönüştürebilecek olan belli bir miktardaki ısıyı ihtiva eder. Yüksek hız kazanan hava gaz türbini seyyar kanatlarında yön değiştirir ve türbin tekerleğinin dönmesini sağlayacak olan bir itme kuvveti oluşturur. Bu olay 2. hatta 3. tekerlekte de kendini tekrar edebilir.

Gaz türbinleri çeşitli amaçlar için kullanılır:

- Jeneratör çalıştırma
- Kompresör çalıştırma
- Uçak ve gemilerin çalıştırılması

Çalışma prensibi:

Prensip olarak bir gaz türbini bir dizel motoru veya patlamalı motor gibi içten yanmalı bir makinedir. Bu makinanın izlediği proses hava girişi, sıkıştırma, genişletme ve egzoz adımlarından oluşmaktadır. Gaz türbini çevrimi rahatlıkla bir içten yanmalı motor çevrimini ile karşılaştırılabilir. Atmosfer havası bir kompresörle emilir ve 6-12 bar’lık basınçla sıkıştırılır. Sıkıştırmadan dolayı sıcaklık artacaktır. Hava bundan sonra yanma odasına geçer, yakıt nozulların püskürttüğü yakıt ile karışır. Yanan yakıt sabit basınç altında gaz (hava + yanma gazları) sıcaklığını yükseltir. Kızgın gazlar mekanik işin elde edileceği türbin boyunca genişler. Elde edilen işin bir kısmı kompresörü çalıştırmak için kullanılır geri kalan iş ise diğer

amaçlar için kullanılmak üzere çıkış şaftına iletilir. Bir gaz türbininin bir dizel veya patlamalı motora göre büyük farkı gaz türbininin çevriminin sürekli olmasıdır. Burada proses 2 veya 4 zamanlı motorlar gibi kesintiye uğramaz. Sıkıştırma yanma genişleme ve egzost adımları içerir. Bu ise pistonlu makinaların düzensiz torkuna göre bir avantaj olan çıkış şaftı üzerinden sabit bir tork alınması imkânını sağlar.

Önemli gaz türbini uygulamaları:

Elektrik üretimi için jeneratör,

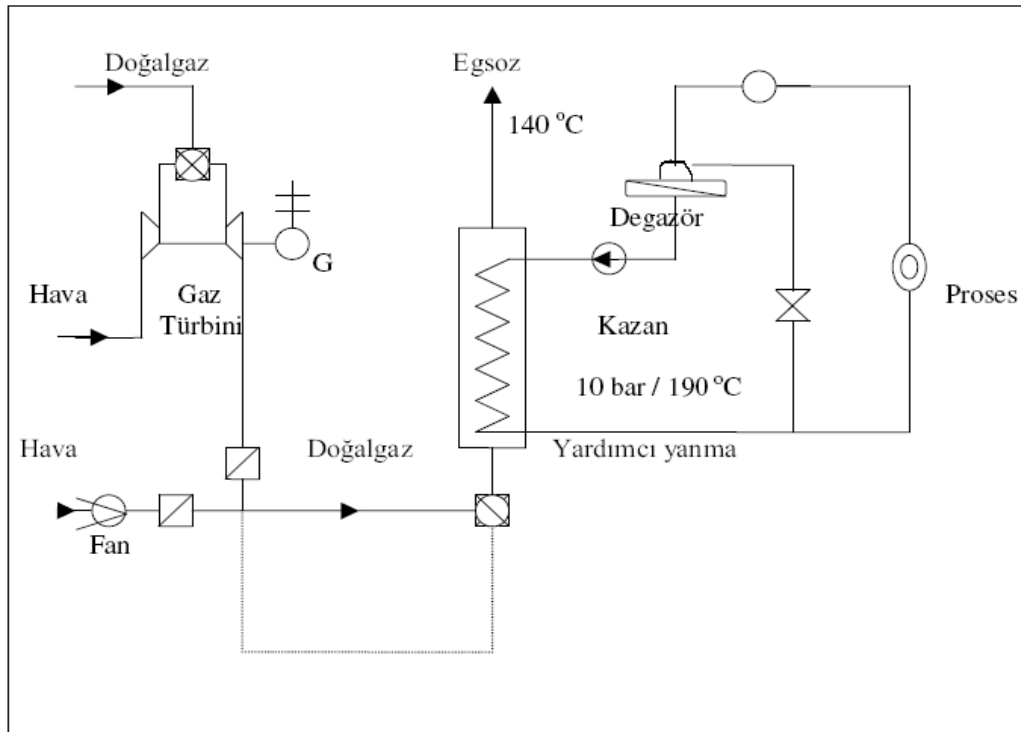
Kompresör veya pompa,

Elektrik ve buhar veya sıcak su üretimi kombinasyonu,

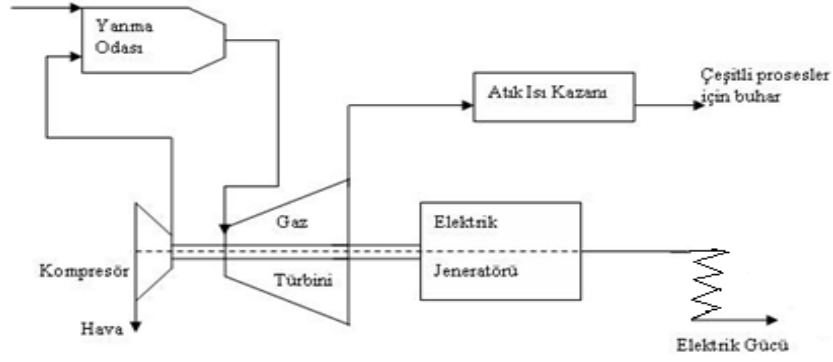
Gemi ve tren çalıştırma vb. uygulama alanlarına sahiptir [28].

III.1.2.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Tekniği

Yakıt ve hava karışımının (12-35 bar) yanma odasında yakılmasıyla oluşan kinetik enerji, türbin ve şanzıman aracılığıyla jeneratörü tahrik eder. Jeneratörden de böylece elektrik enerjisi elde edilir. Gaz türbinli sistemlerin egzost çıkışları 400 - 500 °C sıcaklık dolaylarındadır. Türbin çıkışından direkt bir ısı eşanjörü (atık ısı kazanı) aracılığıyla istenen şartlarda doymuş buhar ve/veya sıcak su elde edilir. Böyle bir kojenerasyon tesisinin prensip şeması Şekil III.4'de görülmektedir.

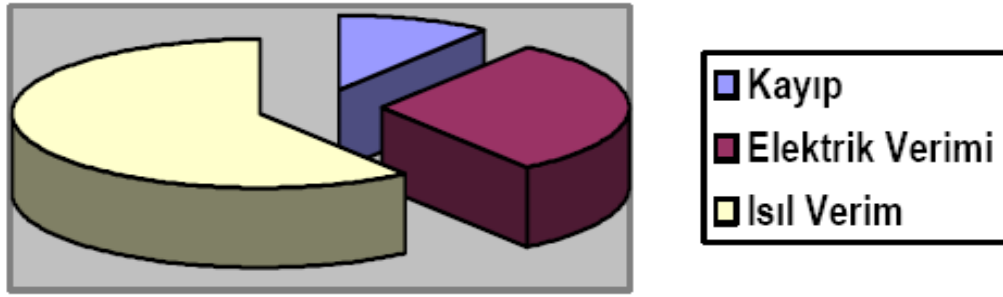


Şekil III.4. Gaz Türbinli Basit Çevrim Kojenerasyon Tesisi Prensip Şeması[20].



Şekil III.6. Basit Çevrimli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi [7].

Basit çevrimli gaz türbinleri genellikle 25 MW'tan daha az güç üretiminden kullanılmaktadır. Şekil III.6'da basit çevrimli bir gaz türbinli kojenerasyon sistemi şeması görülmektedir.



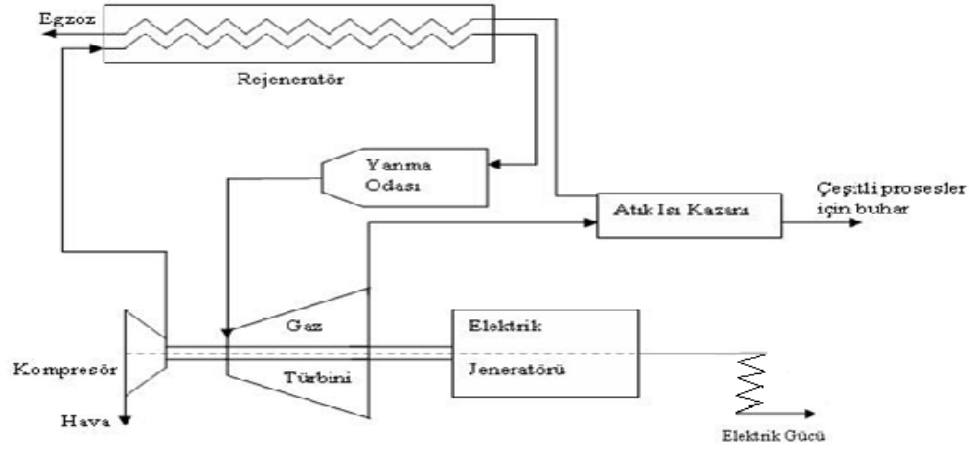
Şekil III.7. Basit Çevrimli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi Enerji Verimliliği [7].

Basit çevrimli gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin enerji verimliliği Şekil III.7'de gösterilmiştir. Buna göre birincil enerji girdisi %100 alındığında elektrik verimi %30, ısı verim %60, kayıp ise %10 olmaktadır.

III.1.2.3. Rejeneratör İlaveli Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi

Basit gaz türbinli kojenerasyon sistemini iyileştirmenin çeşitli metotları vardır. Genel olarak iyileştirilmiş bir gaz türbini çevrimine, basit çevrimli gaz türbininden farklı olarak bir rejeneratör ilave edilmiştir. Bu rejeneratör gaz türbininden çıkan gazların egzoz enerjisini kullanarak, kompresörden çıkan sıkıştırılmış havanın yanma odasına girmeden önce ön ısıtılma işlemini sağlar. Kojenerasyonun uygulandığı bina, kurum veya işletmenin sabit “elektrik ve termik yükü” biliniyorsa, gaz türbininin egzoz gazları bir atık ısı kazanına verilir [7]. Bu kazan ısıtma ve diğer termik

uygulamalar için buhar üretir. Bu tip işletmeler türbinin elektriksel ve termik kapasitelerini kullanarak performansını artırabilirler. Şekil III.8’de rejeneratör ilaveli bir gaz türbini kojenerasyon sistemi akış şeması görülmektedir.



Şekil III.8. Rejeneratör İlaveli Gaz Türbini Kojenerasyon Sistemi Akış Şeması [7].

III.1.2.4. Gaz Türbinleri Emisyonları ve Kontrollü

Gaz türbinli emisyonlarına dünya çapında gösterilen hassasiyet sonucunda, gaz türbinlerinin emisyon değerleri ve egzoz emisyon metotlarının gaz türbinlerine etkisi hakkında bilgi gereksinimini arttırmıştır. Buna ilave olarak, emisyon kontrol metotları gaz türbinin performansını ve önerilen kontrol aralıklarını etkiler. Emisyon kontrol metotları hem türbin içi ve dışarıda egzoz sistemleri emisyon kontrolleri ile değişiklik gösterir.

Sabit gaz türbinlerinde oluşan egzoz emisyonları Tablo III.1’de verilmiştir. Asıl emisyon değerleri yüzdelik oranda, ikincil emisyonlar ise ppm olarak verilmiştir. Kullanılan yakıt ve çalışma koşulları verildiğinde asıl türlerin dağılımı hesaplanabilirken, ikincil emisyonların hesaplanması mümkün değildir. Tablo III.1’de verilen ikincil emisyonlar gaz türbinin çalışma koşullarının ve yakıt bileşiminin bir fonksiyonudur.

Tablo III.1. Gaz Türbinleri Egzoz Emisyon Değerleri [29].

Asıl Emisyonlar	Konsantrasyon (% Hacim)	Kaynak
Nitrojen (N ₂)	66-72	Motor giriş havası
Oksijen (O ₂)	12-18	Motor giriş havası
Karbon Dioksit (CO ₂)	1-5	Yakıtın içerisindeki karbonun oksidasyonu
Su Buharı (H ₂ O)	1-5	Yakıtın içerisindeki hidrojenin oksidasyonu
İkincil Emisyonlar	Konsantrasyon (PPMV)	Kaynak
Nitrik Oksit (NO)	20-220	Atmosfer nitrojeninin oksidasyonu
Nitrojen Dioksit (NO ₂)	2-20	Yakıt birleşimli nitrojenin oksidasyonu
Karbon Monoksit (CO)	5-330	Yakıt karbonun tamamlanmamış oksidasyonu
Sülfür Dioksit (SO ₂)	Az-100	Organik sülfürün oksidasyonu
Sülfür Trioksit (SO ₃)	Az-4	Organik sülfürün oksidasyonu
Yanmamış hidrokarbonlar	5-300	Yakıtın tamamlanmamış oksidasyonu
Partikül	Az-25	Yakıt külü, yakıtın tamamlanmamış oksidasyonu, sıcak parçalardaki yıpranma

a) Nitrojen oksit (NO_x)

Nitrojen oksit (NO_x = NO + NO₂) oluşum mekanizmasına göre termal nitrojen ve organik NO_x olmak üzere ikiye ayrılmalıdır. Termal NO_x yanma havasındaki veya yakıttaki bağımsız nitrojenin oksidasyonu sonucu oluşurken, organik NO_x yakıtın kendi içerisinde bağ kurmasıyla oluşur. Termal NO_x üretimi ile yanma odası koşulları arasında aşağıdaki ilişkiler vardır.

- NO_x yakıt hava karışım oranının ve ateşleme sıcaklığının artmasıyla büyük oranda artar.
- Yanma odasına giren havanın sıcaklığı arttığında NO_x üretimi eksponansiyel şekilde artar.
- Yanma odasına giren havanın sıcaklığının karekökü ile orantılı artar.
- Yanma odasında havanın uzun süre kalmasıyla artar.
- Su, buhar veya özel nem enjeksiyonun karekökü ile orantılı olarak azalır.

b) Karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon emisyonu

Karbon monoksit emisyonu sabit çalışmada, düşük yüklerde 10 ppmvd (parts per million by volume dry) civarındadır. Ateşleme ve ivmelenme sırasında emisyon değerleri bu değerin üstünde olabilir. CO emisyonu ateşleme sıcaklığına bağlı olarak değişir. Genellikle ateşleme sıcaklığı 1500 °F/816 °C altına indiğinde CO emisyonu hızlı şekilde artar. Ateşleme sıcaklığının azaltılmasıyla CO emisyonu azaltılabilir. Bu tüm ağır hizmet gaz türbinleri için geçerlidir.

c) Sülfür oksit (SO_x)

Gaz türbinleri tek başlarına sülfür üretmezler. SO_x üretimine önderlik ederler. Gaz türbini egzozunda oluşan SO_x emisyonu, gaz türbininde hava yakıt karışımına enjekte edilen su veya buhar ile birleşmesinden ve yakıtın içeriğindeki sülfürden dolayı oluşur.

Yakıt içerisindeki sülfür tamamen SO_x'e çevrilir. Yakıt içerisindeki sülfürün % 95'i SO₂ formuna çevrilirken geri kalan kısmı SO₃ formuna dönüşür. SO₃'ün su buharı ile birleşmesiyle asit oluşur.

d) Partikül emisyonu;

Gaz türbininde oluşan partikül emisyonu yanma sisteminden, yakıt özelliklerinden ve yanma odası koşullarından etkilenir. Kül, duman, yanmamış atmosfer havası, erozyon ve korozyon partikül emisyonunu oluşturur.

Emisyon Azaltma Teknikleri ;

Gaz türbini minimum yük koşullarında çalışırken yakıt yeteri kadar hava ile yakıldığı için düşük oranda değişik egzoz kirleticisi yayar. Bu kirleticiler ve önleme teknikleri;

a) NO_x azaltma teknikleri

Termal NO_x üretimi adyabatik alev sıcaklığına erişildiğinde hızlı şekilde artış gösterir. Adyabatik alev sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde NO_x üretimi düşer. Bu teori ile termal NO_x üretimi kontrol edilir. Termal NO_x üretimini azaltmak için alev sıcaklığı azaltılmalıdır.

b) CO azaltma teknikleri

CO yanma odasında tamamlanmamış yanmadan dolayı oluşur ve gaz türbininde direkt olarak CO emisyonunu azaltacak teknikler yoktur. Yüksek yüklerde, ateşleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak CO emisyonu azalır. Ancak düşük yüklerde ateşleme sıcaklığının azalmasından dolayı CO emisyonu artar. Bu nedenle düşük yüklerde su/buhar enjeksiyonu azaltılmalı ve aynı yük değerleri için motor giriş kılavuz kanatçıkları kapatılarak ateşleme sıcaklığı azaltılmalıdır.

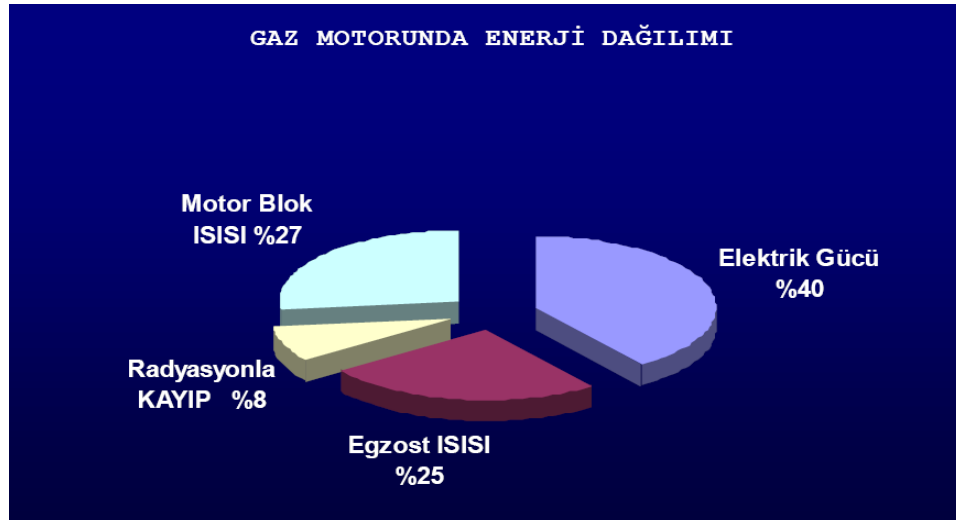
c) Partikül ve duman kontrolü

Partikül ve duman emisyonu kontrol teknikleri yakıt bileşiminin kontrol edilmesiyle sağlanır. Özellikle ağır yakıtların düşük oranda hidrojene ve yüksek oranda karbona sahip olması duman artışını arttırır. Yakıt bileşimi kontrol altına

alınarak duman miktarı azaltılabilir. Ağır yakıtların potasyum, kadmiyum, vanadyum gibi alkali metaller içermesi yüksek ateşleme sıcaklığına sahip gaz türbini nozullarında ve türbin pelelerinde korozyona neden olur. Yakıtın yıkanmasıyla, su içerisinde çözünen alkali tuzlar temizlenir. Filtreleme, santrifüj ve elektrostatik çökeltme yanma içerisindeki katı kirleticileri azaltmada kullanılan etkili diğer bir yöntemdir [29].

III.1.3. Gaz Motorları

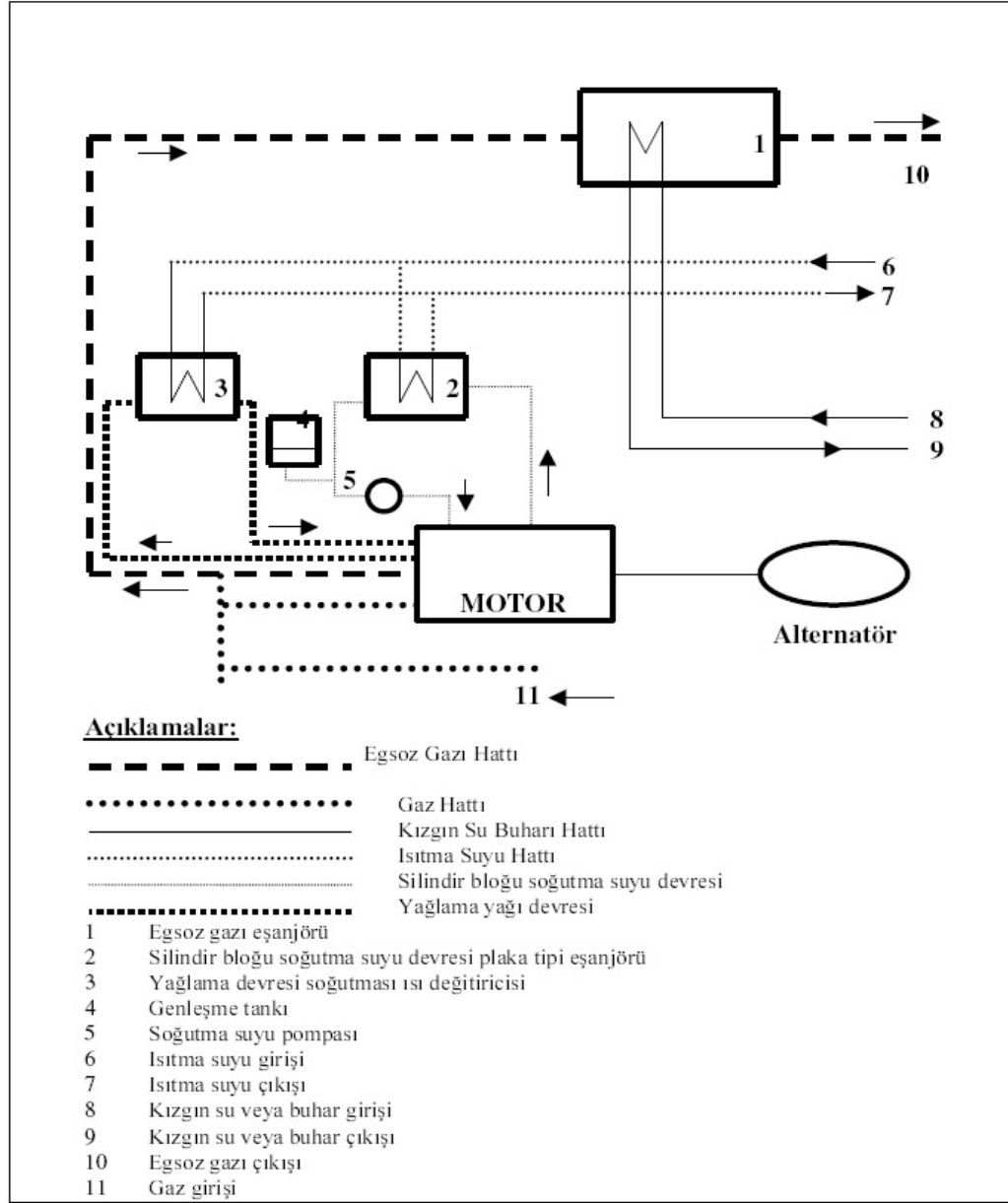
Daha düşük sıcaklıkta ve kütlede atık ısı sağladıklarından ve çok çeşitli güçlerde üretebildiklerinden dolayı, özellikle elektrik ihtiyacı, ısı ihtiyacından daha fazla olan yani elektrik ısı oranı, Bileşik ısı güç santralinde üretilen işin-elektriğin, kullanılan ısıya oranı yüksek (% 80 civarı) endüstriyel uygulamalarda, toplu konut, tatil köyleri, büyük oteller gibi sıcak su ve soğutma gereksinimi olan uygulamalarda, optimum çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil III.9. Gaz Motorundaki Enerji Dağılımı [30].

Şekil III.9’da görüldüğü gibi, pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıtın (birincil enerjinin) dönüştüğü enerji türlerinin şöyle sıralayabiliriz:

- %35-40’lık bir kısmı mekanik güce,
- %30-35’lik bir kısmı motor gömlek ısısına,
- %25-30 Egzost ısısına ve
- %7-10’luk bir kısmı radyasyon enerjisi şeklinde kayıp enerjiye dönüşmektedir [30].



Şekil III.10. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Prensip Şeması [30].

Yukarıda bahsedilen enerji dağılımından yola çıkarak, ortaya çıkan atık ısılardan gaz motorunun, kojenerasyon (Bileşik Isı ve Güç Üretimi) amaçlı kullanımında sistem verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir. Bunlar; gaz motorunun yağlama devresi, egzoz gazları ve şarj havası, silindir bloğu soğutma devresidir. Şekil III.10'da gaz motorları kullanılan bir kojenerasyon tesisinin prensip şeması görülmektedir. Atık ısıları geri kazanım için kullanılan eşanjörler sistemini çeşitli modifikasyonlarda tasarlamak mümkündür.

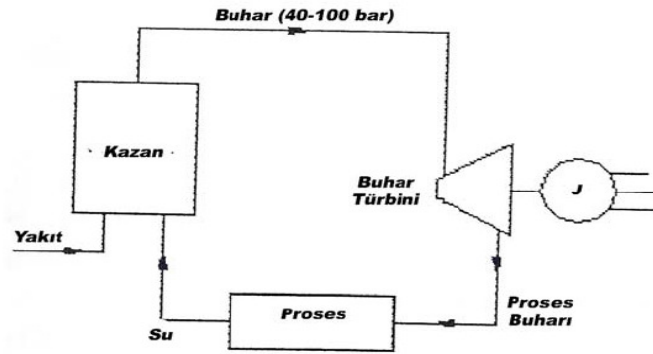
Gaz motoru uygulamalarının avantajları

- En yüksek miktarda elektriği üretebilecek (elektrik ısı oranı ≈ 0.8) toplam %40'a varan elektrik çevrim verimi ile elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu durumlarda seçilmesi uygun olan çözüm alternatifleridir. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyan; toplu konut, tatil köyleri, oteller, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.
- % 85 ile % 91 arasında değişen toplam çevrim verimi türbinli sistemlerle karşılaştırıldığında, türbinli CHP (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve güç) sistemlerinde elektrik çevrim verimi arttıkça toplam çevrim veriminin önemli miktarda düştüğü görülmektedir
- Fakir karışım veya katalizörlü yakma sistemlerinin çevre dostu temiz doğal gazla kombinasyonu sayesinde, çok düşük zararlı emisyon seviyesi yakalanabilir. Modern fakir karışım yanma sistemlerine haiz motorlar NO_x emisyonlarını azaltmak için katalizöre ihtiyaç görmeksizin, binlerce saat izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilmektedir.
- Kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü konfigürasyon, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin en esnek CHP sistemi yapmaktadır. Kısmi yükte çalışma durumunda verimin önemli miktarda etkilenmemesi ve modüllerin gerektiğinde sırayla devreye girip çıkma imkânları, sistemin elektrik ve ısı talebinde gün içinde olagelen talep değişikliklerini ve EIO değişimlerini rahatça kompanse etmesine izin verir. Bu da gün bazında enerji maliyetlerinin minimize edilmesine yardımcı olur.
- Gaz motorunun kısa zamanda devreye alınıp, kısa zamanda devre dışı bırakılabilmesi, bir kolaylıştır. Aynı zamanda, gaz motoru, tesisin az devre elemanı içermesinden dolayı, diğer sistemlere göre daha kısa zaman sürelerinde tesis edilebilmesi ve tesis iç tüketimlerinin az olması da gaz motoruna yıllar boyu % 98'in üzerinde bir emre amadelik oranı sağlar.
- Gaz motorları denilince, yakıt olarak ilk önce doğalgaz akla gelmekte fakat atık arıtma tesislerinden kanalizasyon gazı (Sewage gas), çöp depolama tesislerinden çöplük gazı (Landfill gas) ve benzer şekilde

biyogaz, kok gazı vb. yakıtlarda kullanılabilir. Üstelik atıklardan elde edilen bu gaz türleri elektrik ve ısı üretmek için direkt olarak kullanılabilir. Bunların direkt olarak motorlarda yakılmasıyla, değerlendirilmeleri için önce yakıp buhar üretmek, bununla da bir buhar türbini çevirmek gibi ara işlemler gerekmemektedir [30].

III.1.4. Buhar Türbinleri

Kojenerasyon sistemleri arasında kullanılan en eski teknoloji, buhar türbinleri ile kurulan sistemlerde mevcuttur. Uzun zamandır elektrik ve ısı üretimi için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde buhar üretimi için doğal gaz, LPG, Fuel-Oil, Kömür ve çöp gazı kullanılır. Kullanılan yakıtların çeşitliliği bir avantaj gibi gözükse de, çevreye etkileri söz konusu olduğunda baca gazı emisyon değerlerinin gereken sınırlarda tutulması için alınacak önlemler sisteme ek maliyet getireceğinden ekonomik olmayabilir. Buhar türbinli sistemler, Elektrik gereksiniminden daha çok buharın gerekli olduğu tesisler için avantajlı olur. Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri sürekli üretim halinde olan Kâğıt, Cam, Petrokimya, Petrol Rafineri, Besin İşleme endüstrileri için uygundur. Buhar, türbinlerindeki buhar kazanında yakıtın yanması ile açığa çıkan kimyasal enerji, suyu buharlaştırır. Buhar türbinlerinde genişleyerek türbinin dönmesini sağlar. Elde edilen bu mekanik enerji bir mil ile jeneratörü tahrik eder ve elektrik enerjisi elde edilir. Şekil III.11'de buhar türbinli kojenerasyon sistemi şeması gösterilmiştir.



Şekil III.11. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemi [7].

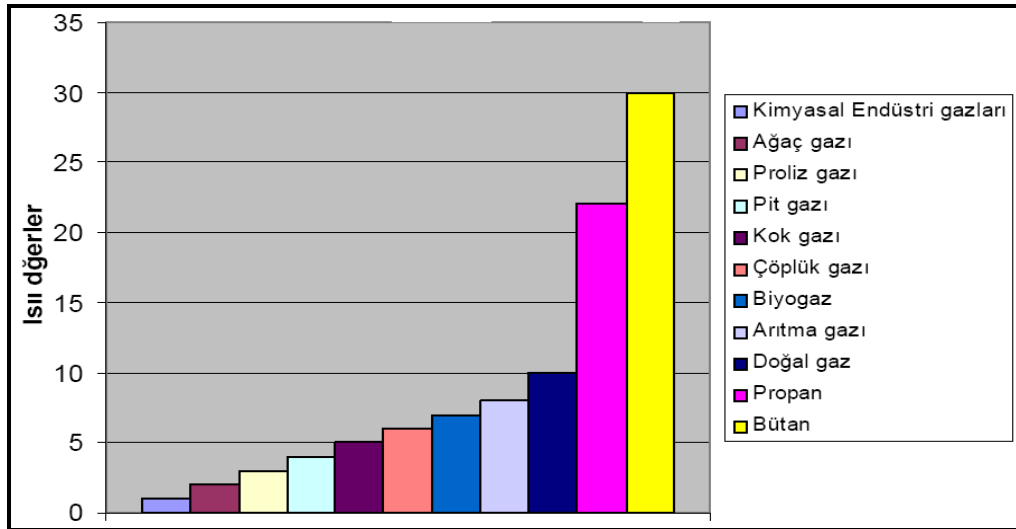
Buhar türbininin verimliliği, işletme şekline ve yapılan bakıma bağlıdır. Buhar türbinlerinin yılda toplam 150 saat bakım süresi vardır. Ayrıca 150 saat kadar da

zorunlu duruş süresi gereklidir. Böylece buhar türbinlerinin toplam çalışabilirliği % 95 dolaylarındadır. Buhar türbinlerinin ömürleri yapılan bakım ve işletme şekline bağlı olarak 30 yıl veya üzeri olabilmektedir [7].

III.1.5. Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon teknolojisi kaynakların yeniden üretilmesinden kazanılan biyogaz kullanımının ekolojik ve ekonomik bir cazip olasılığını sunar. 0,54 kWh/Nm³'lük bir ısı değere düşük metan sayılı kimyasal endüstriden elde edilen gazlardan, 34 kWh/Nm³'lük bir ısı değere sahip bütana kadar birçok yakıt kullanmak olasıdır. Bu yakıt türlerinden bazı örnekler ve ısı değerleri Şekil III.12'de görülmektedir. Şekildeki yakıtların yanı sıra dizel türü ağır yakıtlar kullanılan motorlar, LPG ile çalışan sistemlerde çeşitli kojenerasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

Isıl değerler incelendiğinde çöplüklerde, kanalizasyonlarda ve bu gibi atıklarda adeta enerji hazinelerinin yatmakta olduğu görülmektedir. Bu atıkları kontrolsüz bir şekilde çevreye atarak, sadece çevreyi kirletmekte kalmıyor, aynı zamanda enerji kaynakları da kullanamamış olur.



Şekil III.12. Çeşitli Birincil Yakıtların Isıl Değerleri [30].

Türkiye gibi sürekli enerji kesintilerinin gündemde olduğu ve devamlı nükleer ve termik santral tartışmalarının yapıldığı bir ülkede, çöplük patlamalarından dolayı meydana gelen maddi hasar ve can kayıpları olduğunda bu atıkların

değerlendirilmesi akla gelmektedir. Oysa buralarda oluşan gazlar değerlendirilirse, hem çöplükler daha güvenli hale gelecek hem de enerjideki dar boğazın aşılabilmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Gaz motorunda kullanılan bir yakıtın en önemli özelliklerinden biri de vuruntu direncidir. Gazın vuruntu direncini de “Metan Sayısı” belirler. Aşağıda verilen Tablo III.2 de bazı yakıtların metan sayıları ve diğer özellikleri görülmektedir. Benzin yakmalı motorlarda “Oktan Sayısının” vuruntu kriteri olduğu ve sıkıştırma oranı ile ateşleme açısının buna göre belirlendiği bilinmektedir. Gaz yakıtlı Oto motorlarında ise yakıtın uygunluğunu tespit etmek için hesaplanması gereken vuruntu kriteri metan sayısıdır. Arkasından kalorifik değer ve laminar alev hızı gelir. Metan sayısının 100’e yakın veya üzerinde olması, sıkıştırma oranını yükseltme ve böylece mekanik verimi artırma olanağı sağlar. Bu koşulda, motor sıkıştırma oranını 12.5:1 seçmek ve gaz motoru için oldukça yüksek sayılabilecek olan % 41’lik bir verime ulaşmak mümkündür [30].

Tablo III.2. Bazı Yakıtların Metan Sayıları ve Diğer Özellikleri [26].

Yakıt	Kompozisyon	Spesifik Gravite (kg/nm ³)	Alt Isıl Değer (kWh/nm ³)	Metan Sayısı	Laminar Alev Hızı (cm/sn)
H ₂	Hidrojen	0,0899	2,996	0	302
CH ₄	Metan	0,717	9,971	100	41
C ₃ H ₈	Propan	2,003	26	33	45
CO	Karbon Monoksit	1,25	3,51	75	24
Doğal Gaz	CH ₄ = % 88,5 C ₂ H ₆ = % 4,7 C ₃ H ₈ = % 1,6 C ₄ H ₁₀ = % 0,2 N ₂ = % 5	0,798	10,14	80	41
Aritma Gazı	CH ₄ = %65 CO ₂ = %35	1,158	6,5	135	27
Çöplük Gazı	CH ₄ = % 50 CO ₂ = % 40 N ₂ = % 10	1,274	4,98	150	20
Odun Gazı	H ₂ = % 7 CO = % 17 CNHM = % 5 N ₂ = % 56 CO ₂ = % 15	1,25	1,38	13	

Doğalgaz : Kojenerasyonun ticari olarak bulunabilen tartışmasız temel yakıtıdır. Hem yanma özellikleri hem çevre dostu oluşu hem depolama gerektirmemesi hem de ekonomik açıdan en geçerli yakıttır.

Propan : % 95 üzerinde saflık gerekliliği ithal edilmesini gerektirmektedir. Enerji üretimi amaçlı olarak ithalatı bazı firmalarca yapılmaktadır. Ancak çok düşük

metan sayısı yüksek kalorifik değerine karşın motorlardaki üretimi aynı kapasitedeki gaz motoruna oranla % 65 düzeyinde kalmaktadır. Bu üretimin verimsiz olması anlamında değil, spesifik yatırım maliyetinin artması şeklinde yorumlanmalıdır.

Dizel: Yanması en az problemli ve zararlı emisyonu en düşük likit yakıttır. Ancak fiyatı sebebiyle kojenerasyonda ana yakıt olarak kullanılması ekonomik olarak mümkün değildir. Ancak gaz kesintilerine karşı, eşzamanlı şebeke elektriği kesilmesinde kullanılmak üzere yedek yakıt olarak değerlendirilebilecek en uygun yakıttır.

F.Oil no:4: Bir diğer uygun likit yakıttır. Ancak emisyonlarında arıtma gerekmekte, fiyat açısından da yine ekonomik saymak mümkün olmamaktadır.

F.Oil no:6: Birçok yöremizde bulunabilirliği, ülkemizde zaman zaman üretim fazlası vermesi (ithalattan bağımsız olabilme) ve enerji üretiminde kullanılması durumunda devletten gördüğü teşvik nedeniyle en uygun yakıtlardan biri olmasına karşın, gaz ve katı atıklarının arıtılması ve bertaraf edilmesinde karşılaşılan problemler ve maliyetler negatif taraflarıdır [26].

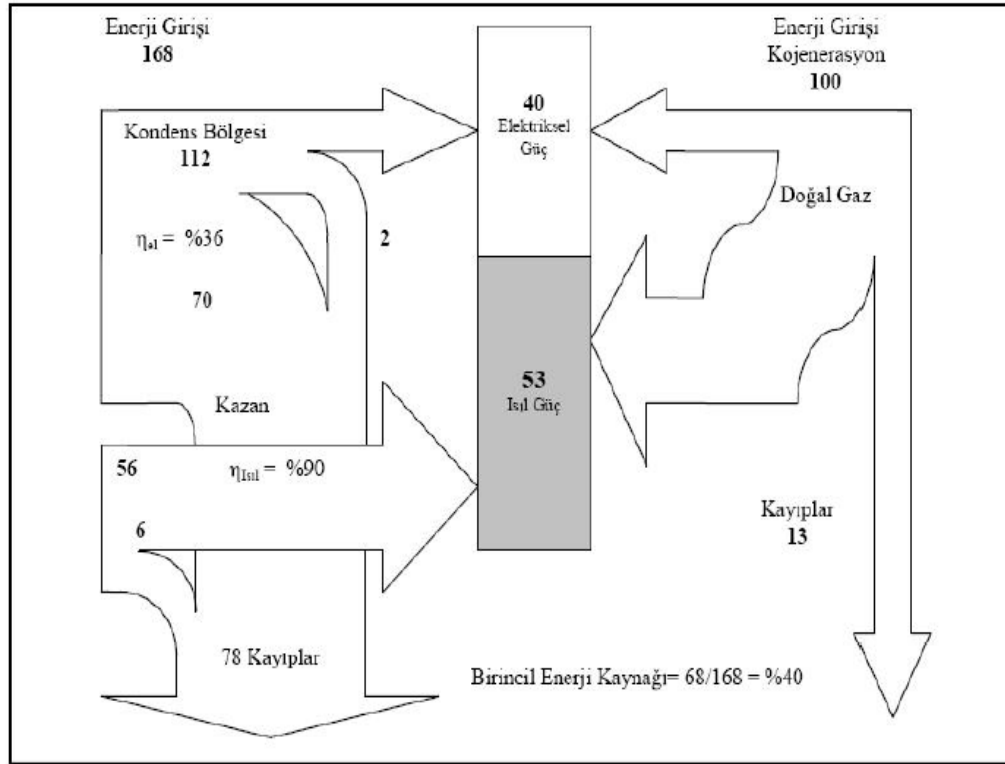
Odun gazı: Gazlaştırma, organik maddeleri yanıcı gazlara dönüştüren bir süreçtir. Organik madde olarak odun kullanıldığı takdirde, elde edilen gaza odun gazı denir ve bu gazdan elektrik eldesi odunun doğrudan yakılmasına oranla daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Biyogaz: Organik maddeler oksijen yokluğunda ayrıştığında yani anaerobik oluşum olarak adlandırılan işlem gerçekleştiğinden hacimce % 40-70 metan (CH₄), % 30-60 karbondioksit (CO₂), % 1-5 diğer gazlar oluşur. Renksiz, kokusuz, yanıcı olan biyogaz için diğer ifadeler lağım gazı, sulu çamur gazı, maden gazı, aptal ateşi, inek pisliği gazı biyoenerji geleceğın yakıtıdır.

III.2. Yöntem

Konvansiyonel enerji üretim sistemleri (Termik santrallerde elektrik, kazanlarda ısı üretimi) çevreyi kirletmekte ve birincil enerjinin yaklaşık % 55-65'i atık ısı olarak kaybedildiğinden ekonomik olmamaktadır. Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, eşanjörler yardımıyla çeşitli ısı ihtiyaçları için (Sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma vb.) değerlendirilebilmektedir. Gaz ile çalışan CHP (Combined Heat and Power) sistemlerinde elektrik ve ısının eş zamanlı üretilmesi ile % 80-90 değerinde verimlere

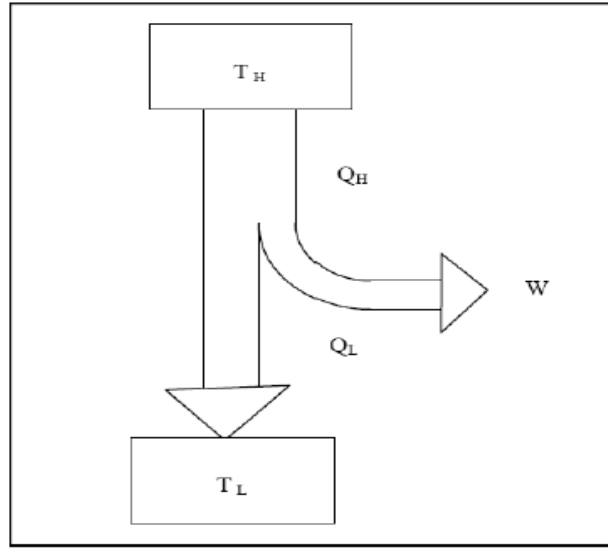
ulaşılabilmektedir. Böylece birincil enerjinin atılan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sisteminde, ilk yatırım tesis giderini 1,5-3 sene gibi çok kısa bir sürede geri ödenebilmektedir. Şekil III.13’de geleneksel ısıtma sistemi ve kojenerasyon sistemleri ile enerji üretimi bir Sankey diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi; 40 birim elektriksel, 50 birim ısıl güce ihtiyacı olan bir tesisin bu ihtiyaçlarını karşılamak için; konvansiyonel sistemde 168 birim enerji gerekirken, kojenerasyon sistemi ile 100 birim enerji yeterli olmaktadır [20].



Şekil III.13 Kojenerasyon ve Konvansiyonel Sistemlerle Enerji Üretimlerinin Sankey Diyagramı Karşılaştırılması [20].

Şekil III.14’ten de görüleceği gibi, kojenerasyon sistemi, tüm ısı makinelerinin çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmayı amaçlar. Şekil III.14’teki ısı makinesinden de görüleceği üzere, bir ısı makinesinde üretilen işin (W), alınan ısı enerjisine (Q_H) oranı, ısıl verim η ’dir [13].

$$\eta = W / Q_H \quad (III.1)$$



Şekil III.14. Isı Makinası Akış Diyagramı.

Isıl verime kojenerasyon uygulamalarında, elektrik çevrim verimi adı da verilmektedir. Çevreye aktarılan ısı enerjisi, Q_L , kojenerasyon sisteminde kullanılan ısıdır. Böylece enerjiden yararlanma oranı (EYO) maksimum düzeye çıkartılmaktadır.

$$EYO = W + Q_L / Q_H \quad (III.2)$$

EYO' ya kojenerasyon uygulamalarında toplam verim de denilmektedir. Her ne kadar EYO, termodinamiğin birinci yasasına göre "1" olsa da uygulamada atık ısının tümünden yararlanılamadığından bu mümkün olmamaktadır. Bu atık ısıdan, doğrudan ısı olarak yararlanılmadıkça, ısıdan faydalanma verimi % 35–55 aralığında olan uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik çevrimde, İstanbul Ambarlı Çevrim Santrali dünyadaki en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen bu verim değeri % 50 civarında kalmaktadır. Oysa atık ısıdan, yine ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem verimini yani Enerjiden Yararlanma Oranını (EYO) % 80 - 90'lara kadar çıkarmak mümkün olmuştur. Bileşik ısı güç santrallerinde üretilen işin (elektriğin) faydalanılan ısıya oranı, elektrik ısı oranı (EIO) diye tanımlanır. Termodinamiğin birinci yasası uyarınca ısı verimle de gösterilebilir. EIO, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biri olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir[13].

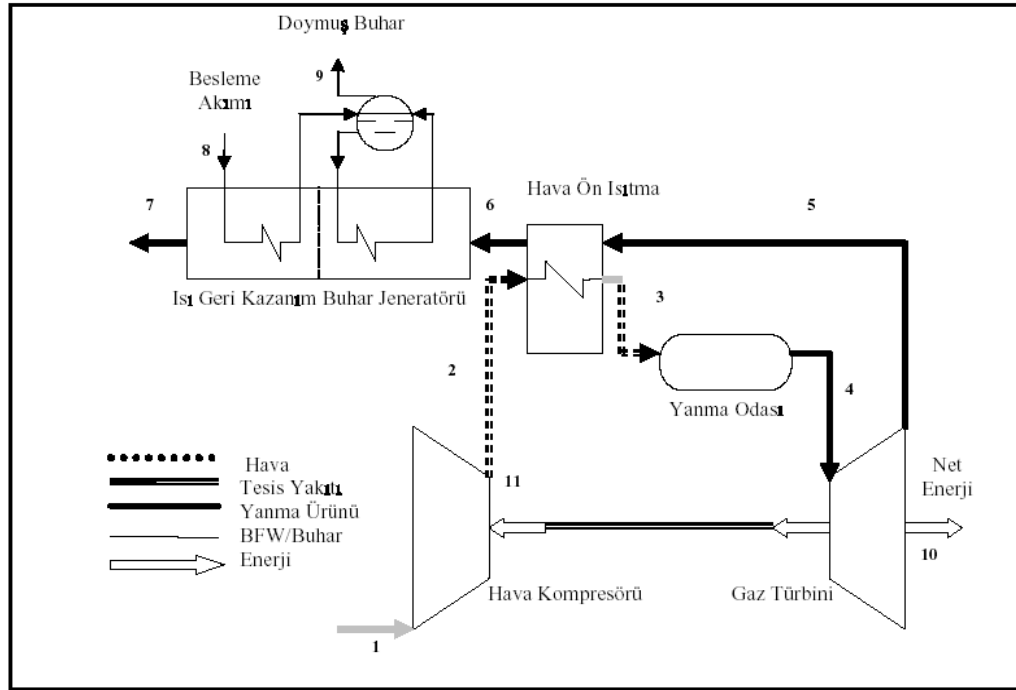
$$EIO = W / Q_L = \eta / 1 - \eta \quad (III.3)$$

Türbinlerde ise genellikle EIO'nın tersi (1 / EIO) olan ısı oranı temel parametrelerden birisi olarak verilir.

$$\text{Isı Oranı} = Q_L / W = 1 - \eta / \eta \quad (\text{III.4})$$

Şekil III.15'de hava kompresörü, hava ön ısıtma ünitesi, yanma odası , gaz türbini ve ısı geri kazanım buhar jeneratöründen oluşan bir kojenerasyon sistemi için genel bir akış diyagramı görülmektedir.

Kojenerasyonun (bileşik ısı-güç santrallerinin) bölgesel ısıtmada kullanılması durumunda, büyük boyutlarda yakıttan tasarruf edilebilmekte ayrıca elektrik enerjisi de üretilebilmektedir. Kojenerasyon santrallerinde yakıt enerjisinin yaklaşık % 15-30'u elektriğe dönüşmekte, % 40-60 ise ısı tüketicilerine verilmektedir [13].



Şekil III.15. Kojenerasyon Sisteminin Akış Diyagramı [13].

III.2.1. Bölgesel Isıtma

Bölge ısıtması, bir yerleşim biriminin bir veya birkaç merkezde kurulan santrallerle ısıtılmasıdır. Yerleşim birimi, bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir. Bazı uygulamalarda ısı santralleri sıcak su veya buhar üreten kazanlardan oluşur. Başka bir deyişle santralda sadece ısı üretilir. Bazı santralarda ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Bu tür santrallerde buhar türbini, gaz türbini veya

diesel (gaz) motoru kuruludur. İkinci uygulama bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon olarak bilinir.

Bölge ısıtmasının, her apartmanın veya konutun ayrı ayrı ısıtılmasına oranla bazı avantajları vardır. Bunların arasında atıkların denetlenerek çevre kirliliğinin önlenmesi, yakıtın ekonomik yakılması, yakıt seçeneklerinin fazlalığı öncelikle belirtilmelidir. Bölge ısıtmasının en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak olanaklıdır.

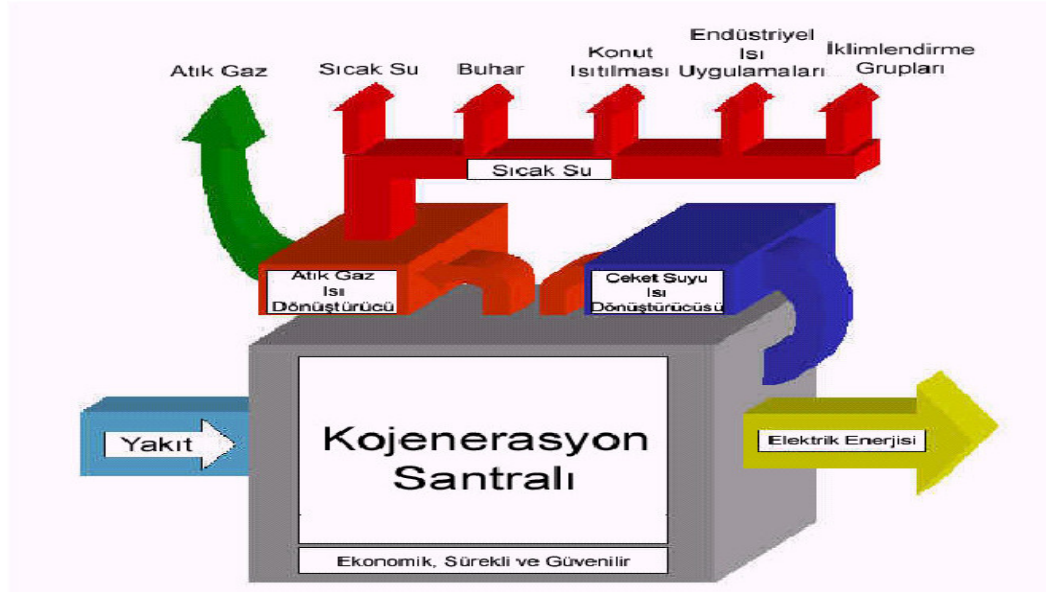
Bir bölge ısıtma sistemi, ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur. Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir bileşik ısı-güç santrali de olabilir. Santralda, ısıyın dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak sıcak su kullanımı çok daha yaygındır. Santralda ayrıca aracı akışkanın şebekede dolaşımını sağlayan pompalar bulunur. Santralda üretilen sıcak su veya buhar bir boru şebekesinde dolaşarak, ısı enerjisinin dağıtımını sağlar. Suyun santraldan çıkış sıcaklığı 90 ile 120 °C arasında olabilir. Şebekedeki sıcaklık düşümü ise 10 ile 30 °C arasındadır. Boru şebekesi kanalların içine yerleştirilebileceği gibi, yer üstünde veya toprağa gömülü de olabilir. Dağıtım sisteminde ayrıca genişleme elemanları, vanalar, yardımcı pompalar yer alır. Kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısı enerjisi aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki ısıtma tesisatından oluşur [19].

III.2.2. Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensipleri

Kojenerasyon santralleri tek bir işlemde hem elektrik hem de ısı enerjisini üretirler. Isı enerjisi gereksinimi her bölgede farklılık gösterir. Bu nedenle santralin kapasitesi bu bölgenin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanmalıdır. Santral bölgesinin bir kısmını ya da tamamını besleyecek şekilde düşünülmeli ve hatta enerji fazlasını iletim hattı üzerinde ihraç edebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kojenerasyon santrali temel olarak 4 bölümden oluşur;

- Esas hareketi sağlayan bölüm,
- Bir elektrik jeneratörü,
- Isı dönüşüm sistemi,
- Kontrol sistemidir.

Bölgenin ihtiyaçlarına göre esas hareket sağlayıcı bölüm buhar türbini veya gaz türbini olabilir. İlerleyen teknoloji ile gelecekte mikro-türbin, karıştırma motorları veya yakıt hücreleri kullanımına başlanabilecektir. Türbin elektrik jeneratörüne hareket verir ve kullanılabilir ısı yeniden elde edilir. Temel elemanlar güvenilir ve yüksek performansta olmalıdır. Özetle kojenerasyon santralleri bir tip yakıttan aynı anda hem ısı hem de elektrik enerjisi elde ederler; fakat ısı enerjisinin iletimindeki problemlerden dolayı tüketiciye yakın olmaları kurulumda gerekli bir şarttır. Kojenerasyon santralinin çalışma şemasını Şekil III.16’da basitçe görülmektedir [6].



Şekil III.16. Kojenerasyon Sistemlerinin Çalışma Prensibi.

III.2.3.Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Olurluluğunun Belirlenmesi

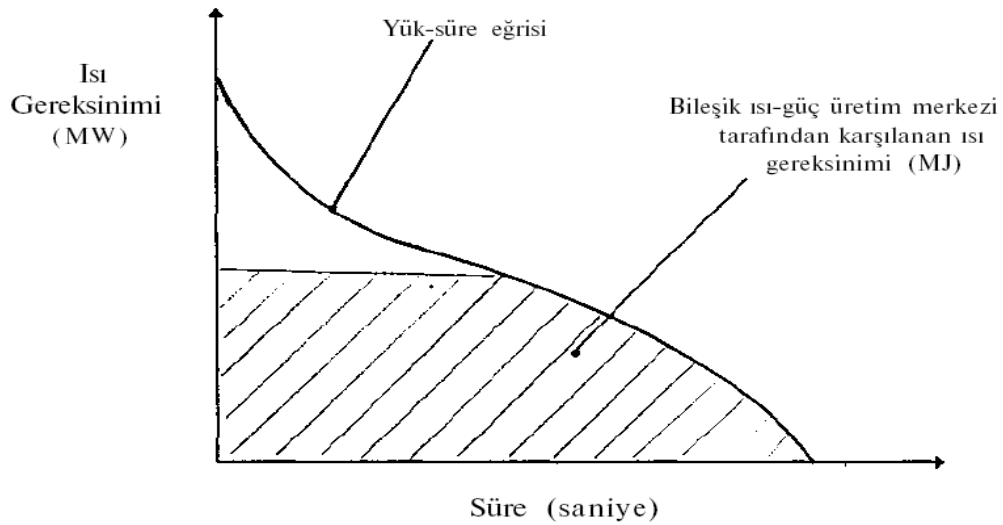
Bileşik ısı-güç üretimi kullanarak yapılan bölge ısıtmasının olurluluğuna termodinamik, ekonomik ve iklimsel parametreler birlikte göz önüne alınarak karar verilir.

Ekonomik olurluluğun belirlenebilmesi için sistemin yıllık net işletme geliri ile yatırım giderinin hesaplanmaları gerekir. Yıllık net işletme geliri, bölgenin ısı ve elektrik gereksinimlerinin ayrı ayrı karşılanması durumunda yıllık olarak ödenecek ısıtma, elektrik, personel, bakım onarım giderlerinin toplamından, bileşik ısı-güç santralının yıllık yakıt, personel, bakım onarım giderlerinin toplamını çıkartarak bulunur. Yatırım gideri ise bileşik ısı-güç santralının satın alınması ve kurulması ile ilgili olarak başlangıçta ödenen paradır. Bu değerler belirlendikten sonra geri ödeme

süresi, şimdiki değer, yıllık net kazanç gibi ekonomik analiz yöntemlerinden biri ile yatırımın karlılığına karar verilebilir.

Uygulamanın yapılacağı bölgenin ısı ve elektrik gereksiniminin, bileşik ısı-güç santralının elektrik-ısı oranı ile uyumlu olması göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. Bu uyumu tam olarak sağlamak mümkün değildir. Üretilen elektrik fazla olduğu zaman şebekeye satılabilmesi, elektrik açığı olduğu zaman şebekeden alınabilmesi anlaşmalar çerçevesinde mümkün olabilir. Isı enerjisi açığı yardımcı kazanlarla, ısı enerjisi fazlası ise ısı depolayan akümülatörlerle belirli ölçüler içinde dengelenebilir.

Bileşik ısı-güç santralının kullanılma oranı (yük faktörü) göz önüne alınması gereken bir başka parametredir. Yük faktörü iklim koşullarına bağlıdır. Bileşik ısı-güç santralının kapasitesi belirlenirken yük-süre eğrisinden yararlanılır. Şekil III.17’de bir yük-süre eğrisi gösterilmiştir.



Şekil III.17. Yük-süre Eğrisi [19].

Bir bölge ısıtma sistemi tasarlanırken, bileşik ısı-güç santralının ısı üretim kapasitesi genellikle, ısıtma sisteminin maksimum ısı gereksiniminin % 50’sini karşılayacak biçimde seçilir. Böylece bileşik ısı-güç santralının yılın büyük bir bölümünde tam yüke yakın bir kapasitede çalışması sağlanır. Isı gereksiniminin büyük olduğu kısa bir süre içinse yardımcı kazanlar devreye girer. Şebekeye elektrik satış fiyatı, şebekeden elektrik alış fiyatı, bileşik ısı-güç santralında yakılan yakıtın fiyatı olurluluk hesaplarında göze alınması gereken ekonomik parametrelerdir.

Ayrıca bileşik ısı-güç santrali, yardımcı kazanlar, dağıtım şebekesi, konut bağlantıları için sabit yatırım değerleri, faiz oranı, bakım, onarım ve işletme giderleri de analiz hesapları için gereklidir. Bazı durumlarda üretilen ısı ve elektriğin fiyatlandırması söz konusu olabilir. Fiyatlandırma ürünlerin enerji veya ekserjini göz önüne alarak yapılabilir. Ürünlerin enerjilerini göz önüne alarak yapılacak hesaplama için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir [19].

$$f_e + f_q / EIO = f_y / \eta + C.a / (s.a) \quad (III.5)$$

f_e :Elektriğin Fiyatı (para birimi / kJ)

f_q :Isının Fiyatı (para birimi / kJ)

f_y :Yakıtın Fiyatı (para birimi / kJ)

EIO:Bileşik Isı-Güç Santralinin Elektrik Isı Oranı

η :Bileşik Isı-Güç Santralinin Isıl Verimi

C :Bileşik Isı-Güç Santralinin Yatırım Bedeli (para birimi)

a :Amortisman Faktörü

s :Santralin Yıllık Çalışma Süresi

Verilen bağıntıda elektrik ve ısının fiyatları iki bilinmeyen olarak yer almaktadır. Bu nedenle bir bağıntıya daha gerek duyulur. Ürünler enerji bazında eşit fiyata sahip kabul edilebilir, başka bir deyişle $f_e = f_q$ alınabilir. Bir başka yaklaşım da yatırım masraflarını elektriğe yıkmaktır, bu durumda $f_q = f_y$ alınır.

BÖLÜM IV

IV.1. Kojenerasyon Sisteminin Uygulaması için Ekonomik Analizinin Hesap Tekniği

Ankara’da 850 m Rakımda 22.000 m² kapalı alan olan A sınıfı bir özel hastanenin kojenerasyon santralinin işletme maliyet analizi, aşağıda gösterilmiştir. Özel hastanede yapılan analiz, aylık olmak üzere 2008 yılına ait tüketilen enerji faturalarının (elektrik ve doğalgaz) kWh cinsinde değerleri baz alınmıştır. 2008 yılına ait kış uygulamasında ocak, yaz uygulamasında ise ağustos ayları örnek olarak yapılmıştır. Diğer ayların ise Excell Programından yararlanarak Tablo IV.2 de verilen analiz tablosunda aylık ve yıllık toplam enerji tasarrufu hesaplanmıştır [32].

IV.2. Kojenerasyon Santralinin İşletme Maliyet Analizinde Yararlanılan Eşitlikler

IV.2.1. Kojenerasyon Santrali Kurulmadan Önceki Enerji İhtiyaçları

Elektrik İhtiyacı(kWh/ay) = (10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç*360 + 22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç*360) (IV.1)

Doğalgaz İhtiyacı(m³/ay) = ((10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısı ihtiyacı * 360 + 22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısı ihtiyacı * 360) * 860 / Doğalgaz ısıl değeri (kcal/m³)) * 0,9 (IV.2)

Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/ay) = (10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısı ihtiyacı * 360) + (22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısı ihtiyacı*360) (IV.3)

Elektrik Maliyeti (TL/ay) = Elektrik İhtiyacı* Elektrik Fiyatı (IV.4)

Doğalgaz Maliyeti (TL/ay) = Doğalgaz Tüketimi*Doğalgaz Fiyatı (IV.5)

Toplam Enerji Maliyeti(TL/ay) = Elektrik Maliyeti+ Doğalgaz Maliyeti (IV.6)

IV.2.2. Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Elektrik İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç; elektrik faturasında kW cinsinde okunan değer alınır.

22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç; elektrik faturasında kW cinsinde okunan değer alınır.

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç; santralin elektrik kapasitesi olan 774 kW alınır.

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç; elektrik faturasında, 22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç, kojenerasyon santrali elektrik kapasitesinin altında ise aynı saatler arasında ortalama çekilen güçten 20 kW eksik alınır. Eğer aynı saatlerde ortalama çekilen güç, kojenerasyon santrali elektrik kapasitesinin üstünde ise kojenerasyon santrali elektrik kapasitesi olan 774 kW alınır.

IV.2.3. Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Isıtma İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı; doğalgaz faturasında kW cinsinde okunan değer alınır.

22:00 ile 10:00 saatlerinde ortalama ısıtma ihtiyacı; 10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı * 1,2 (IV.7)

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü; 10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı, santralin termal enerji kapasitesinin üstünde ise santralin termal enerji kapasitesi olan 893 kW alınır. Aynı saatler arasında ortalama ısıtma ihtiyacı, santralin termal enerji kapasitesinin altında ise faturada okunan ortalama ısıtma ihtiyacı alınır.

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü; 22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı, santralin termal enerji kapasitesinin üstünde ise santralin termal enerji kapasitesi olan 893 kW alınır. Aynı saatler arasında ortalama ısıtma ihtiyacı, santralin termal enerji

kapasitesinin altında ise 22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı *1.2 alınır.

IV.2.4. Kojenerasyon Santralinin Üretebileceği Elektrik ve Isı Enerjisi

Kojenerasyon santrali ayda ortalama 700 saat çalışabileceği kabul edilmiştir.

Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik (kWh/ay) = (10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç * 350) + (22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç * 350) (IV.8)

Kojenerasyon Santralinde üretilen elektrik miktarı (kWh/ay) = Kojenerasyon santralinin elektrik kapasitesi * 700 (IV.9)

Üretilen termal enerji miktarı (kWh/ay) = (Kojenerasyon santralinin termal enerji kapasitesi *700) * (Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik / Kojenerasyon santralinde üretilen elektrik miktarı) (IV.10)

Isıtma ile elde edilecek doğalgaz tasarrufu (kWh/ay) = (10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü + 22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü)*350 eşitliği, ısıtma enerjisi ihtiyacından büyük ise hesaplama alınır. Eğer bu eşitlik ısıtma enerjisi ihtiyacından küçük ise,

Isıtma enerjisi ihtiyacı*(700/720) eşitliği hesaplama alınır. (IV.11)

Isıtma ile elde edilecek doğalgaz tasarrufu (TL/ay) = (Isıtma ile elde edilecek doğalgaz tasarrufu * Doğalgaz fiyatı (serbest tüketici için) * 1000) / Doğalgaz ısıtma değeri (IV.12)

IV.2.5. Kojenerasyon Santralinde Elektrik, Isı ve Yük Verimi Yüzdesi

Kojenerasyon Santralinin çalışma yük verimi (%) = (Kojenerasyon Ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik / Kojenerasyon santralinde üretilen elektrik miktarı) * 100 (IV.13)

Elektrik ihtiyacı karşılama yüzdesi (%) = (Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik / Elektrik ihtiyacı) * 100 (IV.14)

$$\text{Isıtma ihtiyacı karşılama yüzdesi (\%)} = (\text{Isıtma ile elde edilecek doğalgaz tasarrufu} / \text{Isıtma enerjisi ihtiyacı}) * 100 \quad (\text{IV.15})$$

$$\text{TEDAŞ'tan alınan elektrik miktarı (kWh/ay)} = \text{Elektrik ihtiyacı-Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik} \quad (\text{IV.16})$$

IV.2.6. Kojenerasyon Santralının Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler

$$\text{Kojenerasyon ünitesi tüketim maliyeti (TL/ay)} = (\text{Yakıt tüketimi} * (860/8700) * 350 * \text{Doğalgaz fiyatı}_{(\text{serbest tüketici})} * (\text{Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik} / \text{Kojenerasyon santralinde üretilen elektrik miktarı})) * 2 \quad (\text{IV.17})$$

$$\text{TEDAŞ elektrik maliyeti (TL/ay)} = \text{TEDAŞ'tan alınan elektrik miktarı} * \text{Elektrik fiyatı} \quad (\text{IV.18})$$

$$\text{Ek doğalgaz maliyeti (TL/ay)} = (((10:00 \text{ ile } 22:00 \text{ saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı} - 22:00 \text{ ile } 10:00 \text{ saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü}) * 350) + ((22:00 \text{ ile } 10:00 \text{ saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı} - 22:00 \text{ ile } 10:00 \text{ saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü}) * 350)) * (860/\text{Doğalgaz ısıtma değeri})) * \text{Doğalgaz fiyatı} + (\text{Doğalgaz maliyeti} * ((720 - 700)/720)) \quad (\text{IV.19})$$

$$\text{Toplam Enerji Maliyeti (TL/ay)} = \text{Kojenerasyon ünitesi tüketim maliyeti} + \text{TEDAŞ elektrik maliyeti} + \text{Ek doğalgaz maliyeti} \quad (\text{IV.20})$$

$$\text{TOPLAM BRÜT TASARRUF (TL/ay)} = \text{Kojenerasyon Santralının kurulumundan önceki Toplam Enerji Maliyeti} - \text{Kojenerasyon Santralının kurulumundan sonraki Toplam Enerji Maliyeti} \quad (\text{IV.21})$$

IV.2.7. Kojenerasyon Santralının İşletme Giderleri

$$\text{Bakım Giderleri (İşçilik +Malzeme)(TL/ay)} = \text{Çalışma saati} * \text{Bakım birim fiyatı} \quad (\text{IV.22})$$

$$\text{Çalışırken Yağ tüketimi (LT/ay)} = 774 * 700 * 0,35 * 1000 * \text{Kojenerasyon ünitesinin üretebileceği maksimum elektrik} / \text{Kojenerasyon Santralinde üretilen elektrik miktarı} \quad (\text{IV.23})$$

$$1500 \text{ saat Yağ değişim miktarı (LT/ay)} = 135 * 700 / 1500 \quad (\text{IV.24})$$

$$\text{Toplam Yağ Tüketimi(LT/ay)} = \text{Çalışırken Yağ tüketimi} + 1500 \text{ saat Yağ değişim miktarı} \quad (\text{IV.25})$$

$$\text{Yağlama Yağı maliyeti (TL/ay)} = \text{Toplam Yağ tüketimi} * 8,75 \quad (\text{IV.26})$$

$$\text{Toplam İşletme Gideri} = \text{Yağlama Yağı maliyeti} + \text{Bakım giderleri} \quad (\text{IV.27})$$

$$\text{TOPLAM NET TASARRUF (TL/ay)} = \text{TOPLAM BRÜT TASARRUF} - \text{TOPLAM İŞLETME GİDERİ} \quad (\text{IV.28})$$

Tablo IV.1. 2008 Yılına ait Fatura Değerleri ve Kojen. Ünitesinin Teknik Bilgileri

Fatura Değerleri		Kojen Ünitesi Teknik Bilgileri	
Doğalgaz Fiyatı (TL/m ³) -Serbest Tüketici	0,515	Elektrik Kapasitesi (kW)	774
Elektrik Fiyatı (TL/kWh)	0,245	Termal Enerji Kapasitesi (kW)	893
Doğalgaz Fiyatı (TL/m ³) - Ticari	0,615	Kullanılan Yakıt	Doğalgaz
Doğalgaz Isıl Değeri (kcal/m ³)	8700	Isı Sarfıyatı (kcal/kWh)	2268
Bakım Birim Fiyatı (TL/çal.saati)	14	Yakıt tüketimi (kW)	1882
		Çalışılan Saat Sayısı (saat/ay)	700

OCAK AYI İÇİN;

Kojenerasyon Santrali Kurulmadan Önceki Enerji İhtiyaçları

Aylık toplam çalışma saati = 30*24=720 saat

Gün içerisinde enerji tüketim saatleri = 10:00 ile 22:00, 22:00 ile 10:00 saatleri arası kabul edilmiştir.

Denklem IV.1'e göre;

$$\text{Elektrik İhtiyacı} = (841*360) + (589*360) = \underline{514.857} \text{ kWh/ay}$$

Denklem IV.2'ye göre;

$$\text{Doğalgaz Tüketimi} = (((954*360) + (1145*360))*860/8700) / 0,9 = \underline{83.008} \text{ m}^3/\text{ay}$$

Denklem IV.3'e göre;

$$\text{Isıtma Enerjisi İhtiyacı} = (954*360) + (1145*360) = \underline{755.762} \text{ kWh/ay}$$

Denklem IV.4'e göre;

$$\text{Elektrik Maliyeti} = 514857*0,245 = \underline{126.140} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.5'e göre;

$$\text{Doğalgaz Maliyeti} = 83008*0,615 = \underline{51.050} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.6'ya göre;

$$\text{Toplam Enerji Maliyeti} = 126140 + 51050 = \underline{177.190} \text{ TL/ay}$$

Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Elektrik İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç = 841 kW (Faturadan)

22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç = 589 kW (Faturadan)

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç = 774 kW (Teknik bilgilerden)

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç = 589 – 20 = 569 kW

Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Isıtma İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı = 954 kW (Faturadan)

Denklem IV.7'ye göre;

*22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı = 954 * 1,20 = 1145 kW*

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü = 893 kW

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü = 893 kW

Kojenerasyon Santralinin Üretebileceği Elektrik ve Isı Enerjisi

Kojenerasyon Ünitesinin ayda 700 saat çalıştığı kabul edilirse, Saat 10:00 ile 22:00 ve 22:00 ile 10:00 arasında enerji üretimi (tüketiminden dolayı) farklı olması nedeniyle aylık çalışan toplam saatin yarısı (350 + 350 = 700) hesaplamalarda kullanılacaktır.

Denklem IV.8'e göre;

*Kojenerasyon Ünitesinin Üretebileceği Maksimum Elektrik = (774*350) + (569*350) = 470.011 kWh/ay*

Denklem IV.9'a göre;

*Kojenerasyon santralinde Üretilebilen Elektrik Miktarı = (774*700)
= 541.800 kWh/ay*

Denklem IV.11'e göre;

$$\text{Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu} = (893*350) + (893*350) \\ = \underline{625.100} \text{ kWh/ay}$$

Denklem IV.12'ye göre;

$$\text{Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu} = 625100*0,515*1000 / 8700 \\ = \underline{37.003} \text{ TL/ay}$$

Kojenerasyon Santralinde Elektrik , Isı ve Yük Verimi Yüzdesi

Denklem IV.13'e göre;

$$\text{Kojenerasyon Santralinin Çalışma Yük Verimi} = (470011 / 541800)*100 = \% 87$$

Denklem IV.14'e göre;

$$\text{Elektrik İhtiyacı Karşılama Yüzdesi} = (470011 / 514857)*100 = \% 91$$

Denklem IV.15'e göre;

$$\text{Isıtma İhtiyacı Karşılama Yüzdesi} = (625100 / 755762)*100 = \% 83$$

Denklem IV.16'ya göre;

$$\text{TEDAŞ'tan Alınan Elektrik Miktarı} = 514857 - 470011 = \underline{44.846} \text{ kWh/ay}$$

Kojenerasyon Santralının Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler

Denklem IV.17'ye göre;

$$\text{Kojenerasyon Ünitesi Tüketim Maliyeti} = ((1882 * 860 / 700) * 350 * 0,515 * \\ (470011/541800))*2 = \underline{58.180} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.18'e göre;

$$\text{TEDAŞ Elektrik Maliyeti} = 44846*0,245 = \underline{10.987} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.19'a göre;

$$\text{Ek Doğalgaz Maliyeti} = (((954 - 893)*350) + ((1145 - 893)*350)) * (860/8700)) * \\ 0,615 + (51050*((720 - 700)/720)) = \underline{8.085} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.20'ye göre;

$$\text{Toplam}_{(koj.)} \text{ Enerji Maliyeti} = 58180 + 10987 + 8085 = \underline{77.252} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.21'e göre;

$$\text{TOPLAM BRÜT TASARRUF} = 177190 - 77252 = \underline{99.938} \text{ TL/ay}$$

Kojenerasyon Santralinin İşletme Giderleri

Denklem IV.22'ye göre;

$$\text{Bakım Giderleri (İşçilik +Malzeme)} = 700*14 = \underline{9.800} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.23'e göre;

$$\text{Çalışırken Yağ Tüketimi} = (774*700*0,35 / 1000)*470011 / 541800 = \underline{165} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.24'e göre;

$$\text{1500 Saat Yağ değişim Miktarı} = 135*700/1500 = \underline{63} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.25'e göre;

$$\text{Toplam Yağ Tüketimi} = 165 + 63 = \underline{228} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.26'ya göre;

$$\text{Yağlama Yağı maliyeti} = 228*8,75 = \underline{1.991} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.27'ye göre;

$$\text{Toplam İşletme Gideri} = 1991 + 9800 = \underline{11.791} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.28'e göre;

$$\text{TOPLAM NET TASARRUF} = 99938 - 11791 = \underline{88.147} \text{ TL/ay} \text{ olmaktadır.}$$

AĞUSTOS AYI İÇİN;

Kojenerasyon Santrali Kurulmadan Önceki Enerji İhtiyaçları

Aylık toplam çalışma saati = $30 \times 24 = 720$ saat

Gün içerisinde enerji tüketim saatleri = 10:00 ile 22:00, 22:00 ile 10:00 saatleri arası kabul edilmiştir.

Denklem IV.1'e göre;

$$\text{Elektrik İhtiyacı} = (1222 \times 360) + (856 \times 360) = \underline{748.000} \text{ kWh/ay}$$

Denklem IV.2'ye göre;

$$\text{Doğalgaz Tüketimi} = (((154 \times 360) + (185 \times 360)) \times 860 / 8700) / 0,9 = \underline{13.388} \text{ m}^3/\text{ay}$$

Denklem IV.3'e göre;

$$\text{Isıtma Enerjisi İhtiyacı} = (154 \times 360) + (185 \times 360) = \underline{121.897} \text{ kWh/ay}$$

Denklem IV.4'e göre;

$$\text{Elektrik Maliyeti} = 748000 \times 0,245 = \underline{183.260} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.5'e göre;

$$\text{Doğalgaz Maliyeti} = 13388 \times 0,615 = \underline{8.234} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.6'ya göre;

$$\text{Toplam Enerji Maliyeti} = 183260 + 8234 = \underline{191.494} \text{ TL/ay}$$

Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Elektrik İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç = 1222 kW (Faturadan)

22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama çekilen güç = 856 kW (Faturadan)

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç = 774 kW (Teknik bilgilerden)

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum güç = 774 kW

Kojenerasyon Santralinden Alınabilecek Isıtma İhtiyacı

10:00 ile 22:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı = 154 kW (Faturadan)

Denklem IV.7'ye göre;

*22:00 ile 10:00 saatleri arasında ortalama ısıtma ihtiyacı = 154*1,20 = 185 kW*

10:00 ile 22:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü = 154 kW

22:00 ile 10:00 saatleri arasında Kojenerasyon Santralinden alınabilecek maksimum ısıtma gücü = 185 kW

Kojenerasyon Santralinin Üretebileceği Elektrik ve Isı Enerjisi

Kojenerasyon Ünitesinin ayda 700 saat çalıştığı kabul edilirse, Saat 10:00 ile 22:00 ve 22:00 ile 10:00 arasında enerji üretimi (tüketiminden dolayı) farklı olması nedeniyle aylık çalışan toplam saatin yarısı (350 +350 = 700) hesaplamalarda kullanılacaktır.

Denklem IV.8'e göre;

*Kojenerasyon Ünitesinin Üretebileceği Max. Elektrik = (774*350) + (774*350)*
= 541.800 kWh/ay

Denklem IV.9'a göre;

*Kojenerasyon Santralinde Üretilen Elektrik Miktarı = (774*700)*
= 541.800 kWh/ay

Denklem IV.11'e göre;

*Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu = (154*350) + (185*350)*
= 118.511 kWh/ay

Denklem IV.12'ye göre;

*Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu = 118511*0,515*1000/8700*
= 7.015 TL/ay

Kojenerasyon Santralinde Elektrik , Isı ve Yük Verimi Yüzdesi

Denklem IV.13'e göre;

$$\text{Kojenerasyon Çalışma Yük Verimi} = (541800 / 541800) * 100 = \% 100$$

Denklem IV.14'e göre;

$$\text{Elektrik İhtiyacı Karşılama Yüzdesi} = (541800 / 748000) * 100 = \% 72$$

Denklem IV.15'e göre;

$$\text{Isıtma İhtiyacı Karşılama Yüzdesi} = (118511 / 121897) * 100 = \% 97$$

Denklem IV.16'ya göre;

$$\text{TEDAŞ'tan Alınan Elektrik Miktarı} = 748000 - 541800 = \underline{206.200} \text{ kWh/ay}$$

Kojenerasyon Santralinin Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler

Denklem IV.17'ye göre;

$$\begin{aligned} \text{Kojenerasyon Ünitesi Tüketim Maliyeti} = & ((1882 * 860 / 8700) * 350 * 0,515 * \\ & (541800 / 541800)) * 2 = \underline{67.066} \text{ TL/ay} \end{aligned}$$

Denklem IV.18'e göre;

$$\text{TEDAŞ Elektrik Maliyeti} = 206200 * 0,245 = \underline{50.519} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.19'a göre;

$$\text{Ek Doğalgaz Maliyeti} = (((154 - 154) * 350) + ((185 - 185) * 350)) * (860 / 8700)$$

$$* 0,615 + (8234 * ((720 - 700) / 720)) = \underline{229} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.20'ye göre;

$$\text{Toplam}_{(koj.)} \text{ Enerji Maliyeti} = 67066 + 50519 + 229 = \underline{117.814} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.21'e göre;

$$\text{TOPLAM BRÜT TASARRUF} = \underline{191494} - \underline{117814} = \underline{73.680} \text{ TL/ay}$$

Kojenerasyon Santralinin İşletme Giderleri

Denklem IV.22'ye göre;

$$\textbf{Bakım Giderleri (İşçilik +Malzeme)} = 700*14 = \underline{9.800} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.23'e göre;

$$\textbf{Çalışırken Yağ Tüketimi} = (774*700*0,35 / 1000)* 541800 / 541800 = \underline{190} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.24'e göre;

$$\textbf{1500 saat Yağ değişim Miktarı} = 135*700/1500 = \underline{63} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.25'e göre;

$$\textbf{Toplam Yağ Tüketimi} = 190 + 63 = \underline{253} \text{ LT/ay}$$

Denklem IV.26'ya göre;

$$\textbf{Yağlama Yağı maliyeti} = 253*8,75 = \underline{2.211} \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.27'ye göre;

$$\textbf{Toplam İşletme Gideri} = 2211 + 9800 = 12.011 \text{ TL/ay}$$

Denklem IV.28'e göre;

$$\textbf{TOPLAM NET TASARRUF} = 73680 - 12011 = \underline{61.669} \text{ TL/ay olmaktadır.}$$

Tablo IV.2. Ankara’da Özel Bir Hastaneye ait Kojenerasyon Sisteminin 2008 yılı Tasarruf Analiz Tablosudur. (770 kW – Doğalgaz Yakıtlı Santral)

Doğalgaz Fiyatı (TL/m3) - Serbest Tüketici	0,515															Elektrik Kapasitesi (kW)	774
Elektrik Fiyatı (TL/kWh)	0,245															Termal Enerji Kapasitesi (kW)	893
Doğalgaz Fiyatı (TL/m3) - Ticari	0,615															Kullanılan Yakıt	Doğalgaz
Doğalgaz Isıl Değeri (kcal/m³)	8700															Isı Sarfıyatı (kcal/kWh)	2268
Bakım Birim Fiyatı (TL/çal.saati)	14															Yakıt tüketimi (kW)	1882
																Çalışılan Saat Sayısı (saat/ay)	700
KOJENERASYON SANTRALİ KURULMADAN ÖNCEKİ ENERJİ İHTİYAÇLAR																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
Elektrik İhtiyacı (kWh/ay)	514.857	505.143	514.857	563.429	602.286	641.143	670.286	748.000	612.000	573.143	544.000	524.571	7.013.714				
Doğalgaz tüketimi (m3 ay)	83.008	81.670	78.992	62.926	56.231	14.727	14.058	13.388	17.405	37.488	49.537	61.587	571.017				
Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/ay)	755.762	743.573	719.193	572.917	511.968	134.087	127.992	121.897	158.466	341.312	451.019	560.727	5.198.913				
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
Elektrik Maliyeti (TL ay)	126.140	123.760	126.140	138.040	147.560	157.080	164.220	183.260	149.940	140.420	133.280	128.520	1.718.360				
Doğalgaz Maliyeti (TL ay)	51.050	50.227	48.580	38.699	34.582	9.057	8.646	8.234	10.704	23.055	30.465	37.876	351.176				
Toplam Enerji Maliyeti (TL ay)	177.190	173.987	174.720	176.739	182.142	166.137	172.866	191.494	160.644	163.475	163.745	166.396	2.069.536				
KOJENERASYON SANTRALİNİNDEN ALINABİLECEK ELEKTRİK İHTİYAÇI																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
10-22 Saatlerinde Ortalama Çekilen Güç (kW)	841	825	841	921	984	1.048	1.095	1.222	1.000	937	889	857	4.125.714				
22-10 Saatlerinde Ortalama Çekilen Güç (kW)	589	578	589	644	689	733	767	856	700	656	622	600	2.888.000				
10-22 Saatlerinde Kojen'den Alınabilecek Max. Güç (kW)	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	3.343.680				
22-10 Saatlerinde Kojen'den Alınabilecek Max. Güç (kW)	569	558	569	624	669	713	747	774	680	636	602	580	2.779.440				
KOJENERASYON SANTRALİNİNDEN ALINABİLECEK ISITMA İHTİYAÇI																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
10-22 Saatlerinde Ortalama Isıtma İhtiyacı (kW)	954	939	908	723	646	169	162	154	200	431	569	708	2.363.142				
22-10 Saatlerinde Ortalama Isıtma İhtiyacı (kW)	1.145	1.127	1.090	868	776	203	194	185	240	517	683	850	2.835.771				
10-22 Saatlerinde Kojen'den Alınabilecek Max. Isıtma Gücü (kW)	893	893	893	723	646	169	162	154	200	431	569	708	2.319.161				
22-10 Saatlerinde Kojen'den Alınabilecek Max. Isıtma Gücü (kW)	893	893	893	868	776	203	194	185	240	517	683	850	2.590.105				
KOJENERASYON ÜNİTESİNİN ÜRETEBİLECEĞİ ELEKTRİK - ISI ENERJİ																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
Kojen Ünitesinin Üretebileceği Max. Elektrik (kWh/ay)	470.011	466.122	470.011	489.456	505.011	520.567	532.233	541.800	508.900	493.344	481.678	473.900	5.953.033				
Kojen'den Üretilen Elektrik Miktarı (kWh/ay)	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	541.800	6.501.600				
Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu (kWh/ay)	625.100	625.100	625.100	557.002	497.747	130.362	124.437	118.511	154.064	331.831	438.491	545.151	4.772.897				
Isıtma İle Elde Edilecek Doğalgaz Tasarrufu (TL/ay)	37.003	37.003	37.003	32.972	29.464	7.717	7.366	7.015	9.120	19.643	25.957	32.270	282.534				
KOJENERASYON SANTRALİNDE ELEKTRİK – ISI VE YÜK VERİMİ YÜZDESİ																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
Kojen Çalışma Yük Verimi (%)	87	86	87	90	93	96	98	100	94	91	89	87	92				
Elektrik İhtiyacı Karşılama Yüzdesi (%)	91	92	91	87	84	81	79	72	83	86	89	90	85				
Isıtma İhtiyacı Karşılama Yüzdesi (%)	83	84	87	97	97	97	97	97	97	97	97	97	92				
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
TEDAŞ'tan Alınan Elektrik Miktarı (kWh/ay)	44.846	39.021	44.846	73.973	97.275	120.576	138.052	206.200	103.100	79.798	62.322	50.671	1.060.681				
KOJENERASYON SANRALİNİN KURULUMUNDAN SONRAKİ GENEL MALİYETLER																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
Kojen Ünitesi Tüketim Maliyeti (TL ay)	58.180	57.699	58.180	60.587	62.512	64.438	65.882	67.066	62.994	61.068	59.624	58.661	736.891				
TEDAŞ Elektrik Maliyeti (TL ay)	10.987	9.560	10.987	18.123	23.832	29.541	33.823	50.519	25.259	19.551	15.269	12.414	259.867				
Ek Doğalgaz Maliyeti (TL ay)	8.085	7.342	5.855	1.075	961	252	240	229	297	640	846	1.052	26.874				
Toplam(kojende) Enerji Maliyeti (TL/ay)	77.252	74.600	75.022	79.785	87.305	94.231	99.945	117.814	88.551	81.259	75.739	72.128	1.023.632				
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
TOPLAM BRÜT TASARRUF (TL/AY)	99.938	99.386	99.698	96.954	94.837	71.907	72.921	73.680	72.093	82.216	88.006	94.268	1.045.903				
KOJENERASYON SANTRALİNİN İŞLETME GİDERİ																	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
BAKIM GİDERLERİ (MALZEME-İŞÇİLİK) (TL/AY)	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	117.600				
ÇALIŞIRKEN YAĞ TÜKETİMİ (LT/AY)	165	163	165	171	177	182	186	190	178	173	169	166	2.084				
1500 SAAT YAĞ DEĞİŞİM MİKTARI (LT/AY)	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	756				
TOPLAM YAĞ TÜKETİMİ (LT/AY)	228	226	228	234	240	245	249	253	241	236	232	229	2.840				
YAĞLAMA YAĞI MALİYETİ (TL/AY)	1.991	1.979	1.991	2.050	2.098	2.145	2.181	2.211	2.110	2.062	2.026	2.003	24.846				
TOPLAM İŞLETME GİDERİ (TL/AY)	11.791	11.779	11.791	11.850	11.898	11.945	11.981	12.011	11.910	11.862	11.826	11.803	142.446				
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM				
TOPLAM NET TASARRUF (TL/AY)	88.147	87.608	87.907	85.104	82.939	59.961	60.939	61.669	60.184	70.354	76.180	82.465	903.457				

BÖLÜM V

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Birincil enerji kaynağı olan doğalgaz ile Türkiye, elektrik üretiminin büyük bir bölümünü çevrim santralleri vasıtasıyla sağlamaktadır. Büyük yerleşim merkezlerinde konutlar başta olmak üzere kamu ve özel sektörün çeşitli alanlarında ısıtma ve buhar ihtiyacının büyük bir kısmı yine doğalgazdan karşılanmaktadır.

Türkiye de konutlar başta olmak üzere kamu ve özel sektörün birincil enerji türü olarak tercih ettiği doğalgaz; ithalata dayalı olması münasebetiyle pahalı bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla ülke ekonomisine büyük maliyete neden olmaktadır. Bu maliyeti minimize edebilmek için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeli veya mümkün mertebede ikincil enerji üreten çevrim santrallerinin tükettiği enerji miktarının azaltılmasına çalışılmalıdır. Bunun sonucunda, tüketimi azaltmak ve tasarruf elde etmek için yakıtın tek çevrimde tüketilmesini ve birden fazla ikincil enerjinin birlikte üretilmesine olanak sağlamaktır. Birden fazla ikincil enerjiyi sağlamaya elverişli olarak ısı ve elektriği birlikte üreten ve birçok alanda uygulanabilen kojenerasyon sistemleri tercih edilmelidir. Kojenerasyon sistemlerinde diğer birincil enerji kaynakları da tüketilmekle birlikte ekseriyetle yakıt olarak doğalgaz tercih edilmektedir.

Bu çalışmada; genel olarak Dünya’da ve Türkiye’de enerji üretim ve tüketimine değinilmiştir. Özellikle Türkiye’de sektörel olarak enerjinin tüketildiği alanlar ve bu tüketilen enerjinin üretiminde tercih edilen birincil enerji kaynakları değerlendirilmiştir.

Dünya’da ve Türkiye’de kojenerasyon sistemlerinin uygulandığı alanlar araştırılmıştır. Bu sistemlerle ilgili yapılan araştırmalar irdelenerek kısmen karşılaştırılmış, ekonomik olurluluğu hakkında tespitler yapılmıştır.

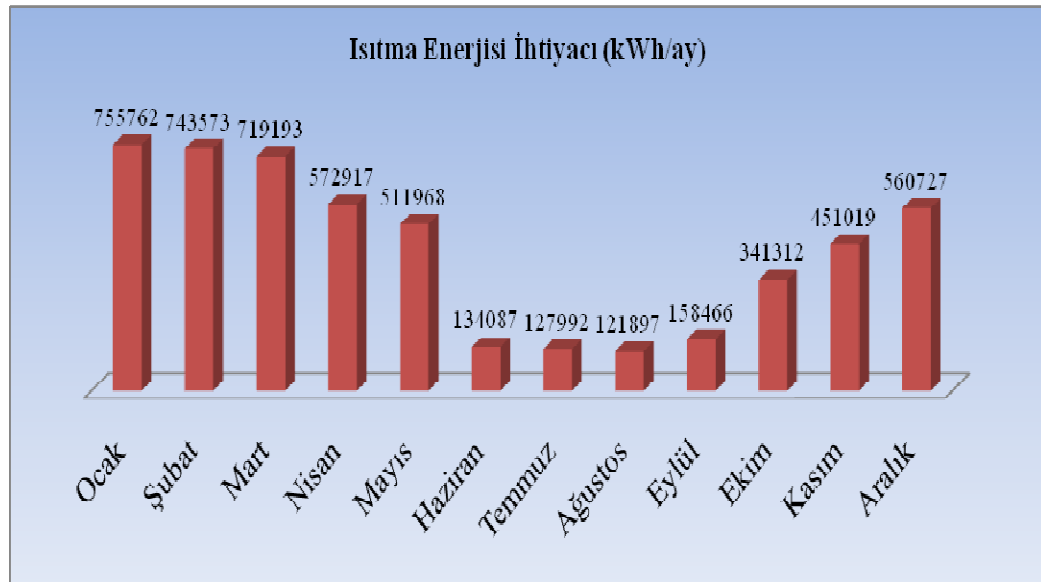
Bu çalışmada yapılan kojenerasyon sistemlerinin ekonomik (maliyet) analizi hesaplamalarında; 850 m rakımlı ve 22.000 m² kapalı alanı olan, Ankara’da özel bir hastaneye ait değerler baz alınmıştır. Aylık olarak maliyet ve kWh tüketimi cinsinden kojenerasyon sistemi kurulmadan önceki ihtiyaç değerleri ile kurulduktan sonraki değerlerin mukayesesi yapılmıştır. Tablo V.1 ve Şekil V.1, Şekil V.2 ile

Şekil V.3'te verilen (kojenerasyon sistemi kurulmadan) enerji ihtiyaçları aylık ve yıllık toplam değerler verilmiştir. Bu durumda işletmenin yıllık toplam elektrik enerjisi ihtiyacı 7.013.714 kWh ve ısıtma enerjisi ihtiyacı ise 5.198.913 kWh olduğu tespit edilmiştir. Bu enerji miktarlarının üretimi; elektrik enerjisi Tedaş'tan, ısıtma enerjisi ise doğalgaz kaynaklı olarak ısı merkezlerinden karşılanmaktadır. Kojenerasyon sistemin kurulması ile üretilen enerji Tablo V.2'de verildiği gibi yıllık olarak 5.953.033 kWh elektrik enerjisi üretebilmekle birlikte 4.772.897 kWh da ısıtma enerji için sarf edilen doğalgazdan tasarruf sağlanmıştır.

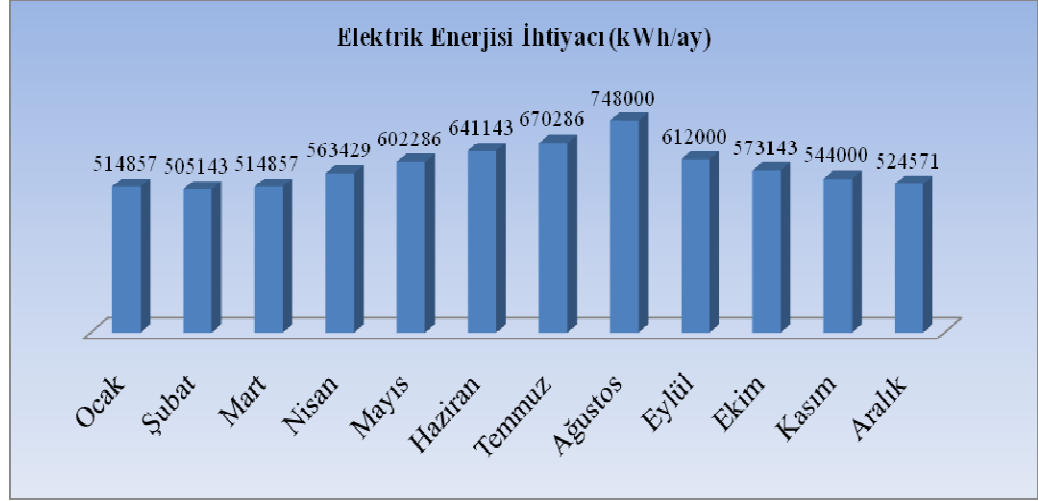
Kojenerasyon sistemi kurulmadan önce belirtilen ihtiyaçlar karşısında, yıllık toplam enerji maliyeti **2.069.536 TL**' dir. Kojenerasyon sisteminin kurulumundan sonra her iki ikincil enerji ihtiyaçları, yıllık karşılanmakla birlikte sadece bu sistemin elde ettiği enerji miktarının maliyeti Tablo V.3 ve Şekil V.4'de gösterildiği gibi **1.023.632 TL**'dir. Bu maliyete sistemin harcadığı yakıt, tadilat nedeniyle çalışmadığı sıralarda TEDAŞ'tan alınan elektrik ve ihtiyaç nedeniyle tüketilen ek doğalgaz dahildir.

Tablo V.1. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Enerji İhtiyaçları.

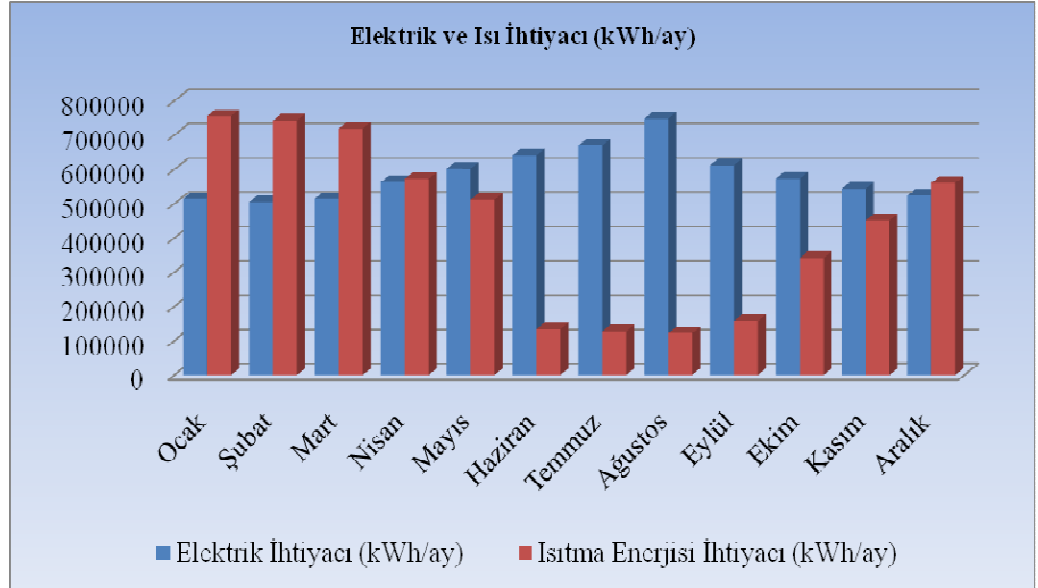
kWh/ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Elektrik İhtiyacı	514857	505143	514857	563429	602286	641143	670286	748000	612000	573143	544000	524571	7013714
Isıtma Enerjisi İhtiyacı	755762	743573	719193	572917	511968	134087	127992	121897	158466	341312	451019	560727	5198913



Şekil V.1. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Isıtma Enerjisi İhtiyacı.



Şekil V.2. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Elektrik Enerjisi İhtiyacı.



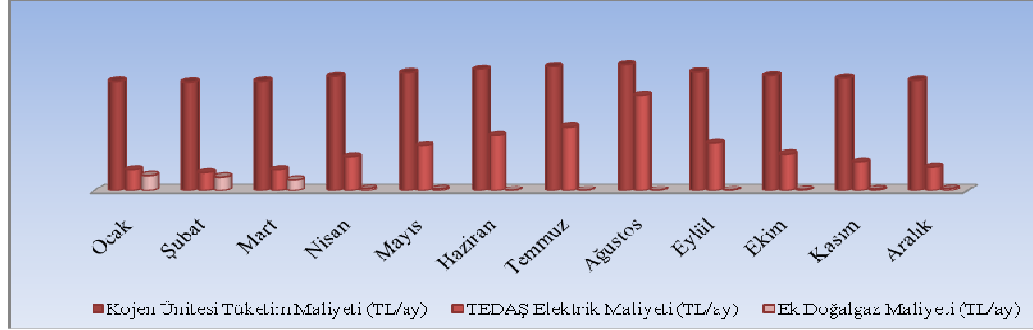
Şekil V.3. Kojenerasyon Sistemi Kurulmadan Elektrik ve Isı Enerjisi İhtiyacı.

Tablo V.2. Kojenerasyon Sistemi Kurulumunda Enerji İhtiyaçları.

kWh/ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Kojen Ünitesinin Üretebileceği Max. Elektrik	470011	466122	470011	489456	505011	520567	532233	541800	508900	493344	481678	473900	5953033
Isıtma ile Elde Edilecek Tasarruf	625100	625100	625100	557002	497747	130362	124437	118511	154064	331831	438491	545151	4772897

Tablo V.3. Kojenerasyon Sisteminin Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler

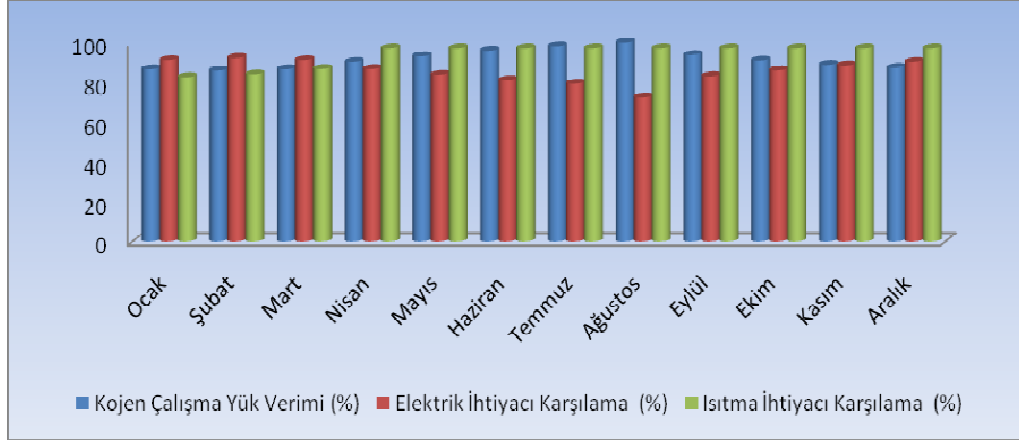
(TL/ay)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Temm.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Kojen Ünitesi Tüketim Maliyeti	58.180	57.699	58.180	60.587	62.512	64.438	65.882	67.066	62.994	61.068	59.624	58.661	736.891
TEDAŞ Elektrik Maliyeti	10.987	9.560	10.987	18.123	23.832	29.541	33.823	50.519	25.259	19.551	15.269	12.414	259.867
Ek Doğalgaz Maliyeti	8.085	7.342	5.855	1.075	961	252	240	229	297	640	846	1.052	26.874
Toplam_{koj.} Enerji Maliyeti	77.252	74.600	75.022	79.785	87.305	94.231	99.945	117.814	88.551	81.259	75.739	72.128	1.023.632

**Şekil V. 4. Kojenerasyon Sisteminin Kurulumundan Sonraki Genel Maliyetler**

Diğer enerji üretim sistemlerinde olduğu gibi kojenerasyon sistemlerinde de bakım ve işletme giderleri olmaktadır. Kojenerasyon sisteminin işletme giderleri Tablo IV.2’de de görüldüğü gibi yıllık olarak **142.446 TL**’dir. Bu sistemlerin enerji verimliliğini karşılamada da karşılaştırmaya ihtiyaç vardır. Elektrik ve ısı enerjisi karşılama yüzdesi Tablo V.4 ve Şekil V.5’de verilmiştir. Bu tabloya göre yıllık olarak kojenerasyon çalışma yük verimi % 92, elektrik enerjisi ihtiyacını karşılama % 85 ve ısıtma ihtiyacını karşılaması ise % 92 dir.

Tablo V.4. Kojenerasyon Sisteminin Elektrik ve Isı Enerjisini Karşılama Verimi.

%	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Kojen Çalışma Yük Verimi	87	86	87	90	93	96	98	100	94	91	89	87	92
Elektrik İhtiyacı Karşılama Yüzdesi	91	92	91	87	84	81	79	72	83	86	89	90	85
Isıtma İhtiyacı Karşılama Yüzdesi	83	84	87	97	97	97	97	97	97	97	97	97	92



Şekil V.5. Kojenerasyon Sisteminin Elektrik ve Isı Enerjisini Karşılama Verimi.

Sonuç olarak kojenerasyon sisteminin kurulmasında; 2008 yılı, elektrik ve doğalgaz tüketiminde (kWh olarak ortalama tüketim maliyetine göre) elde edilen Net Tasarruf **903.457** TL'dir. Yani işletmeci, yılda toplam tükettiği enerjiye verdiği harcama kaleminde net olarak **903.457** TL kazançlı duruma geçmiştir. Üretim ve imalat sektörleri başta olmak üzere birçok uygulaması bulunan kojenerasyonun, ısıtma sistemleri bulunan işletmelerde de kullanılması ve daha da yaygın hale getirilmesi için teşvik edici çalışmalar yapılmalıdır. Kojenerasyon uygulamasıyla hem kendi işletmesine hem de ülkenin enerji politikalarına uygun olarak milli ekonomiye de katkı sağladığı görüşü bu uygulama ile de desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

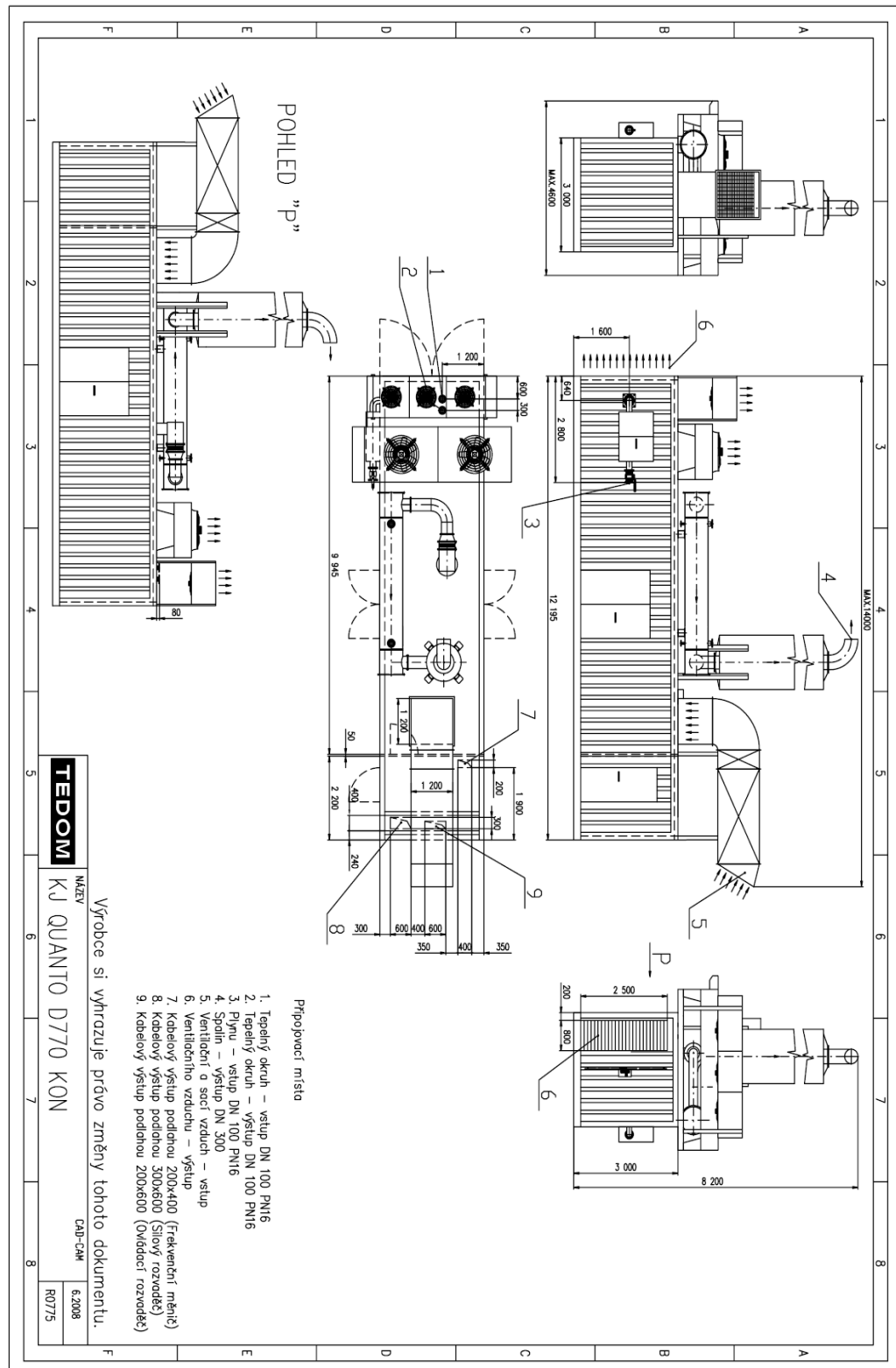
- [1] Toksoy, M.: “Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri Temelleri ve Tasarımı”, *Seminer Kitabı*, MMO Yayın No:E/2003/328-4, İzmir, Türkiye, (2003) 525 -530.
- [2] Çakır, U.: “Aziziye Araştırma Hastanesi Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, (2007).
- [3] Ener, Ö.: “Örnek Bir İşletmede Kojenerasyon Tesisi Uygulaması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye, (2006).
- [4] Arat, B.: “Organize Sanayii Bölgelerinde Kojenerasyon Santralinin Yer Optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2006).
- [5] Dişçigil, M.: “Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, Türkiye, (2007).
- [6] Çalışıcı, M.Ü.: “Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, Türkiye, (2005).
- [7] Akdeniz, N.: “Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, (2007).
- [8] Yenice, O.T.: “Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğalgaz Yakıtlı Otoprodüktör Kojenerasyon Santralleri Üzerinde Bir Araştırma”, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007).
- [9] Kavak, K.: “Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, *Uzmanlık Tezi*, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, DPT-Yayın No:2689 Ankara, Türkiye, (2005).
- [10] İster, İ.: “Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2006).

- [11] İmal, M.; Onat, A.: “Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Kojenerasyon Sistemlerinin Kısmi Yüke Göre Verimliliğinin Karşılaştırılması”, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 6(2) (2003) 60-71.
- [12] Kıncay, O.; Yumurtacı, Z.: “Bir Üniversite Kampüsü İçin Uygun Enerji Sisteminin Seçimi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi say: 95 (2006) 5-12.
- [13] Işık, E., İnallı, M.: “Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler”, Mühendis ve Makine – Cilt: 46, Say:550, 23-25.
- [14] Erdem, H.H.; Sevilgen, S.H.; Çetin, B.; Akkaya, A.V.: “Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi”, Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma 2004/1 (2004)128-138.
- [15] Tsai, W.T., Hsien, K.J.: “An Analysis of Cogeneration System Utilized as Sustainable energy in the industrial sector in Taiwan”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 2104–2120.
- [16] Chicco, G., Mancarella, P.: “Assessment of the Greenhouse Gas Emissions from Cogeneration and Trigeneration Systems. Part I: Models and Indicators”, Energy 33 (2008) 410–417.
- [17] Kwak, H-Y., Sung, J., Oh, S-D., Oh, H-S., Seo H.: “Economic Optimization of a Cogeneration System for Apartment Houses in Korea”, Energy and Buildings 40 (2008) 961–967.
- [18] Monteiro, E., Moreira, N. A., Ferreira, S.: “Planning of Micro-Combined Heat and Power Systems in the Portuguese Scenario”, Applied Energy (2008).
- [19] Derbentli, T.: “ Bölge Isıtması ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluluğu” , Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No:210 İstanbul, Türkiye, Ekim, (1998) 61 – 69.
- [20] Koçak, T., Gülşen, O.: “ Kojenerasyon Nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi” , Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No:210 İstanbul, Türkiye, Ekim, (1998) 35 – 38.
- [21] Anonim, 2007. “ Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2005-2006 Türkiye Enerji Raporu”, DEK-TMK YAYIN NO: 0004/2007, Ankara, Türkiye, Aralık, (2007).
- [22] Anonim, 2005. “Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu”, Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, (2005) 18-69, <http://www.ressiad.org.tr> (10.01.2009).

- [23] Güngör, R.: “ Türkiye’de Kojenerasyon Potansiyeli, Uygulamaları ve Yasal Durum”, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, EİE Toplantı Salonu, Ankara, Türkiye, (2007).
- [24] Bell, J.: “Proje I. Çalıştay Bölgesel Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi Türkiye İçin WADE Modelinin Uygulanması”, Yenilenebilir Enerji, Enerji Verimliliği ve Enerji Güvenliği Açısından Bölgesel (Dağıtık) Enerji, World Alliance for Decentralized Energy (WADE), Ankara, Türkiye, (2008).
- [25] Yüksel, F.: “Kojenerasyon ve Yöremize uygulaması”, Kojenerasyon Sisteminin Faydaları, http://www.emo.org.tr/ekler/3782ef3356e45ba_ek.pdf (20.02.2009).
- [26] Anonim, 2008. “Türkiye Kojenerasyon Derneği, Kojenerasyon Nedir?”, <http://www.kojenerasyon.com> (18.07.2008).
- [27] Anonim, 2008, “Türkiyede Kojenerasyon”, www.icci.com.tr/index.asp?go=topics&topic=cogeneration&cogeneration=c04 (18.07.2008).
- [28] Anonim, 2009 “Gaz Türbini Nedir?” www.enerjiplatformu.org/index.php?Itemid=53&id=693&option=com_content&task=view (21.02.2009).
- [29] Üstüntepe, L.: “Gaz Türbinleri Emisyonları ve Kontrolü”, http://www.uted.org/dergi/2003/haziran/haziran_11.htm (23.02.2009).
- [30] Anonim, 2009 “Kojenerasyon Nedir?”, www.dersimizkimya.com (18.02.2009)
- [31] Anonim, 2009, www.topkapigroup.com.tr/kojenereasyon-refs.htm (15.03.2009)
- [32] Kas, Ö.; Kişisel Görüşme, (Arke Enerji Sistemleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.), (2009)

EKLER:

Ek. 1. Örnek Bir (770 kW Doğalgaz yakıtlı) Kojenerasyon Santralinin Planı [32].



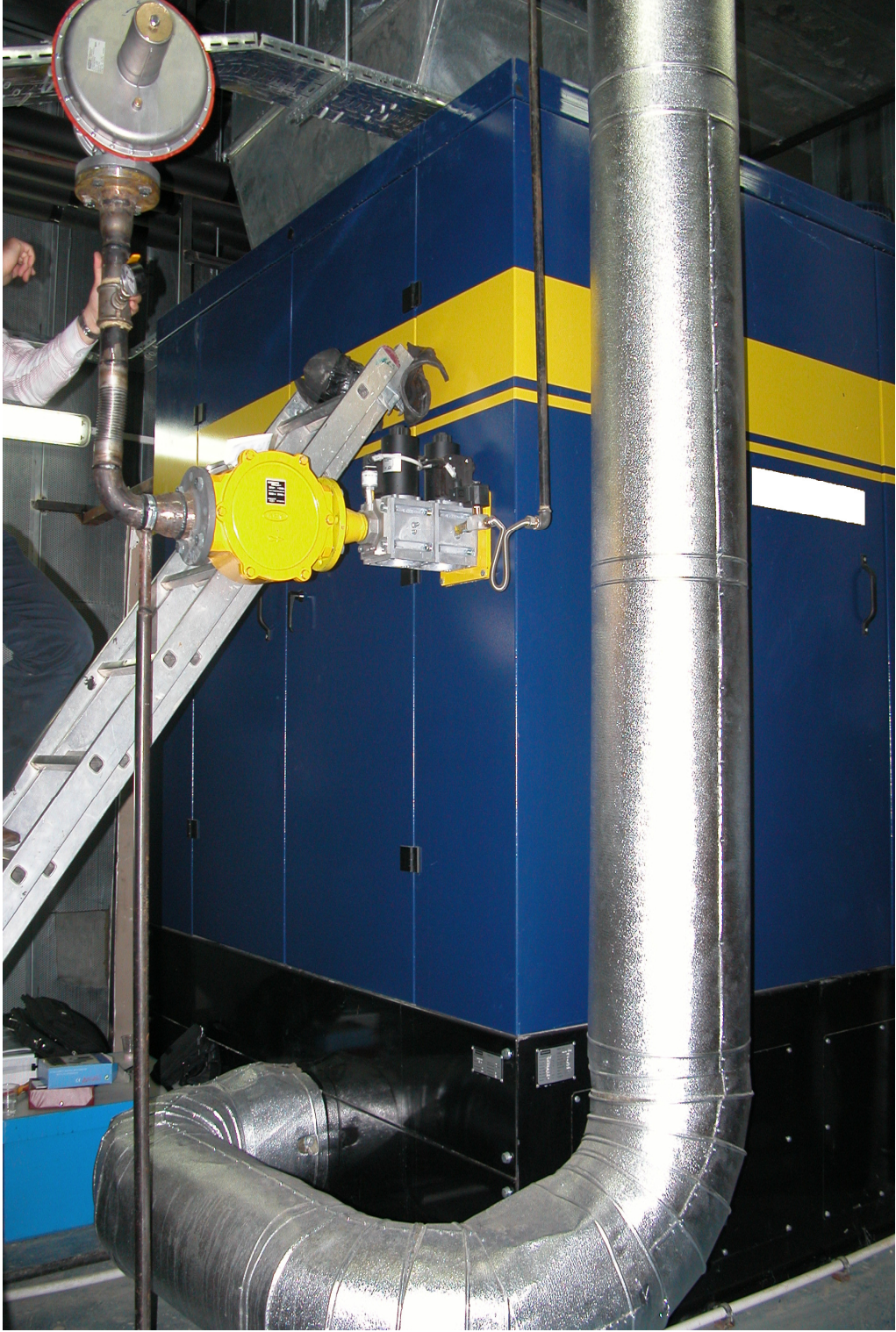
Ek.2. Kojenerasyon Santralinin Görünüü [32].



Ek.3. Kojenerasyon Santralinin Bağlantı Görünüőü [32].



Ek.4. Kojenerasyon Santralinden Bir Görünüş [32].



Ek.5. Kojenerasyon Santralinden Bir Görünüş [32].



Ek.6. Tekboy Kojenerasyon Santralı Lüleburgaz, Türkiye (1 x JMS 616 GS-N.L) [31].



TEKNİKÖZELLİKLER

Motor Tipi	JMC 616 GS-N.L
Elektrik Üretimi	1 x 2,188 kW
Termik Üretimi	1 x 2,190 kW
Sıcak su 80/20°C	1,110 kW
Buhar	1,080 kW
Elektrik Çevrim verimi	% 42,6
Isı Çevrim verimi	% 42,7
Toplam Çevrim verimi	% 85,3
Çap / Strok	190 mm / 220 mm
Emisyonlar	TA-Luft'a göre % 5 O ₂ bazlı
NO _x	<500 mg / Nm ³
Devreye Alındığı Yıl	2004

Tekboy Tekstil A.Ş., 1981 yılında kurulmuş olup, 3 ton/gün kapasiteli iplik boyama üretimiyle faaliyete başlamıştır. Bu tesis, ilerleyen yıllarda 15 ton/gün kapasiteye ulaşmıştır. 1999 yılında, Lüleburgaz'da, 100,000m² 'lik arazi üzerinde 12,000m² kapalı alanda yeni bir fabrika inşa edilmiş ve aynı yıl üretime geçilmiştir. 2002 yılında da yapılan kapasite artırımıyla, kumaş baskı üretimi 30,000 mt/gün'e yükselmiştir. Lüleburgaz fabrikası, 10 ton/gün kapasiteli iplik boyahanesi ve 25 ton/gün kapasiteli örme kumaş boyahanesi ile tekstil sektörüne hizmet vermektedir. 2004 yılında alınan kararla Lüleburgaz fabrikasında, 10,000m² kapalı alanlı ilave bir inşaat daha yapılmaktadır. 2003 yılında enerji maliyetlerini aşağı çekmek amacıyla gerçekleştirilen 2,2 MW gücündeki kojenerasyon yatırımıyla, Lüleburgaz fabrikasının ihtiyacı olan elektrik enerjisinin tamamı ve İstanbul fabrikasının elektrik ihtiyacının %80'i karşılanmaktadır. Dünyada mevcut 2 MW sınıfındaki en eski ve yüksek devirli fakir karışım yanmalı gaz motoru olan GE-Jenbacher 616 tipi gaz motoru ve bunun egzozundan buhar üreten bir atık ısı kazan sistemiyle Topkapı Endüstri AŞ. tarafından anahtar teslimi olarak inşaa edilmiş olan santral Ocak 2004'te devreye alınarak enerji üretmeye başlamıştır. Santral Otoprodüktör Statüsünde şebeke ile paralel çalışmak üzere 34,5 kV Şalt Sistemi ile teçhiz edilmiş olup Lüleburgaz Fabrikadaki ihtiyaç fazlası enerji tam yükte çalışılmak suretiyle şebekeye ihraç edilmekte, İstanbul Yenibosna fabrikada kullanılan enerji ile Enerji Bakanlığı ile varılmış mutabakat çerçevesinde mahsup edilmektedir.

Ek.7. Adana Atık Su Arıtma Kojenerasyon / Adana (1 x JGS 316 GS-B.L ,1 x JGS 316 GS-B.L) [31].



TEKNİK ÖZELLİKLER

Motor Tipi	JMS 316 GS-B.L
Elektrik Üretimi	2 x 803 kW
Isı Üretimi (90/60°C sıcak su)	2 x 996 kW
Elektrik Çevrim verimi	% 38,8
Isı Çevrim verimi	% 48,2
Toplam Çevrim verimi	% 87,0
Çap / Strok	135 mm / 170 mm
Emisyonlar TA-Luft'a göre % 5 O ₂ bazlı	
Nox	< 500 mg / Nm ³
Eksoz Gazı Sıcaklık seviyesi	523 °C
Devreye Alındığı Yıl	2004 - 2007

1996/1997Yıllarında GKW/DAR/Tekeli grubu tarafından hazırlanan Adana Atık su Arıtma Tesisi çalışmasına istinaden ihale edilen Tesis, VA-Tech/ Ener/ Yüksel İnşaat Konsorsiyumu tarafından 2001-2003 (Bati) ve 2005-2007 (Doğu) yılları arasında inşa edilmiştir. Mekanik ön-arıtma, çökeltme ve çok yüklü aktif çamur biyolojik arıtma aşamalarından oluşan tesiste çamur stabilizasyo (anaerobik mezofilik çürütme) ve çamur su giderme proses üniteleri de bulunmaktadır. Sistemin bu yapısı çürütme esnasında ortaya çıkan biyogazın toplanmasına imkân vermektedir. Büyük silindirik gaz tanklarında toplanan biyogaz, sülfürden arıtılarak gaz motorlarında kullanılır efsafa getirilmektedir. Biyogaz kojenerasyon ünitesi tesiste 2004 itibarıyla üretilen tüm biyogazı kullanarak ve sürekli şebeke ile paralel çalışarak enerji üretmektedir. Sistemin atık ısısı tümüyle sıcak su üretmekte kullanılmakta, bu sıcak su çürütme ünitelerinde prosesi ve gaz çıkısını hızlandırmak için değerlendirilmektedir. Sistemden çıkan biyogazla üretilen tüm elektrik ve ısı, arıtma tesisinin kendi ihtiyacı için tamamen tüketilmekte, bu suretle kojenerasyon tesisi en verimli şekilde kullanılabilir.

Ek.8. Hayat Kimya ve Mensucat Sanayi A.S. Bouinan / Cezayir (JMC 320 GS-N.L)
[31].



TEKNİK ÖZELLİKLER

Motor Tipi	JMC 320 GS-N.L
Elektrik Üretimi	1003 kW
Termik Üretimi	Buhar 800 kg/saat (595 kW)
	Sıcak su 542 kW
Elektrik Çevrim verimi	% 38,7
Isi Çevrim verimi	% 43,8
Toplam Çevrim verimi	% 82,5
Çap / Strok	135 mm / 170 mm
Emisyonlar	TA-Luft'a göre % 5 O ₂ bazlı
Nox	500 mg / Nm ³
CO	950 mg / Nm ³
Sıcaklık seviyesi	85 / 70 °C
Devreye Alındığı Yıl	1997

Hayat Kimya Deterjan Fabrikası 1987 yılında kurulmuş olup, 500 eleman çalıştırmaktadır. Yıllık üretim kapasitesi 80.000 ton seviyesinde, pazardaki payı ise % 10 dolayında bulunmaktadır. 1997 yılında kurulan kojenerasyon tesisinin fabrika ile entegrasyonu çok yönlü bir optimizasyon ve ekonomi felsefesine dayanarak tasarlanmıştır. Böylece tesis hemen hemen her an tam yükte çalışmak suretiyle fabrikanın tüm elektrik ihtiyacını ve ısı talebinin büyük bir kimsini karşılamaktadır. Tesisin kalbi doğalgazla ve yüksek çevrim verimiyle, fakir karışım yanma prensibine göre çalışan 20 silindirli bir gaz motorudur. Tesisin ısı talebini de mümkün olan en yüksek verimle karşılayabilmek amacıyla, egzoz gazlarından buhar üreten bir atık ısı kazan sistemi de tesis edilmiştir. Motor soğutma devrelerinden elde edilen sıcak su iki ayrı devre ile hem buhar kazanı besli suyunu ısıtmakta kullanılmakta, hem de proses için gerekli olan sıcak hava üretimine emiş havasını ön ısıtmaya tabii tutmak suretiyle katkıda bulunmaktadır. Üretilen elektrik enerjisi tamamen iç tüketimde kullanılmakta, bu amaçla sistem fabrika elektrik yükünü takip ederek şebeke ile paralel olarak çalışmaktadır. Şebekede oluşan kesinti ve düzensizliklerde sistem izole çalışma moduna geçerek fabrikanın kesintisiz ve temiz enerji ile çalışmasına hizmet vererek 40.000 çalışma saatini İstanbul'da tamamlamıştır. Hayat Holding Cezayir'e yapacağı yeni bir yatırımı bu gaz motoru ile planlamış ve tüm tesis sökülerek 2005 yılında Cezayir'de tekrar kurularak devreye alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Muş ili Malazgirt İlçesinde doğdu. İlk ve Orta Öğrenimini Malazgirt Cumhuriyet ilköğretim okulunda, Lise Öğrenimini ise Malazgirt Feyzi AKKAYA Endüstri Meslek Lisesi Tesisat Teknolojisi Bölümünde tamamladı. Lisans öğrenimini Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında 2005 yılında tamamladı. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2002 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünde memuriyete başladı. 2003-2009 yıllarında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde memur olarak hizmet verdi. Halen Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde Öğretmen olarak hizmet vermektedir.