

95073

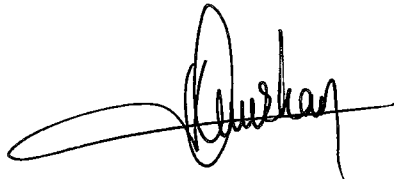
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK TESİSLERİNDE KOJENERASYON
(COGENERATION) UYGULAMALARI**

Elek. Müh. Deniz EREN


F.B.E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ



Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nurettin UMURKAN

Doç. Dr. Serapettin ÖZBEY



Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAK



İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
1 GİRİŞ	1
2 TÜRKİYE'NİN ENERJİ PROFİLİ.....	2
2.1 Türkiye'de Kojenerasyon Sistemlerinin Gelişimi.....	3
2.2 Elektrik Piyasası Liberalizasyonu.....	4
2.3 Türkiye'de Kojenerasyonun Yaygınlaştırılması İçin Yapılması Gerekenler	5
3 KOJENERASYON SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ.....	8
3.1 Kojenerasyon Nedir?.....	8
3.2 Kojenerasyon Sisteminin Yararları.....	11
4 KOJENERASYON (BİRLEŞİK ISI ve GÜÇ ÜRETİMİ) TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ	12
4.1 Kojenerasyon Teknolojileri.....	12
4.2 İçten Yanmalı Motorlar.....	12
4.2.1 Gaz motoru.....	12
4.2.1.1 Gaz motorları ile kojenerasyon.....	13
4.2.1.2 İşletme.....	16
4.2.2 Dizel motoru.....	16
4.2.3 Gaz motoru ve dizel motoru için ısı geri kazanımı ve çevre etkileri.....	17
4.2.4 Motor kojenerasyon sistemlerinde kullanılacak yakıtlar	19
4.2.5 Ticari olarak bulunabilen yakıt seçeneklerinin özellikleri ve bugünkü fiyat seviyeleri	20
4.3 Gaz Türbinleri.....	21
4.3.1 Gaz türbinleri ile kojenerasyon.....	26
4.3.1.1 Atık ısı kazanı ile gaz türbini.....	26
4.3.1.2 Birleşik çevrim.....	28
4.3.1.3 Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri.....	29
4.3.1.4 Egzoz gazlarının doğrudan kullanıldığı gaz türbini.....	30
4.3.2 Gaz türbinli sistemlerin ısı geri kazanımı ve çevresel etkileri	33
4.4 Buhar Türbinleri	33
4.4.1 Buhar türbinleri ile kojenerasyon	34
4.4.1.1 Karşı basınç türbini	35
4.4.1.2 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini	35
4.4.2 Buhar türbinli sistemlerin ısı geri kazanımı ve çevresel etkileri	38
4.5 Birleşik Çevrim.....	38
4.5.1 Karşı basınçlı bir türbin ile birleşik çevrim.....	39
4.5.2 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini ile birleşik çevrim	40

4.6	Gaz Türbini-Motor Karşılaştırması.....	41
4.6.1	Kapasite.....	41
4.6.2	Verim.....	42
4.6.3	İlk yatırımın geri ödenmesi	42
4.6.4	Elektrik-ısı üretim miktarları	42
4.6.5	Yatırım ve işletme maliyetleri	43
4.7	Kojenerasyon Teknolojilerinin Genel Değerlendirilmesi	44
4.7.1	Uygulama alanları.....	44
4.7.2	Performans.....	46
4.8	İşlemede Kullanılan Net Isı Miktarı ve Elektrige Dönüşen Yakıt Miktarı.....	47
5	KOJENERASYON SİSTEMLERİNDE SİSTEM ve KAPASİTE SEÇİMİ	50
5.1	Güç Kapasitesinin Belirlenmesi	50
5.2	Elektrik/Isı Oranı	52
5.3	Sıcaklık Seviyesinin Belirlenmesi	53
5.4	Ek Yatırım Tutarları.....	55
5.5	Sistemin Güvenilirliği ve Sürekliliği	55
6	ÜLKEMİZDE ve DÜNYADA KOJENERASYON	56
6.1	Ülkemizden Kojenerasyon Örnekleri.....	56
6.2	Dünya'dan Kojenerasyon Örnekleri.....	66
7	FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI	68
8	AMORTİZASYON HESABI	72
9	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	74
	KAYNAKLAR.....	78
	EKLER.....	79
	Ek 1 Gaz türbini	80
	Ek 2 Çeşitli kojenerasyon projelerinin fotoğrafları ve özellikleri	81
	ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Elektrik santrali, merkez santral ve kojenerasyon santrali verim karşılaştırması	9
Şekil 3.2 Elektrik ve ısı enerjisinin ayrı ayrı üretilmesi durumunda verim dağılımı.....	10
Şekil 3.3 Elektrik ve ısının birlikte üretilmesi durumunda verim dağılımı.....	10
Şekil 4.1 Gaz motoru bazlı kojenerasyon sistemi.....	14
Şekil 4.2 Dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı	17
Şekil 4.3 1000 kW'lık bir motorun ısı dengesi	18
Şekil 4.4 Gaz türbininin parçaları	22
Şekil 4.5 Gaz türbini (tek şaftlı).....	25
Şekil 4.6 İki şaftlı gaz türbini	26
Şekil 4.7 Gaz türbini ve atık ısı kazanı.....	27
Şekil 4.8 Sistemden daha fazla buhar elde etmek için yapılan ilave yanma	28
Şekil 4.9 Birleşik çevrim	29
Şekil 4.10 Buhar enjeksiyonlu gaz türbini	30
Şekil 4.11 Egzoz gazlarının doğrudan kullanıldığı gaz türbini	31
Şekil 4.12 Karşı basınç türbini bazlı kojenerasyon sistemi	34
Şekil 4.13 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini bazlı kojenerasyon sistemi.....	35
Şekil 4.14 Karşı basınçlı bir türbinin üretim olasılıkları.....	36
Şekil 4.15 Ekstraksiyon/yoğuşma türbinin üretim olasılıkları kümesi	37
Şekil 4.16 Karşı basınç buhar türbiniyle birleşik çevrim.....	39
Şekil 4.17 Ekstraksiyon/yoğuşma türbiniyle birleşik çevrim.....	40
Şekil 4.18 İşlemde kullanılan net ısı (İKNI)	47
Şekil 4.19 Elektrığe dönüşen yakıt (EDY).....	48
Şekil 5.1 Kapasite belirleme.....	51
Şekil 7.1 Zantingh 1033 modülü için örnek giriş çıkış değerleri.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Türkiye'nin kurulu gücü (1999 yılı itibariyle).....	4
Çizelge 2.2 (2000-2020) yılları arasındaki piyasa beklentileri	4
Çizelge 4.1 Gaz yakıtlarının özellikleri.....	20
Çizelge 4.2 Kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıtların fiyat karşılaştırması.....	21
Çizelge 4.3 Kojenerasyon tesislerinin verimi.....	42
Çizelge 4.4 Kojenerasyon tesislerinin ilk yatırım maliyetleri.....	43
Çizelge 4.5 Kojenerasyon teknolojilerinin güç aralıkları.....	44
Çizelge 4.6 Isı kalitesi	45
Çizelge 4.7 Isı/Güç oranı	45
Çizelge 4.8 Kojenerasyon sistemi verimleri.....	46
Çizelge 4.9 Ana makine ömrü	46
Çizelge 4.10 Kısmi yük davranışı ve minimum yük.....	47
Çizelge 5.1 Endüstriyel proseslerde kullanılan sıcaklık ve buhar basıncı değerleri.....	54
Çizelge 6.1 Türkiye'de kojenereasyon tesisleri-Ocak 2000 itibariyle	61
Çizelge 7.1 Zantingh 1033 modülünün teknik özellikleri.....	68

ÖNSÖZ

Ülkemizin elektrik enerjisi sıkıntısı, uzun vadede yapımı kararlaştırılabilecek büyük santrallerle giderilebilecektir. Ancak son 5-6 sene içerisinde gerçekleştirilemeyen santral yatırımlarından oluşan enerji darboğazı, özel sektör tarafından, dağıtım şebekesine bağlı kojenerasyon tesisleri kurularak giderilmesi planlanmaktadır.

Bu hazırlamış olduğum tezde kojenerasyon sisteminin genel olarak bir tanımı, faydaları, kojenerasyon ile elektrik ve ısı üretiminin nasıl yapıldığı, sistemin çalışma prensibi, işletme şekilleri, verimin daha fazla nasıl arttırılabileceği gibi konulara değinilmiş olup, ayrıca şekil ve resimlerle konu daha anlaşılır bir hale getirilmiştir.

Bu tezi hazırlamamdaki, öneri, yardım ve teşviklerinden dolayı değerli hocam Doç. Dr. Nurettin Umurkan'a teşekkür ederim.



ÖZET

Kojenerasyon (Birleşik Isı-Güç Üretimi) elektrik ile ısının eş zamanlı olarak birlikte üretilmesidir. Büyük merkezi elektrik santrallerinde klasik yöntemle elektrik üretiminin normal olarak enerji verimi %30-40 civarındadır. Daha gelişmiş olan kombine güç santrallerinde bu oran elektrik iletim ve dağıtım kayıpları hariç olmak üzere %50 civarlarına çıkabilir, fakat Avrupa'daki elektrik santrallerinde ortalama ısı verim %40'ların altında kalmaktadır. Klasik elektrik santrallerinde büyük miktarlardaki ısı zayi olmaktadır. Bir kojenerasyon tesisinin verimi ise %90 veya üzerindeki bir değere ulaşabilmektedir. Kojenerasyon konvansiyonel elektrik santrallerine göre %15-40 arasında daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Kojenerasyon tesislerinde yakıt olarak genellikle doğal gaz, biogaz, çöplük gazı, kok gazı, LPG vb. kullanılmaktadır. NO_x ve CO₂ emisyonları da konvansiyonel sistemlere göre daha düşük seviyelerdedir.

Kojenerasyon yatırımı geri ödeme süresi 2-3 yıldan daha azdır. Bu sebeplerden dolayı kojenerasyon tesislerinin sayısı önümüzdeki yıllarda artacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, birleşik, ısı, elektrik, verim.

ABSTRACT

Cogeneration (also called Combined Heat and Power or CHP for short) is the generation of electricity concurrent with the recovery of heat otherwise wasted in the generation (industrial) process. Conventional generation of electricity in large central power stations is normally only 30-40% energy efficient. More recent combined cycle generation can improve this to 50%, excluding losses for the transmission and distribution of electricity, but the average thermal efficiency of Europe's power stations remains below 40%. Conventional electricity-only stations release large amounts of energy as waste heat. The efficiency of cogeneration plant can reach 90% or more. Cogeneration offers energy savings of between 15-40% as compared with the supply of electricity and heat from conventional power stations.

Cogeneration fueled by natural gas, but also biogases, sewage gas, coke gas, LPG, etc. NO_x and CO₂ emissions are lower than those from conventional energy supply source.

Cogeneration investment payback period is less than 2-3 years. For this reasons, that the numbers of cogeneration plants will increase in the next years is certain.

Keywords: Cogeneration, combined, heat, electricity, efficiency.



1.GİRİŞ

Enerji toplumların sosyal ve ekonomik refahı için gerekli olan endüstriyel kalkınmanın anahtarıdır. Ancak son yıllarda tüm dünyada gerçekleşen enerji kullanımını incelendiğinde, gelecekte ortaya çıkacak talebin karşılanmasında önemli birtakım sıkıntılar olduğu ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin enerji üretimi bakımından kendi kendine yeten bir ülke olmadığı herkes tarafından bilinmektedir. Bu durum yalnız ülkemizin değil, başka ülkelerin de başlıca sorunları arasındadır. Mevcut verilere baktığımızda, enerji üretimimizin doyma noktasında olmasına karşılık, enerji tüketimimizin yılda %6 oranında artması gibi bir durumla karşı karşıyayız. Bu durum her şeyden önce tasarruf etme gereğini bize anlatmaktadır. Çünkü mevcut verilerin devamı durumunda 2010 yılında enerji üretiminde %75 oranında dışarıya bağımlı olacağımızı bugünden görebiliyoruz. Buna karşılık, kullanılacak ham enerji kaynakları ise sürekli azalmakta olup, dünyamızın sahip olduğu ham enerji maddelerinin (kömür, petrol, doğal gaz vb.) miktarı hakkında değişik bilgiler bulunsa da enerji ihtiyacının artış hızına göre, bu kaynakların günün birinde tükeneceği bir gerçektir. Tükemeyen enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin (su kuvveti) tümünden gerçekçi bir şekilde faydalanılması halinde bile, buradan elde edilecek enerji, dünyamızın bugünkü ve yarınki ihtiyacını karşılamaktan çok uzaktır. Yenilebilen diğer enerji kaynakları olan güneş ve rüzgar enerjisinden ise etkin ve gerçekçi olarak elektrik enerjisi üretmek, günümüz şartlarında, büyük boyutlarda olanaksızdır. Ayrıca bu kaynaklardan elde edilecek enerjinin, doğa koşullarına bağlı olarak zamanla değişmesi, güvenilirliğini azaltmaktadır. Zamanla oluşacak elektrik enerjisi yetersizliğinin ülke ve dünya ekonomisinde doğuracağı zararlar düşünüldüğünde, bunun önemli bir sorun olduğu ortaya çıkmaktadır. Dünyamızın, günümüz ve gelecekteki enerji sorununun çözümü olarak görülen nükleer enerji ise, yakın geçmişte yaşanan nükleer santral kazaları ve buna tepki olarak artan çevreci hareketler nedeni ile belirsizliğini sürdürmektedir.

Dünyamızın, enerji ihtiyacını karşılama konusunda yukarıda belirtildiği gibi önemli sorunları olduğuna ve günümüz teknolojisi ile bu sorunu kökten çözecek bir enerji üretim biçimi bulunmadığına göre, birincil (ham) enerji kaynaklarının yüksek bir verimle işe dönüştürülmesi, insanoğlunun en önemli amacı olmak durumundadır. Bu amaç, mühendisleri yüksek verimli enerji dönüştürme çevrimleri geliştirmeye yöneltmiştir. Yüksek verimlerinden dolayı, elektriksel veya mekaniksel gücün ve bunun yanında yararlanılabilir ısının, eş zamanlı olarak, termik yanmalı motor ve türbinler aracılığı ile üretilmesi olarak tanımlayabileceğimiz Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri (B.I.G.Ü.S) yada kısaca kojenerasyon bu amaca cevap vermektedir.

2.TÜRKİYE’NİN ENERJİ PROFİLİ

Enerji sosyo-ekonomik kalkınmamızın lokomotifidir. Enerji, halkımızın günlük yaşamının, sanayicinin, ekonomik ve sosyal kalkınmamızın en önemli girdisidir. Ulusal kalkınmanın sağlanması ve hayat standartlarının yükselmesi için gerekli olan enerji talebinin zamanında, temiz ekonomik ve kaliteli bir şekilde karşılanması, enerji politikamızın temel ilkelerinden biri olmalıdır.

Ülkemizde sanayinin temel girdisi olan enerjinin daha ucuza mal edilebilmesi, Türk endüstrisinin dünya pazarlarında daha kolay rekabet edebilmesini sağlayacaktır. Oysa günümüz Türkiye’inde, dağıtım şebekesi kayıplarının ortalama %10 seviyelerinde olması ve dağıtım sistemindeki alt yapı sorunlarından dolayı gerilim dalgalanmaları ve enerji sıkıntıları yaşanmaktadır.

Ülkelerin kişi başına düşen toplam enerji ve elektrik enerjisi miktarları, kalkınmışlığın ve uygarlığın ölçüsü olarak algılanmaktadır. Enerji Dünyasına baktığımızda, kişi başına düşen toplam enerji ortalamasının yılda 1,45 Tep (ton eşdeğer petrol), OECD ortalamasının 4,56 Tep, Avrupa Birliği’nin 3,69 Tep, Türkiye ortalamasının ise 1,28 Tep olduğunu görüyoruz. Yani Türkiye sosyo-ekonomik gelişmişlik ölçeğinde dünya ortalamasının altında, OECD ülkeleri ortalamasının dörtte birindedir.

Elektrik tüketimi açısından durum iç açıcı değildir. Dünya genelinde, kişi başına yıllık ortalama elektrik tüketimi 2376 kwh iken, Türkiye’de, 1998 yılı itibariyle, 1750 kwh’tır. Aynı rakamın Yunanistan’da 3750 kwh, İspanya’da 4000 kwh, Avrupa Birliği’nde (ortalama) 6000 kwh olduğu görülmektedir (Ağış, 1999).

Ülke yöneticileri tarafından, yapılması planlanan ve hızla yatırım programlarına alınan projelerin çok kısa bir sürede işletmeye alınamayacağı ve de bu yatırımların, hızla özelleştirme planları yapan ülkemizde, şebeke enerji satış fiyatları üzerine yansımalarıyla hızla artacağı dikkate alındığında, kojenerasyon sistemleri ile enerji üretmenin çok karlı ve yararlı olacağı kolaylıkla görülebilmekte dolayısıyla sanayi ve tüketim birimlerinde bu sistemlere yönelmeyi zorunlu kılmaktadır.

Otoprodüktörlük, özel enerji yatırım modellerinden biridir. 3096 sayılı yasaya dayanılarak 1985 yılında çıkartılan Otoprodüktörlük yönetmeliği, fabrika sahiplerine, kendi ihtiyacı olan elektriği ve ısı enerjisini üretme hakkı vermiş ve bu yasal alt yapı üzerine bugüne kadar, toplam gücü 1945 MW olan 74 kojenerasyon tesisi kurulmuştur. Bu özel enerji tesisleri, ortalama ünite gücü 5-10 MW’lık küçük ünitelerden oluşmaktadır; ancak çok sayıda

kurulduğu ve daha 50 kadarının kurulmakta olduğu dikkate alınır, ülkemizin elektrik ihtiyacının %11.2 gibi önemli bir kısmını sağladığını ve giderek büyüdüğünü gözlemliyoruz. Ayrıca, Otoprodüktör fabrikalarının ihtiyaç fazlası elektriğini TEDAŞ'a satma imkanının verilmesi, bu üniteleri sistemin bir volanı, yani döner yedeği konumuna getirmektedir. Kojenerasyon tesisleri küçük ünitelerden oluştuğu ve elektrik satış garantisi olmadığı için, yabancı sermaye yönünden fazla cazip bir enerji yatırım modeli olmamıştır.

Daha çok yerli yatırımcılar, organize sanayi bölgeleri, toplu konut projeleri ve fabrika sahipleri için fizibl bir model olma hüviyetini korumaktadır. Önümüzdeki yıllarda, kurulmuş ve kurulmakta olan Otoprodüktör tesislerinin, ulusal enterkonnekte sistemimizin stepnesi olma fonksiyonunu sürdüreceğini ve özellikle puant saatlerinde sistemi kurtaran tesisler olacağı düşünülebilir. Otoprodüktör model, Y.İ. (Yap-İşlet) ve Y.İ.D. (Yap İşlet Devret) gibi diğer yatırım modellerinin gelişmesine ve büyümesine engel olmamaktadır.

2.1 Kojenerasyon Sistemlerinin Gelişimi

Ülkemiz enerji sektöründe önemi hızla artan kojenerasyon sistemleri Türkiye'de otoprodüktör uygulamaları olarak son 6-7 yıldır gelişmektedir.

Kojenerasyon tesislerinin ülkemizde sayıca gelişimine kabaca bir göz atmak istersek:

1994 yılına kadar otoprodüktör olarak toplam kapasitesi 30 MW olan sadece 4 kojenerasyon tesisi işletimdedi. Şimdi ise (Nisan 2000 itibarıyla) 74 kojenerasyon tesisi (özel sektörde) işletimdedir. 1999 yılı içersinde kojenerasyon tesisi sayısı 54'den 74'e çıktı. Sayısal artış %37, kurulu güç artışı %34 (1450 MW'tan 1945 MW) olarak gerçekleşti. Bu başarı hükümetin kararlı politikası sayesinde elde edilmiştir. Hükümetin yaptığı yeni düzenlemeler, güvenilir, etkin düşük maliyete sahip bir elektrik sektörünün ve rekabetin geliştirilmesi amacını gütmektedir. 2020 yılında yaklaşık 550000 GWh olması beklenen elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi için kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaşmasının gerekmekte olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Enerji üretiminde rahatlamak için Türkiye'de toplam enerji üretimi içinde bugün için %10 mertebelerinde olan kojenerasyon payının, önümüzdeki yıllarda %20-30 seviyelerine yükseltilmesi gerekmektedir (Mendilcioğlu vd., 1999).

1999 yılı itibarıyla Türkiye'deki toplam kurulu elektrik kapasiteleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde bugün için mevcut olan kojenerasyon tesislerinin Türkiye'deki toplam elektrik üretimi içindeki payının %10.4 olduğu görülmektedir. Fakat bu oranın ilerki yıllarda daha da arttırılması şarttır.

Çizelge 2.1 Türkiye'nin kurulu gücü (1999 yılı itibariyle)

Elektrik kurulu gücü	25000 MW
Yıllık üretim (1998'in sonu itibariyle)	112000 GWh
Kojenerasyon sistemlerinin kurulu güçkapasitesi (özel sektör)	1557 MW
Kojenerasyon sistemlerinin kurulu güçkapasitesi (kamu)	1020 MW
Kojenerasyon bazlı toplam elektrik üretimi	11700kWh
Kojenerasyon tesislerinin toplam üretimdeki payı	10.4 %

Buna göre 2000-2020 yılları arasındaki piyasa beklentileri de Çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 (2000-2020) yılları arasındaki piyasa beklentileri

Yıl	Kojenerasyon Kapasitesi (MW)	Toplam güç kapasitesi (MW)	Kojenerasyonun toplam elektrik üretimi içindeki payı (%)
1998	2250	25000	9
1999	2725	27000	10
2000	3240	29700	11
2005	7543	42200	18
2010	13447	62500	21
2020	29552	113000	26

2.2 Elektrik Piyasası Liberalizasyonu

Bilindiği gibi, ülkemizin 80'li yıllardan itibaren göstermiş olduğu dinamik kalkınmanın temelinde, uygulanan liberal politikalar önemli bir yer tutmuştur. Enerji sektöründe de, 1984 yılından itibaren sürdürülen özelleştirme çalışmaları, otoprodüktörlük gibi yatırım modellerinin hayata geçirilmesine imkan sağlamıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB), özel sektörün, elektrik yatırımlarına daha yoğun bir biçimde katılımlarını sağlamak için ne kadar büyük bir çalışma başlatıldığı görülmektedir. Bu bağlamda, ETKB'nin, elektrik sektörünün zaman içerisinde daha şeffaf ve rekabetçi bir yapıya kavuşturulabilmesini teminen

yeni düzenlemeleri içeren bir “Elektrik Piyasası Yasası” hazırlığı içinde olduğu anlaşılmaktadır (Ağış, 1999).

Esasen enerji projeleri yatırım ortamının, önümüzdeki yıllarda, devletin sağladığı yakıt temini ve elektrik satın alma garantileri olmadan da yabancı sermayeyi cezbedeceği yolunda işaretler vardır. Yukarıda değinilen Otoprodüktörlük modeli bunun güzel bir örneğidir. Daha bugünden özel yatırımcılar, devletten elektrik alma garantisi istemeden oldukça büyük elektrik santralleri kurmak için ETKB’ye başvurmaktadır. Bu yatırımların başarılı işletilmesi yenilerinin kurulmasını teşvik edecek ve serbest elektrik piyasasının oluşmasını zorlayacaktır.

Enerjide kaliteli ve ucuz enerji, gerçek anlamda işleyecek liberalizasyonla mümkün olacaktır. Enerjide (doğal gaz ve elektrik) tam liberalizasyon için, Enerji Düzenleme Kurulu (Energy Agency) kurulması ve enerji piyasası yasasının çıkartılması şarttır. Enerji Düzenleme Kurulunun koyacağı kurallara göre, enerji piyasasının TEAŞ, TEDAŞ, BOTAŞ ve Otoprodüktörler gibi eski aktörleri ile, bu piyasaya yeni giren özel enerji oyuncuları ürettikleri enerjiyi, elektrik piyasasında (ya da borsasında) pazarlayacaklardır. Sanayimizin büyük tüketicileri, ülkemizde bütün bölgelere kadar uzanacak özel gaz ve elektrik iletim ve dağıtım hatları üzerinden, günlük, haftalık, aylık ya da yıllık elektrik ve gaz ihtiyaçlarını, istedikleri satıcıdan satın alabileceklerdir. İşte bugün özel enerji planlamaları yapılırken, ya da enerji tesislerinin özelleştirilmesi programlanırken, yukarıda tanımlanan tam liberalizasyon hedefine her gün biraz daha yaklaşacak yasal düzenlemeler titiz bir şekilde uygulamaya konulmalıdır.

2.3 Türkiye’de Kojenerasyonun Yaygınlaştırılması İçin Yapılması Gerekenler

Türkiye’de 1984’ten itibaren esmeye başlayan piyasa ekonomisi rüzgarları, özel sektöre elektrik üretim tesislerinin kurulması ve işletilmesi kapılarını da açmış, bu çerçevede ETKB tarafından çıkartılan 04/09/1985 tarihli Otoprodüktörlük kararnameyle, fabrika sahiplerine, kendi elektrik ihtiyacını karşılayacak otoprodüktör gruplarını kurma yetkisi verilmiştir. Gerek bu yönetmelik, gerekse 1985’ten sonra uygulamaya konulan teşviklerin, kojenerasyon uygulamaları için oldukça olumlu bir yasal altyapı oluşturduğunu ifade edebiliriz. Gerek bu yasal alt yapı ve gerekse enerji dünyamızda son yıllarda yaşanan gelişmeler, Türkiye’de kojenerasyon uygulamalarını oldukça cazip hale getirmiştir. Kojenerasyon uygulamalarını teşvik eden nedenleri özetlersek;

- Özel enerji uygulamalarına imkan veren yasal altyapının giderek sağlamlaştırılması,
- 1994’ten itibaren artan elektrik sıkıntıları karşısında fabrika sahiplerinin enerji kaynağını güvence altına almak istemeleri,

- Doğal gazın Türkiye'ye gelişi (1987) ve giderek yaygınlaşması,
- ETKB, DPT ve Hazine gibi Devlet kuruluşlarının Kojenerasyon yatırımlarına getirdiği, yatırım indirimi ve vergi muafiyeti gibi teşvikler,
- TEDAŞ ya da görevli şirketin fazla elektriği satın alması,
- Türk özel sektörünün dinamiği ve genel ekonomi içindeki payının giderek büyümesi,
- Son yıllarda elektrik enerjisi talebinin yılda ortalama %10 gibi çok yüksek seviyelere ulaşması,
- Organize sanayi bölgeleri ve toplu konut projeleri gibi kojenerasyona çok müsait ortamların süratle gelişmesi,

Kojenerasyon uygulamalarını teşvik eden bu faktörlere karşın henüz çözülmemiş sorunlarda bulunmaktadır. Bu sorunları şöyle sıralayabiliriz:

- a) Gerek kombine çevrimli doğal gaz santralleri gerekse kojenerasyon tesisleri, 1987 yılında Rus doğal gazının Türkiye'ye gelmesinden sonra yapılmışlardır. Yani Türkiye'de kojenerasyon doğal gaz sayesinde var olmuştur. Ancak, o yıllarda mevcut olan doğal gaz bolluğu, doğal gazın fiyat, pratiklik ve çevre dostu özelliklerinin yarattığı dayanılmaz cazibesi ile süratle yaygınlaşmış ve 1995 yılından itibaren BOTAŞ yeni sanayi abonelerine 2000 yılından önce gaz veremeyeceğini bildirmiştir. Yani Türkiye'de doğal gaz talebinin karşılanamaması kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaştırılmasına en büyük engeldir.
- b) Doğal gazın, Türkiye'nin çok sınırlı bir kesimine ulaşması ve yakın bir gelecekte de bu tablonun değişmeyeceği kanaatinin giderek yerleşmekte olması, otoprodüktörleri LPG, nafta ve fuel oil kullanmaya zorlamaktadır. Bu alternatif yakıtları kullanan otoprodüktör oranı %20 ye yükselmiştir. Ancak fuel oil dışındaki bütün yakıtların fiyatı doğal gazdan pahalı olduğu için, doğal gaz bulan ve bulamayan otoprodüktörler arasında haksız rekabetin devam ettiği anlaşılmıştır. Bunu düzeltmenin çaresinin, BOTAŞ tekelinin kaldırılması olduğu hususunda görüş birliği sağlanmıştır. ETKB yetkililerinin, elektrik ve gaz piyasaları ve Enerji Düzenleme Kurulu yasaları üzerinde çalışmakta olduğu yolundaki izahları, doğal gaz sistemleri ve ticaretinde özel sektöre imkan tanınacağı kanaatini vermiştir.
- c) Yakıt fiyatlarının tahammül edilemez artışına karşın, elektrik satış fiyatının dolar bazında sabit kalmasıdır. Kojenerasyon teknolojisinin avantajını ortadan kaldıran bu sorunun çözülmesi şarttır.

- d) Otoprodüktörlük yönetmeliğine göre, fazla elektrik üretimi TEDAŞ ya da görevli şirket tarafından alınacaktır. Fakat fazla elektrik üretimimin satın alınmasında isteksizlik ve bürokrasi gözlemlenmektedir. Otoprodüktörler, esasen çok düşük elektrik satış fiyatının caydırıcılığına ek olarak karşılıklarına çıkan bu isteksizlik ve bürokrasi yüzünden üretim kapasitelerini zorlamamaktadırlar.
- e) Kojenerasyon teknolojisinde optimum kararlılığa ısı/elektrik oranının 3/2 olmasıyla ulaşılmaktadır. Bu nedenle Avrupa'da ısı amaçlı kojenerasyon teknolojilerinin daha erken uygulamaya konulmuş ve daha çok yaygınlaşmıştır. Özellikle kışların uzun ve iklimin sert olduğu kuzey Avrupa'da kojenerasyon esaslı şehir ısıtma projelerinin giderek önem kazandığı görülmektedir. Türkiye'de ise bazı istisnalar dışında toplu konut ısıtma esaslı kojenerasyon projesi yoktur. Avrupa'ya nazaran Türkiye'de görülen bu farklılık, 1985'ten beri kojenerasyonun ülkemizde sadece Otoprodüktörlük olarak algılanmasından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar 1997 yılında ETKB'nın çıkarttığı yönetmelikte, 5000 konuttan fazla sayıda toplu konut birimlerine kojenerasyon sistemi onayı için kapı aralanmışsa da, bu konuda yapılması gereken daha pek çok çalışma olduğu görülmektedir. 5000 konut sınıflandırılmasının kaldırılarak 500 konuta kadar olan toplu konut projelerinde kojenerasyon yatırımcılarına, Otoprodüktörlere tanınan tüm teşviklerin tanınması gereklidir. Ayrıca benzeri teşviklerin organize sanayi bölgelerine, hastanelere, turistik tesislere, üniversite kampüslerine alışveriş merkezlerine verilmesinin de ekonomiye çok büyük enerji tasarrufu sağlayacağı muhakkaktır. Bütün bu tesislerde, kojenerasyon sisteminde üretilen ısının kışın ısıtmada yazın da absorpsiyonlu soğutucular vasıtasıyla soğutmada kullanılacak, böylece toplu yerleşim ve iş birimlerinde, sosyal yaşamın giderek yükselecek hayat standartı ve onun getireceği daha konforlu yaşam gereksinimi karşılanmış olacaktır.
- f) Üzerinde durulması gereken son durum kojenerasyon uygulamalarının disiplindir. Ekonomimiz yararına çok hızlı bir şekilde genişlemekte ve gelişmekte olduğunu mutlulukla izlediğimiz kojenerasyon uygulamalarının yozlaşmasını önleyecek önlemlerin zamanında alınması gereklidir. Türkiye'de Amerika'dan Çin'e kadar çeşitli ülkelerde üretilen gaz türbinleri, gaz motorları ve kazanları girmektedir. Bu kaynak ve teknoloji farklarının uygulamada getireceği sorunlara ülkemiz ne standartlar bakımından ne de yasal alt yapı bakımından hazır değildir.

3.KOJENERASYON SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

3.1 Kojenerasyon Nedir?

Kojenerasyon, sözcük anlamı olarak, tek bir sistemden aynı anda birleşik ısı ve güç üretimi demektir. Bu tek sistem, işletmenin hem elektrik hem de ısı ihtiyacını karşılayabilmektedir. Sistemin ürettiği ısı enerjisiyle doymuş buhar, endüstri prosesinde veya klima tesislerinde kullanılabilen soğuk hava ve sıcak su elde edilebilir.

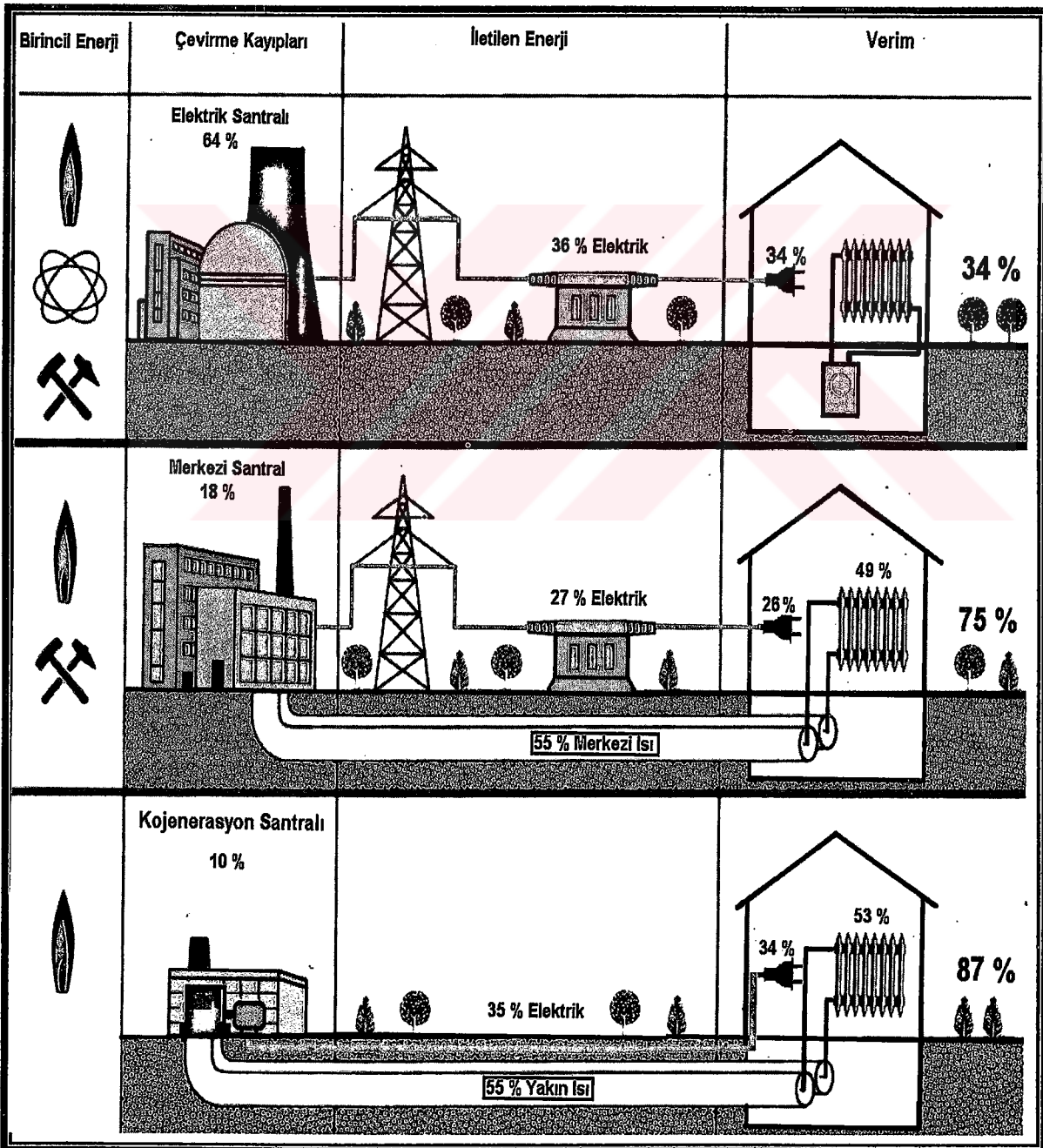
Sıvı veya gaz yakıtlarla çalışan jeneratörler, yaktıkları yakıtın ortalama %35'ini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Geriye kalan %65 enerji motor ve egzoz ısısı olarak zayıf olmaktadır. Elektrik santrallerinde ise bu kayıp %70'lere varmaktadır. İşte jeneratörlerde zayıf olan %65 enerjinin %85'ini de geri kazanarak faydalı hale getiren sistemlere Birleşik Isı ve Güç Santralleri (BIGS) ya da kısaca kojenerasyon denilmektedir (Avcı, 1997).

Kojenerasyon sistemleriyle elektrik üretim maliyetleri, jeneratörlere veya santrallara kıyasla ortalama %50 daha ucuza gelmektedir. Bu nedenle kojenerasyon sistemleri kendilerini 2-3 yılda amorti edebilmektedir.

Günümüzde, birçok endüstri tesisinde hem elektrik enerjisine, hem de ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlara kağıt, tekstil, kimya, gıda, çimento, seramik, petrokimya sanayiinde üretim yapan tesisler örnek gösterilebilir. Böyle bir tesis, elektrik enerjisini kendisi üretiliyorsa, bunu, elektrik şebekesinden satın almakta, genellikle ihtiyaç duyduğu buhar şeklindeki ısı enerjisini ise bir buhar kazanından, kömür, fuel-oil, doğal gaz gibi bir birincil enerji maddesi yakarak karşılamaktadır. Elektrik enerjisinin satın alındığı şebekede ise üretim, büyük oranda termik santraller ile gerçekleştirilmekte olup, bu santrallerin verimleri ise %35 civarında gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle, 35 birimlik ısı değeri olan elektrik enerjisi üretmek için 100 birimlik değerde bir ısı enerji harcanmaktadır. Bu düşük verim, birincil yakıtlardan elde edilen ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için bugün dünyanın her yerinde kullanılan teknolojinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Dünyamızda mevcut olan birincil kaynakların en yüksek verimle işe dönüştürülmesi gerekirken günümüzde termik santraller dolayısıyla verim düşük seviyelerde kalmaktadır.

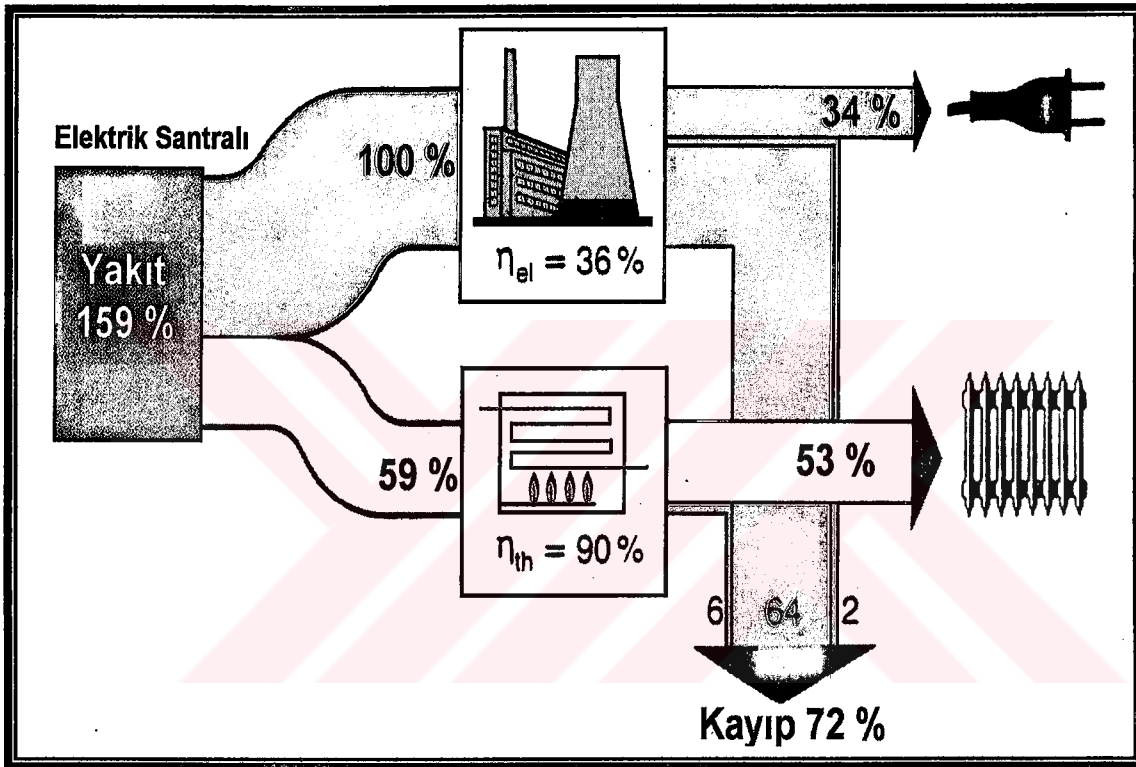
Buhar santrallerinde, kazanda elde edilen buhar ile çalışan bir buhar türbini, bir senkron jeneratörü çevirmekte ve elektrik enerjisi elde etmektedir. Buhar türbinlerine verilen yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar, türbini düşük basınç ve sıcaklıkta terk ederken, girişte sahip olduğu enerjinin yarısından fazlasını hala üzerinde taşımaktadır. Elektrik üretmek için yetersiz kalitede olan bu çıkış buharı (örneğin 30 °C sıcaklık ve 0,037 atmosfer vakumda)

kondenserde yoğuşturulup tekrar buhar kazanına su olarak yollanmaktadır. Kondenserde dolaşan soğutma suyuna enerjisini veren türbin çıkış buharı, su haline dönüşerek tekrar kazana geri dönmektedir. Bu kıymetli, fakat düşük kaliteli enerji, soğutma suyu ile çevrimden atılmaktadır. Böylece, buhar kazanında yakılan yakıtın enerjisinin hemen hemen yarısı yok olmakta ve kazan ile generatör kayıplarıyla beraber toplam verim %35 mertebesinde gerçekleşmektedir. Bugün için verimi yükseltici düzenlemelerle modern santrallarda, ancak %45 civarında bir verime ulaşılabilmektedir. Kojenerasyon santrallerinde ise bu oran %90 civarındadır. Elektrik santrali, Merkez santral ve Kojenerasyon santrali verim karşılaştırması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

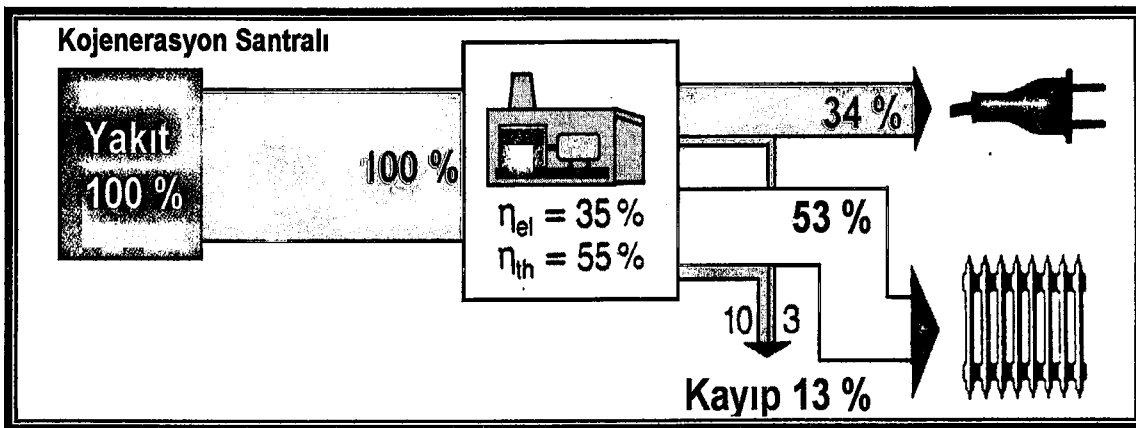


Şekil 3.1 Elektrik santrali, merkez santral ve kojenerasyon santrali verim karşılaştırması

İhtiyaç duyduğu elektrik enerjisini ve buharı temin etmek hususunda iki seçeneği olan bir endüstriyel tesisin, elektrik enerjisini %36 verimle elektrik üreten bir şebeke santralından ve buharı da %90 verimle çalışan bir buhar kazanından, ya da elektrik ve ısı enerjisini eş zamanlı olarak, %34 elektrik, %53 ısıl verime sahip bir B.I.G.Ü. sisteminden sağladığını varsayalım. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de, ikinci seçeneğin birincisine olan üstünlüğünü göstermek için, her iki seçeneğe ait verim dağılımları ve primer enerji kullanımları verilmiştir (Avcı, 1998).



Şekil 3.2 Elektrik ve ısı enerjisinin ayrı ayrı üretilmesi durumunda verim dağılımı



Şekil 3.3 Elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesi durumunda verim dağılımı

$$\text{Kojenerasyon sistemiyle yakıt tasarrufu} = \left(1 - \frac{100}{159}\right) \times 100 = 37\% \text{ Yakıt}$$

Görüldüğü gibi, ikinci seçeneğin tercih edilmesi, giriş enerjisinde % 37'lik bir ekonomiklik elde edilmekte, daha az enerji kullanımı nedeniyle çevresel atıkların oluşumu da azaltılmakta ve böylece çevrenin daha korunması sağlanmış olmaktadır (Kaypmaz, 1997).

3.2 Kojenerasyon Sisteminin Yararları

Makro düzeyde:

1. Yüksek birincil enerji kullanım verimliliğinin sağladığı yerel veya ithal enerji kaynaklarının tasarrufu.
2. Enerji çevriminin tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi.
3. Merkezi santrallara göre daha kısa inşaat ve devreye alma sürelerinin sağladığı hızlı elektrik enerjisi arz satışı.
4. Üretilen yararlı ısı güç birimi başına çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarının, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olması.
5. Sanayi tarafından tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağılmış bir şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilmesinin ulusal güvenliğe sağlayacağı katkı.

İşletme bazında:

1. İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyetini azaltacak ve şirketin rekabet gücü artacaktır.
2. İşletmenin enerji temin güvencesi olacak, üretim kesintilerinin yol açtığı zararlar ortadan kalkacaktır (www.kojenerasyon.com/kojensayfa.htm, 2000).

4. KOJENERASYON (BİRLEŞİK ISI VE GÜÇ ÜRETİMİ) TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

4.1 Kojenerasyon Teknolojileri

Kojenerasyon terimi çok çeşitli teknoloji ve uygulamaları kapsamaktadır. Burada sadece, şu anda piyasada ticari olarak bulunan kojenerasyon teknolojileri irdelenmiştir, yani:

1. İçten yanmalı motorlar
 - a) Gaz motoru
 - b) Dizel motoru
2. Gaz türbinleri
3. Buhar türbinleri
 - a) Karşı basınçlı türbin
 - b) Ekstraksiyon /yoğuşma türbini
4. Birleşik (kombine) çevrimler

4.2 İçten Yanmalı Motorlar

Kojenerasyon sistemlerinde genellikle iki tür içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Gaz motoru ve dizel motoru.

4.2.1 Gaz motoru

Gaz motoru termodinamik açıdan otto çevrimine dayanır. Yakıt ve yakma havası karbüratörde karıştırılıp sıkıştırılır. En yüksek karıştırma oranı 12,5'tur. Daha yüksek basınçlarda vuruntu olabilir. Sıkıştırılan karışım bir bujide oluşturulan kıvılcımla ateşlenir ve motor mekanik güç üretir. Bu günlerde, pek çok gaz motoru daha fazla mekanik güç üretebilmek için süper şarj edilmektedir. Turbo şarjlı motorlarda yakıt/hava karışımı silindire birkaç barlık bir basınçta gelir. Süper şarjlı olmayan doğal emmeli (aspirasyonlu) motorlarda karışım silindire atmosferik basıncın çok az üzerinde bir basınçta getirilir. Turbo sıkıştırma sonucu oluşan sıcaklık artışını dengelemek için, karışım silindire girmeden önce bir ısı değiştiricisinde (ara soğutucuda) soğutulur. Doğal aspirasyonlu motorlarla karşılaştırıldığında, süper şarjlı motorların, daha yüksek shaft verimi ve kW kurulu kapasite başına daha düşük yatırım maliyeti gibi iki önemli üstünlüğü vardır.

Gaz motorunun kojenerasyon (birleşik ısı güç santralleri) amaçlı kullanımında sisteme verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir. Bunlar gaz motorunun yağlama devresi, yanma sonucu oluşan egzoz gazları ve radyatör (soğutma suyu devresi) sıcaklığıdır. Gaz motorundan sağlanan sıcaklık bu üç kısımdan elde edilir.

Birden fazla motor kullanılarak üretim kapasitesi arttırılabilir. Elde edilen ısı enerjisi, ısı değiştiricilerinden geçirilerek 90⁰ C’de sıcak su (ısıtma amaçlı) elde edilebildiği gibi egzoz gazı, atık ısı kazanına verilerek istenilen basınçta doymuş buhar elde edilmesi de mümkündür.

Yaygın kullanımı olan yakıt doğal gazdır. Bazı uygulamalar ile, biyogaz, yüksek fırın gazı, kok gazı, oplk gazı, LPG, propan ve rafineri gazı gibi diğer yakıtları da kullanmak mümkündür.

alışabilirlik

Normal bakım (yağ değiştirme, supapların ayarlanması gibi) alışma süresi esas alınarak düzenli olarak, kullanıcının kendi teknik servisleri veya satıcı firma tarafından yapılır. Ana revizyon satıcı firmanın kalifiye elemanları tarafından yaklaşık 30,000 saatlik çalışma sonrası yapılır. Ana revizyon için çalışma süresi motor tipine göre önemli farklılıklar gösterebilir. Örneğin bir firma doğal aspirasyonlu motorları için 60,000 saat, turbo şarjlı dosyalar için 24,000 saat sonra ana revizyon önermektedir. Pek çok satıcı firma tüm bakım ve onarımı kapsayan, bakım ve onarım kontratları yapmaktadır. Motor alışma saati başına belirli bir ücretle, tüm bakım onarım yapılmakta ve her türlü teknik problem satıcı tarafından zlmektedir. Sistemlerin tüm ekipmanları standart olacak şekilde anahtar teslimi ve bakım anlaşmasıyla sunulmaktadır.

Bakım genellikle elektrik ve ısı talebinin düşük olduğu dönemlere göre planlandırıldığından çalışabilirliği pek fazla etkilememektedir. Pratikte bakım prosodrlarına uyulduğu takdirde, ağır teknik sorunlar pek sık ortaya çıkmamaktadır.

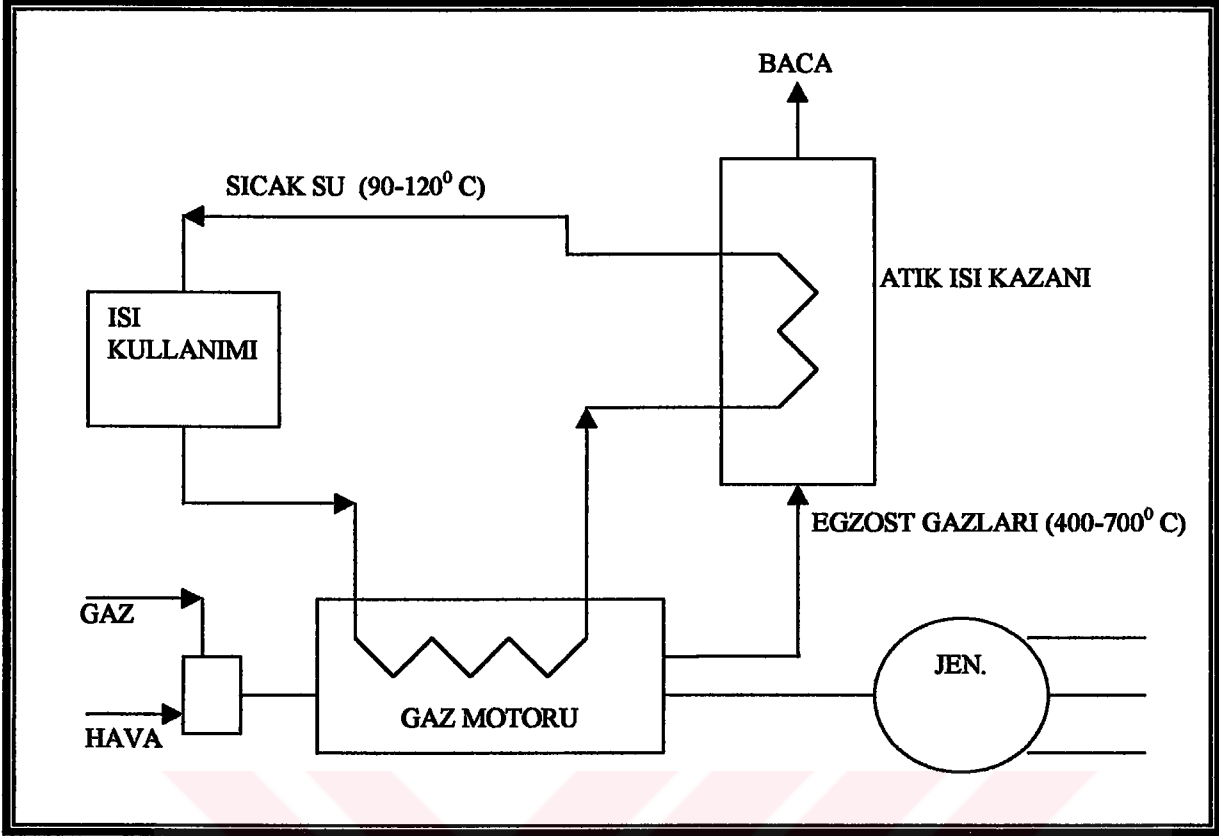
Genel olarak, gaz motoru bazlı bir kojenerasyon sistemi ok güvenli bir sistem olarak kabul edilmektedir. Toplam %95 oranında çalışabilirlik gerçekçi bir rakamdır.

Ömür

Bir gaz motorunun ömrü yaklaşık 60,000 çalışma saati kadardır. Bir kojenerasyon sisteminin yılda yaklaşık 5000-7000 saat kadar çalıştığı düşünüldüğünde, gaz motoru teknik ömrü 10 yıl kadardır. Bu arada 35 yıl sürekli çalışan gaz motorları olduğu da bilinmektedir.

4.2.1.1 Gaz motorları ile kojenerasyon

şekil 4.1’de ana tahrik makinası olarak gaz motoru kullanılan bir kojenerasyon sistemi genel hatları ile görülmektedir.



Şekil 4.1 Gaz motoru bazlı kojenerasyon sistemi

Elektrik

15 kW'ten 1.3 MWe (1500 d/d) kapasite aralığında gaz motorları mevcuttur. 1000 d/d hızda 2 MW kapasiteye kadar gaz motoru üretilmektedir. Gaz motorlarında elektrik verimi %35'e kadar çıkmaktadır.

İki veya daha fazla kojenerasyon sistemleri birbirine paralel bağlanmak suretiyle, hem sistemin genel kapasitesi hem de sistemin güvenilirliği daha da arttırılabilmektedir. Büyük motorlar seri olarak üretilmediklerinden, bununla birlikte yedek parça temininin zor ve pahalı olması sebebiyle mümkün mertebe birkaç adet birbirleriyle paralel çalışan kojenerasyon sistemleri seçilmelidir.

Dizel motoru ile gaz motorunun karşılaştırılması:

Dizel motorların üstünlükleri

- Daha yüksek elektrik verimi vardır.
- Daha iyi kısmi yük verimi vardır.
- Dizel kesintisiz birim olarak çalışabilir.
- Doğal gaz hattının varlığından bağımsızdır.

Dizel motorların sakıncaları

- SO₂ emisyonu vardır.
- Baca gazı çiğ noktası daha yüksektir.
- Yüksek yatırım maliyetine sahiptir.
- Daha fazla gürültü ve titreşim vardır.
- Yüksek bakım onarım gideri gerektirir.

Sabit dizel motorların güç aralığı 0.1 MWe ile 30 MWe arasındadır. Bu geniş aralık nedeniyle dizel motorları küçük ölçekli projelerin yanı sıra endüstriyel kojenerasyon projelerine de uygundur. Dizel motorun elektrik verimi yüksektir ama ısı verimi o kadar yüksek değildir. Bu nedenle ısı/elektrik oranı daha düşüktür. (yaklaşık 1.3-1.4)

Geçmişin aksine, artık dizel motorları kojenerasyon projelerinde ana tahrik makinası olarak daha az kullanılmaktadır. Buna rağmen dizel motorlarının inkar edilmez bazı avantajları vardır, örneğin çok daha yüksek mekanik verime sahip olduğu belirtilebilir. Dizel motorunun önemli bir sakıncası ise NO_x, SO_x ve kurum emisyonlarıdır.

Isı

Gaz motorunda üretilen ısının (egzoz gazları, gövde soğutma, ara soğutucu) büyük bir bölümü geri kazanılabilir ve sıcak su (90-120⁰ C) üretilir.

Egzoz gazları yüksek sıcaklıkta (400-700⁰ C) olduğundan, buradan bir miktar buhar üretmek de mümkündür.

Gaz motorlarının ısı verimi %50-60 aralığındadır. Gaz motorlu kojenerasyon sisteminin toplam verimi %80-90 arasındadır. Yararlanılan ısının üretilen elektriğe oranı, motor kapasitesine göre 1,5-2 aralığında değişmektedir.

Uygulama

Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri, elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha fazla olduğu ya da elektrik ihtiyacının 1 MW'tan daha düşük olduğu durumlarda seçilmesi uygun olan çözüm alternatiflerindedir. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyulan; toplu konut bölgeleri, oteller, tatil köyleri, yüzme havuzları, okullar, hastaneler, tarım (seralar) ve küçük sanayi tesisleri gibi uygulama alanlarında çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2.1.2 İşletme

Isı ve elektrik talebi ile bunların birbirine oranı zaman içinde değişir. Bu nedenle kojenerasyon sisteminin, elektrik ve ısı kapasitesi enerji talebine her zaman karşılık gelmeyebilir.

Enerji talebi azaldığında, tesis ya düşük yükte çalıştırılır ya da kapatılır. Çoğunlukla yükün izlenmesi biçimindeki bir çalışma, aralıklı çalışmaya tercih edilir. Bir taraftan aralıklı çalışma bir takım zararlar verir (buna bağlı olarak sistemin ömrü azalır). Öte yandan düşük yükte çalışma, kojenerasyon sisteminin bakımı çalışma saatine bağlı olduğundan bakım giderlerini artırır.

Teknik olarak gaz motorlarının yükünü azaltmak kolaydır, ama bazı sonuçlar doğurur. Pratikte, düşük elektrik verimi nedeni ile, sistemler nominal elektrik kapasitesinin %50'sinin altındaki yüklerde çalıştırılmazlar.

Yük azaldıkça ısı verimi artarken, elektrik verimi düşer, toplam verim sabit kalır. Bu yüzden yük azaltma yoluna gidilmesi doğru değildir. Normal çalışmada nominal elektrik kapasitesinin %50'sinin üzerinde çalışılmalıdır.

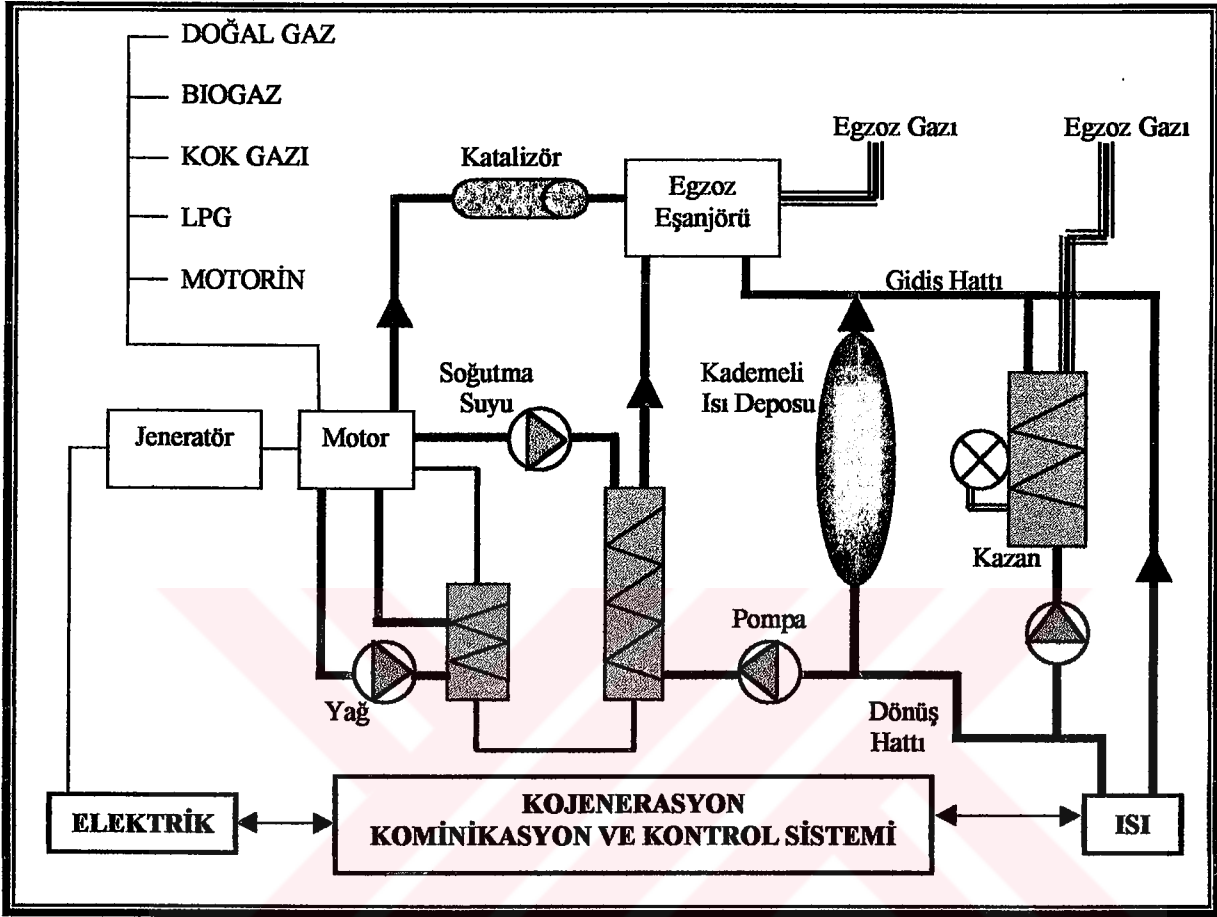
4.2.2 Dizel motoru

Dizel motoru termodinamik açıdan dizel çevrimine dayanır. Dizel motorunda hava, gaz motorunda olduğundan çok daha yüksek basınca (ve böylelikle daha yüksek sıcaklığa) sıkıştırılır, çünkü sıcak sıkıştırılmış havanın içine püskürtülen dizel yakıtı kendiliğinden ateş almak zorundadır. Dizel motorların sıkıştırma oranının, gaz motorlarına göre yüksek olmasının nedeni budur. Gaz motorlarının aksine yakıt sıkıştırmadan sonra enjekte edilir, bu yüzden sıkıştırma zamanı sırasında vuruş tehlikesi yoktur. Daha yüksek sıkıştırma oranı ve daha fazla genişleme sebebiyle dizel motorunun mekanik verimi gaz motorundan daha yüksektir.

Şu anda pek çok çalışma dizel motorlarından kaynaklanan hava kirliliğini azaltmaya yöneliktir (örneğin katalizörler, kurum filtreleri). Eğer emisyonlar önemli ölçüde azaltılabilirse, belki de dizel motorların kojenerasyon sistemi ana tahrik makinası olarak yeniden önem kazanabilir.

İlginç ve önemli bir uygulama dizel motorlarında yakıt olarak doğal gaz kullanımınıdır. Toplam enerjinin %95-99'u doğal gaz, %1-5'i ise dizel yakıtı (örneğin motorin) ile sağlanmakta,

yüksek basınçta (200-250 bar) doğal gaz, dizel yakıtı ile birlikte silindire basılmaktadır. Şekil 4.2 de dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı verilmiştir.



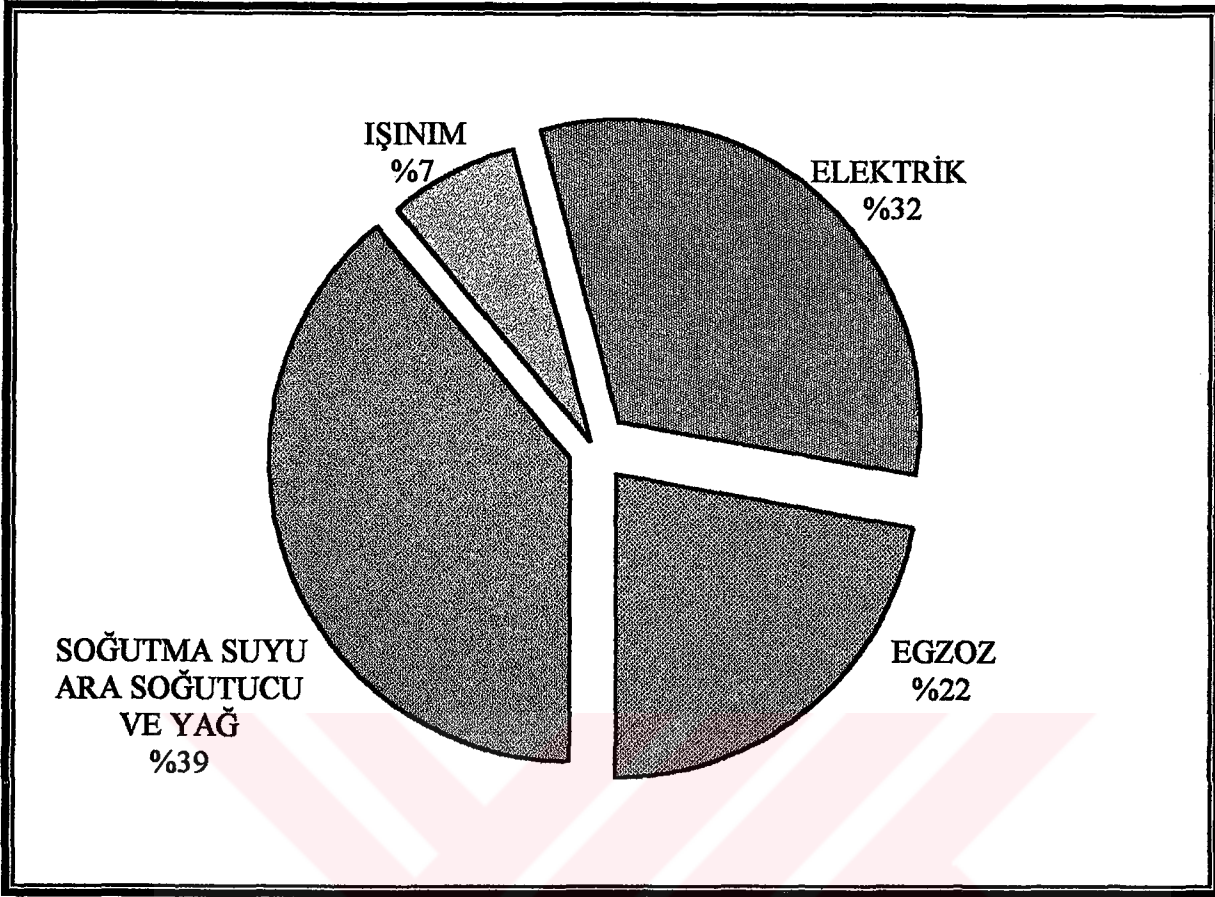
Şekil 4.2 Dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı

4.2.3 Gaz motoru ve dizel motoru için ısı geri kazanımı ve çevre etkileri

Isı Geri Kazanımı

İçten yanmalı motorların mekanik verimleri yüksektir, enerjinin %30-50'si güce dönüşür. Kalan enerji ısı olarak açığa çıkar ve bir şekilde motordan uzaklaştırılması gerekir. Bu, motorun çalışması için zorunlu olduğu gibi, ısının yararlı bir amaç için kullanılması da kojenerasyon sisteminin kararlılığı için şarttır.

Şekil 4.3'de 1000kW'lık bir motorun ısı dengesi görülmektedir. Giren enerjinin yaklaşık %32'si güce dönüşürken %68'i motorun fazla ısınmasını önlemek için uzaklaştırılmalıdır. Isı enerjisinin dağılımı şöyledir: motordan olan ışınlım %7, motor yağı ile taşınan ısı %3, egzoz gazları %28, soğutma suyu %30. Enerji dengesi motordan motora ve motor yüküne bağlı olarak farklılık gösterir.



Şekil 4.3 1000kW'lık bir motorun ısı dengesi

İçten yanmalı motorlarda ısının alındığı başlıca iki kaynak, motor ceket suyu ile egzoz gazlarıdır. Pratikte soğutma suyundaki ısının hemen tümünden faydalanılabilir. Alınabilen ısının kalitesi (sıcaklık veya buhar basıncı) motor ve soğutma sistemi tasarımına bağlı olarak değişir. Motor tipine bağlı olarak soğutma sisteminden 115⁰ C kızgın su veya 1.5 atm doymuş buhar elde etmek mümkündür.

Isı talebinin az olduğu zamanlarda, sistemin elektrik üretimini sürdürebilmesi için fazla ısının atmosfere atılabileceği soğutma kulesi veya radyatör gibi ekipmanlar tasarım sırasında dikkate alınmalıdır.

Bir diğer ısı kaynağı egzozdur. Prensipde egzozun içerdiği ısının yaklaşık %50'si geri kazanılabilir. Egzoz gazlarının sıcaklığı 400-500⁰ C dolayında olduğundan, buradan elde edilen ısının kalitesi daha yüksek olabilir. Motor yağı ve ara soğutucudan da ısı geri kazanılabilir. Bu ısı kaynaklarının sıcaklığı 70⁰ C dolayında olduğundan, ısının ekonomik kullanım olanakları sınırlıdır. Bu arada motorların ışınlama ısı yadıkları gerçeği de

unutulmamalıdır. Tasarım sırasında bu ısının uzaklaştırılması için uygun havalandırma sağlanmasına dikkat edilmelidir.

Çevre Etkileri

Tüm ana makinalarda olduğu gibi içten yanmalı motorların emisyonları da sıkı sınırlamalara bağlanmaktadır. Azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlar tüm yakıtlar için sorun teşkil ederken, kükürt oksitleri (SO_x) daha çok sıvı yakıt kullanımı halinde sorun olmaktadır.

NO_x ve CO sınırlarını sağlamanın iki yolu vardır. Birinci yöntem egzoz gazlarını bir veya bir seri katalizörden geçirmektir. Bu yöntemle bazı durumlarda yanmamış hidrokarbonları da bertaraf etmek mümkün olmaktadır. Diğer yaklaşım ise emisyonları yanma kontrolü, fakir yakıt/hava karışımı veya kademeli yanma gibi yöntemlerle azaltmaktır. NO_x 'lerin azaltılması Seçici Katalitik İndirgeme (Selective Catalytic Reducation, SCR) tekniği ile mümkün olmaktadır. Egzoza amonyak enjekte edilerek bir katalizörden geçirilir ve azot oksitler elemanter azota indirgenir.

4.2.4 Motor kojenerasyon sistemlerinde kullanılacak yakıtlar

Otto motorlarında sadece gaz yakıtlar kullanılabilir ve emisyon değerleri herhangi bir katalizör sistem kullanmadan Alman Ta-Luft sınırlarının altında olmalıdır. Kullanılabilecek gazlar sırasıyla:

- Doğal gaz
- Biyogaz
- Propan
- Kok gazı
- Pyrolis gazı (odun gazı)

Bunlardan sadece doğal gaz ve propan ticari olarak kullanıma açık yakıtlardır. Diğerleri ya arıtma tesisleri, ya çöplükler, ya da özel proseslerden elde edilir. Özellikle proseslerinde solvent ağırlıklı atmosfer yaratan ya da özel gazlar üreten müesseselerde bu imkan çok rantabil yatırım sonuçları vermektedir.

Dizel motorlarda ise belli kapasiteye (yaklaşık 4 MW) kadar ancak dizel ya da gaz-dizel çift yakıt, bu kapasitenin üzerinde gaz-dizel makinalar ile fuel oil no 4 ve no 6 yakabilen makinalar da bulunmaktadır (www.kojenerasyon.com/kojensayfa.htm, 2000).

4.2.5 Ticari olarak bulunabilen yakıt seçeneklerinin özellikleri ve bugünkü fiyat seviyeleri

Gaz yakıtlarının motorlarda yakılabilmesinin en önemli kriteri metan sayısıdır. Arkasından kalorifik değer ve laminer alev hızı gelir. Gazların özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Gaz yakıtlarının özellikleri (www.kojenerasyon.com, 2000)

Yakıt	Kompozisyon	Spesifik gravite (kg/nm ³)	Alt ısı 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
Odu gazı	H ₂ %7 CO %17 CNHM %5 N ₂ %56 CO ₂ %15	1,25	1,38	13	

Bu yakıtları kısaca değerlendirmek istersek:

1. Doğal gaz: Kojenerasyonun ticari olarak bulunabilen tartışmasız temel yakıtıdır. Hem yanma özellikleri hem çevre dostu oluşu hem depolama gerektirmemesi hem de ekonomik açıdan en geçerli yakıttır.
2. 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. Enerji ve Tabii Kaynaklar

Bakanlığı'nın yaz aylarında aldığı kararlar sonucu enerji üretiminde kullanılma halinde ATV (Akaryakıt tüketim vergisi) ve AFİF (Akaryakıt fiyat istikrar fonu) oranlarının pratikte sıfırlanmış olması sonucu ekonomik olarak kabul edilebilir bir alternatif haline gelmiştir.

3. Dizel: Yanması en az problemlili ve zararlı emisyonu en düşük 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.
4. Fuel-oil no 4: Bir diğer uygun likit yakıttır. Ancak emisyonlarında arıtma gerekmekte, fiyat açısından da yine ekonomik saymak mümkün olmamaktadır.
5. Fuel-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 artırılması ve bertaraf edilmesinde karşılaşılan problemler ve maliyetler negatif taraflarıdır (www.kojenerasyon.com, 2000).

Ticari olarak bulunabilen yakıtların bugünkü (Mayıs 2000 itibariyle) fiyat seviyeleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir.

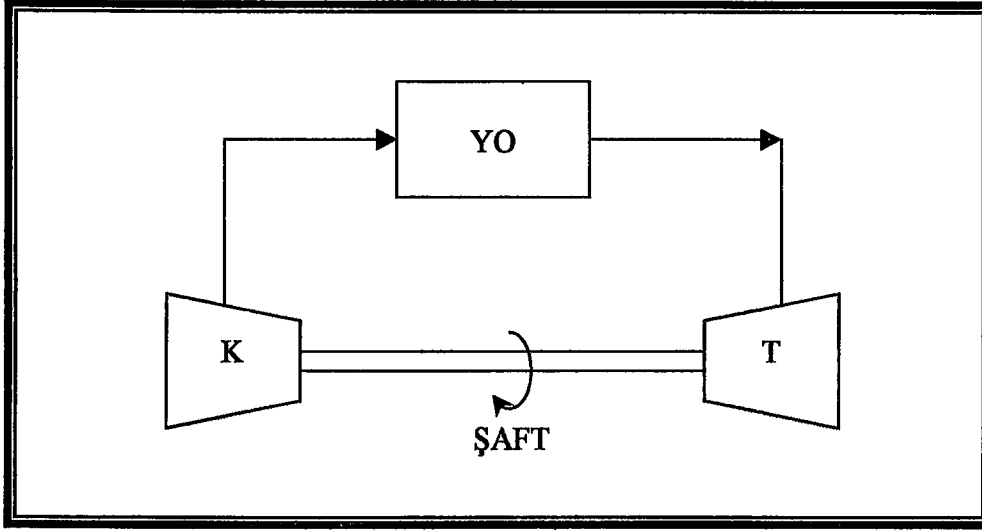
Çizelge 4.2 Kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıtların fiyat karşılaştırması

	Doğal gaz	Propan	Motorin	Fuel-oil 6
Kal. değer	8250 kcal/m ³	11200 kcal/kg	10200kcal/kg	9600kcal/kg
Birim fiyat	150 \$/m ³	300 \$/ton	317 \$/ton	105 \$/ton
Spesifik fiyat	0.016 \$/kwh	0.023 \$/kwh	0.027 \$/kwh	0.009 \$/kwh

4.3 Gaz Türbinleri

Gaz türbinleri üç ana elemandan oluşur (Şekil 4.4).

- Kompresör, K (havayı alıp basıncını ve ısınımsını yükselten eleman)
- Yanma odası, YO (içinde hava ve yakıtın yandığı eleman)
- Türbin, T (şafta bağlı olup kanatçıkları olan eleman)



Şekil 4.4 Gaz türbininin parçaları

Gaz türbinleri özellikle son zamanlarda büyük ölçekli birleşik ısı güç santrallerinde en yaygın kullanılan tahrik üniteleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler genel manada, yanma odasında komprese edilmiş hava ile enjekte yakıt karışımının ateşleme düzeni ile yakılması sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanma gazını bir dizi kanadı döndürmek için kullanılır. Bu sayede kanatların bağlı olduğu mil döndürülmüş olur. Bu mil de akuple olduğu generatörü (rotor) tahrik eder. Yanma odasına yüksek basınçta hava basılmasının sağlayan aksiyal ya da santrifüj kompresörün tahriki tek ya da çift şaftlı olmasına göre aynı ya da tek bir güç türbini tarafından sağlanır.

Kompresör tarafından emilen hava sıkıştırılır. Basıncı yaklaşık olarak 12 kat artan havanın sıcaklığı da yükselir. 150°C civarındaki bu kızgın hava yanma odasına gelir. Diğer yandan yanma odasına yüksek basınçlı yakıt (doğal gaz, LPG, motorin) püskürtülür. Havanın yakıt oranı yaklaşık olarak 60'a 1'dir. Yani 60 birim hava ile 1 birim yakıt yanma odasında basınç altında yanar. Yanma sonucunda yüksek basınçlı ve $900^{\circ}\text{C} - 1200^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında egzoz gazı açığa çıkar. Bu gaz, türbinden geçerek sistemi terk eder. Türbinin kanatçıkları çarpma etkisiyle dönecek şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla egzoz gazı türbinden geçerken türbin döner. Böylece türbin ile kompresör arasında bulunan şaft da dönmeye başlar. Oluşan bu mekanik enerjiye karşılık egzoz gazının sıcaklığı $400^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ 'a gerilemiştir. Sıcaklığı ve basıncı azalmış olan ve yaklaşık %15 O_2 içeren egzoz gazı türbini terk ettikten sonra atık ısı kazanına gelir. Bu egzoz gazlarından da buhar enerjisi elde edilmesi ile ısı kaynağı ihtiyacı giderilir. Kullanılabilir ısının güce oranı türbin karakteristiğine bağlı olarak 1,5:1 ile 3:1

arasında değişir. Gaz türbinleri yapıları icabı yanmanın gerektirdiğinden daha fazla havayı kullandıkları için egzoz gazında yüksek miktarda oksijen bulunur (yaklaşık %15). Bu oksijen ekstra bir yanma miktarını sunar. İşte bu ek yanma sayesinde kullanılabilir ısının güce oranı 5:1 hatta 10:1'lere bile çıkabilir.

Gaz türbinleri yüksek hız ve sıcaklık değerlerinde çalıştıklarından dolayı yakıt kalitesi titizlik gerektirir. Bu nedenle genellikle yüksek değerli yakıt kullanılır. Bunların en başta geleni doğal gazdır. Ayrıca biogaz, landfill gaz ya da maden gazları gibi atık gazlar da kullanılabilme imkanına sahiptir. Yakıtın kalitesi ne kadar iyi olursa gaz türbinlerinin ömrü de o kadar uzun olur.

Gaz türbinlerinin güç akışını ve verimliliğini bir takım ilave ekipmanlarla arttırmak da mümkündür. Bunlardan bazıları; intercooler, reheater, regeneratör olarak sayılabilir. Bunlardan ilk ikisi sırasıyla kompresörün ve türbinin verimliliğini artırır. Üçüncü uygulamayla ise yakıt tüketimi azaltılır ama bunun yanında egzoz ısı miktarında bir düşme olur. Bu arada hem güç artımı hem de NO_x emisyon düşürmeye yönelik buhar ve su enjeksiyonlu yöntemleri de özellikle büyük güçlerde sıkça kullanılmaktadır. Tüm bu imkanların türbinde gerçekleştirilmesi öncelikle artan ekipman düzeni ve sermaye maliyeti arasındaki ticari dengeye ve elde edilen kazanca bağlıdır. Ekipmanlar ne kadar iyi olursa verimde o derece yüksek olur.

Türbinlerin mil verimliliği, (ilk yakıtın sağladığı ısı gücünün dönüştürülen mekanik güce oranı) hava giriş sıcaklığına, basıncına ve diğer etmenlere bağlı olarak temelde %20-%40 arasında değişir. %30 değeri pratikte tipik bir değer olarak sunulabilir. Yükleme faktörü de gaz türbinlerinin performansında etkilidir. Özellikle %70'in altındaki yüklemeler makinada olumsuz etkilenmeler meydana getirir. Gaz türbinleri çok geniş bir güç aralığına hitap etmekle beraber 1 MWe'nin altındaki üniteler düşük verimlilikler ve yüksek maliyetleri nedeniyle kullanıma uygun değildir. Şu anda piyasada 200 kWe ile 200 MWe arasındaki kapasitelerde gaz türbinleri bulunmaktadır.

Türbin ve generatör grupları aynı alt temel üzerinde montelidirler ve aralarında türbinin yüksek hızını generatörün ihtiyacı olan düşük hıza (50 Hz) getiren bir dişli kutusu bulunur. Bu ünitelerin konduğu temel inşaat işinin uygun niteliklerde olması gerekir. Gaz turbogeneratör grupları çıkardıkları yüksek gürültü nedeniyle akustik kabin içerisinde bulunurlar. Bu üniteler aynı zamanda hem dış ortam şartlarında korumak hem de daha iyi ses yalıtımı sağlamak amacıyla fabrika tipi bina içerisine monte edilirler. Akustik kabin yangın

durumunda tehlikeyi lokalize ederek riski de en aza indirir. Türbinlere yanma havası dış ortamdan filtreden geçirilerek alınır.

Gaz türbinlerinin doğasından gelen en önemli özellikleri, yüksek verimlilikleri ve minimum çalışma verimi gerektirmeleridir. Duruş bakımları senede bir kez gibi uzun aralıklarla yapılır ve genelde bir bakım onarım kontrolü ile üretici firma tarafından yürütülür.

Gaz türbinlerinden sürekli verim elde etmek için sistem sürekli çalışmalıdır. Sistemin avantajlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

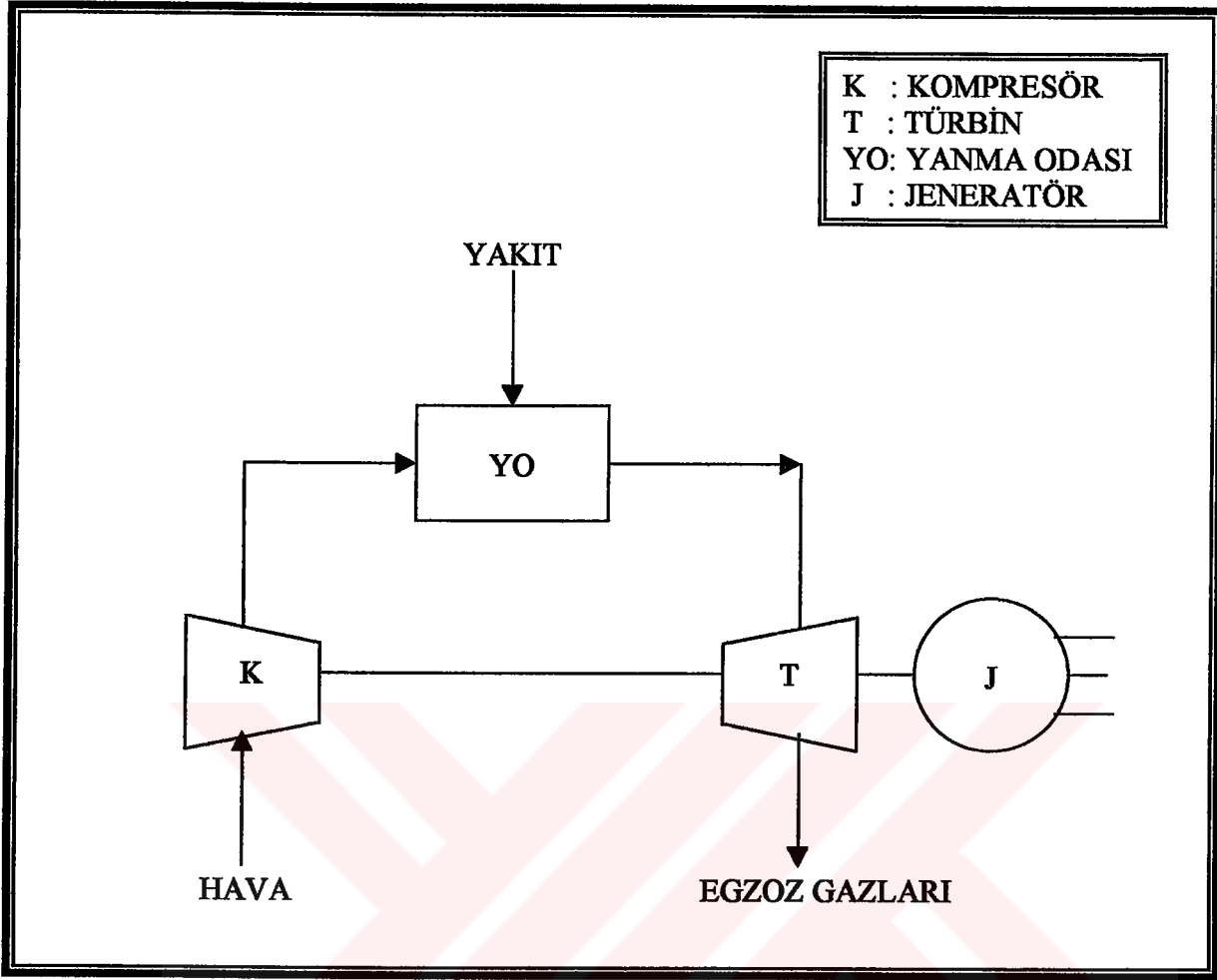
- Sistem az yer kaplar. Paket halde bulunur. Dolayısıyla inşa giderleri çok azdır. Fabrikalar, sanayi siteleri, toplu konut alanları...vb. yerlerde tesis edilebilirler.
- Bilgisayar kontrollü olduğundan fazla eleman gerektirmez.
- Yüksek sabit hızı sayesinde elektriksel frekansın kolay kontrol imkanı
- Enerji üretimi ile ısı üretimi oranları isteğe bağlı değiştirilebilir. Ek sistemlerle gerekirse elektrik üretimi artırılıp, buhar üretimi azaltılabilir. Veya tersi de mümkündür.
- Devreye alınması diğer santrallere göre daha kolay ve daha çabuktur.
- Farklı yakıt türleri kullanılabilir (doğal gaz, LPG, motorin).
- Minimum çalışma bakımı gerektirirler.
- Soğutma suyu gerektirmediğinden aşırı su ihtiyacı yoktur. Bu sebeple su kaynakları yakınlarında bulunmaları gerekmez.

Dezavantajları ise şöyledir:

- Güç akış aralığının belirli dizayn değerlerine hitap etmesi.
- Gaz motorlu örneklerine nazaran daha düşük mekanik verimlilikle sahip olması.
- Gaz yakıtlar için yüksek basınçlı kaynak ya da booster ihtiyacı.
- Düşük yüklerde verimlilik düşümü.

Tek şaftlı ve iki şaftlı gaz türbinleri

Kompresör ve türbinin aynı şaft üzerinde bulunduğu tek şaftlı gaz türbinleri genellikle elektrik üretimi gibi devir sayısının sabit olduğu durumlarda kullanılır (Şekil 4.5). Bu nedenle üretilen mekanik gücün elektrik güce çevrildiği kojenerasyon sistemleri çoğunlukla tek şaftlı türbinlerdir. Her ne kadar tek şaftlı türbinlerin kısmi yük davranışları kötü ise de, yükteki değişmelere rağmen sabit devir hızı gibi avantajları vardır.



Şekil 4.5 Gaz türbini (tek şaftlı)

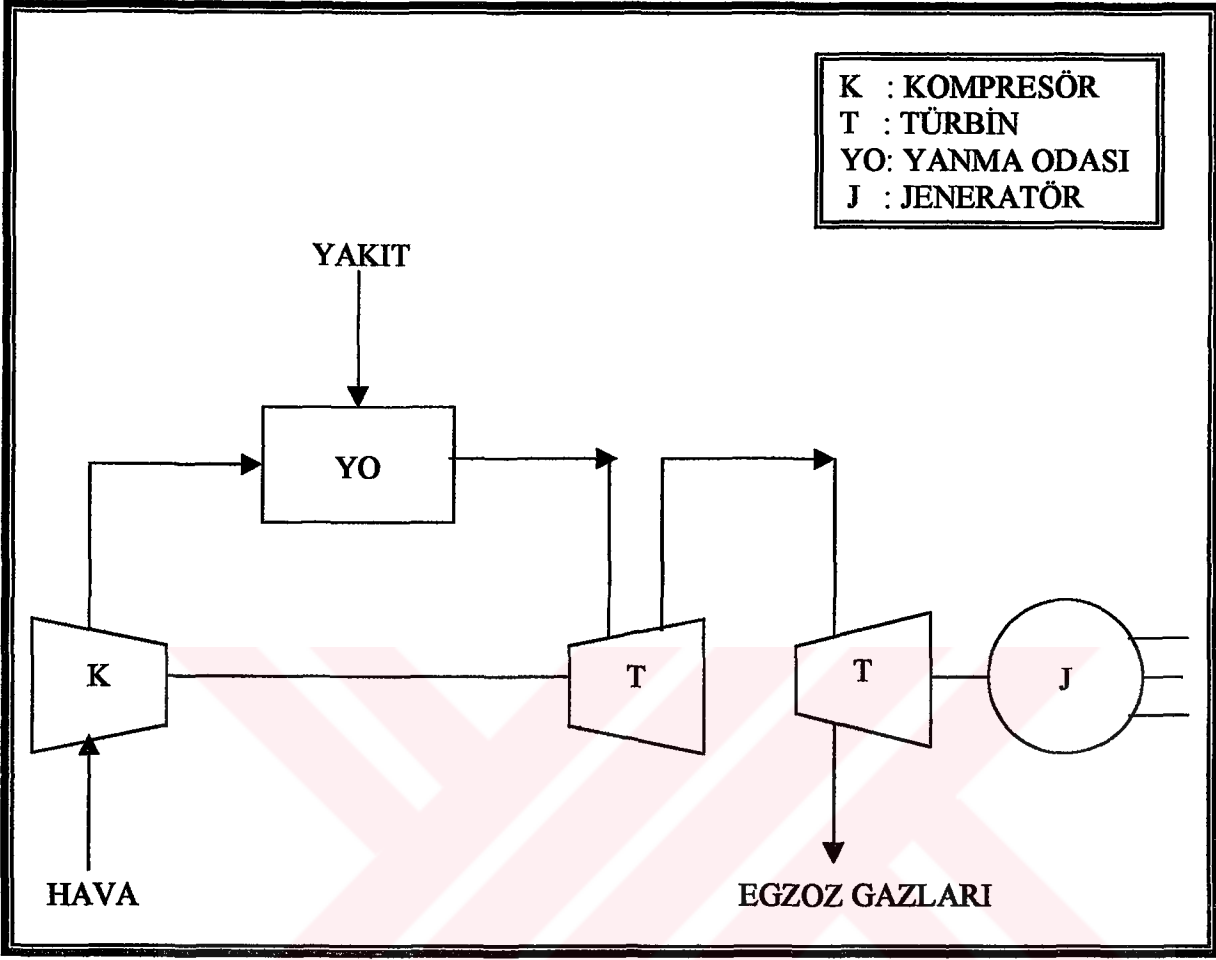
İki şaftlı gaz türbinlerinde (Şekil 4.6),kompresör ve ona güç sağlayan birinci türbin aynı şaft üzerindedir.

İkinci bir şaftta da birinci türbinden gelen egzoz gazlarının yönlendirildiği güç üreten ikinci bir türbin yerleştirilmiştir. Şaftların devir sayısı farklı olabilir (örneğin pompalar). Bu tip türbinlerin kısmi yük performansı tek şaftlı türbinlere göre çok daha iyidir.

Çalışabilirlik

Bakım ihtiyacı kojenerasyon sisteminin büyüklüğü ve yapısına bağlıdır. İşletme giderleri ve teknik arızaları en aza indirmek için bakım talimatlarına kesin olarak uyulması şarttır.

Genellikle kullanıcı ile kojeneasyon sisteminin yapımcısı arasında sistemin performansının tartışıldığı periyodik temaslar olur (her şey dahil bakım sözleşmesi). Gaz türbinli bir kojenerasyon sisteminin ortalama çalışabilirliği (bakım ve teknik arızalar dahil) yüksektir (yaklaşık %95).



Şekil 4.6 İki şaftlı gaz türbini

Ömür

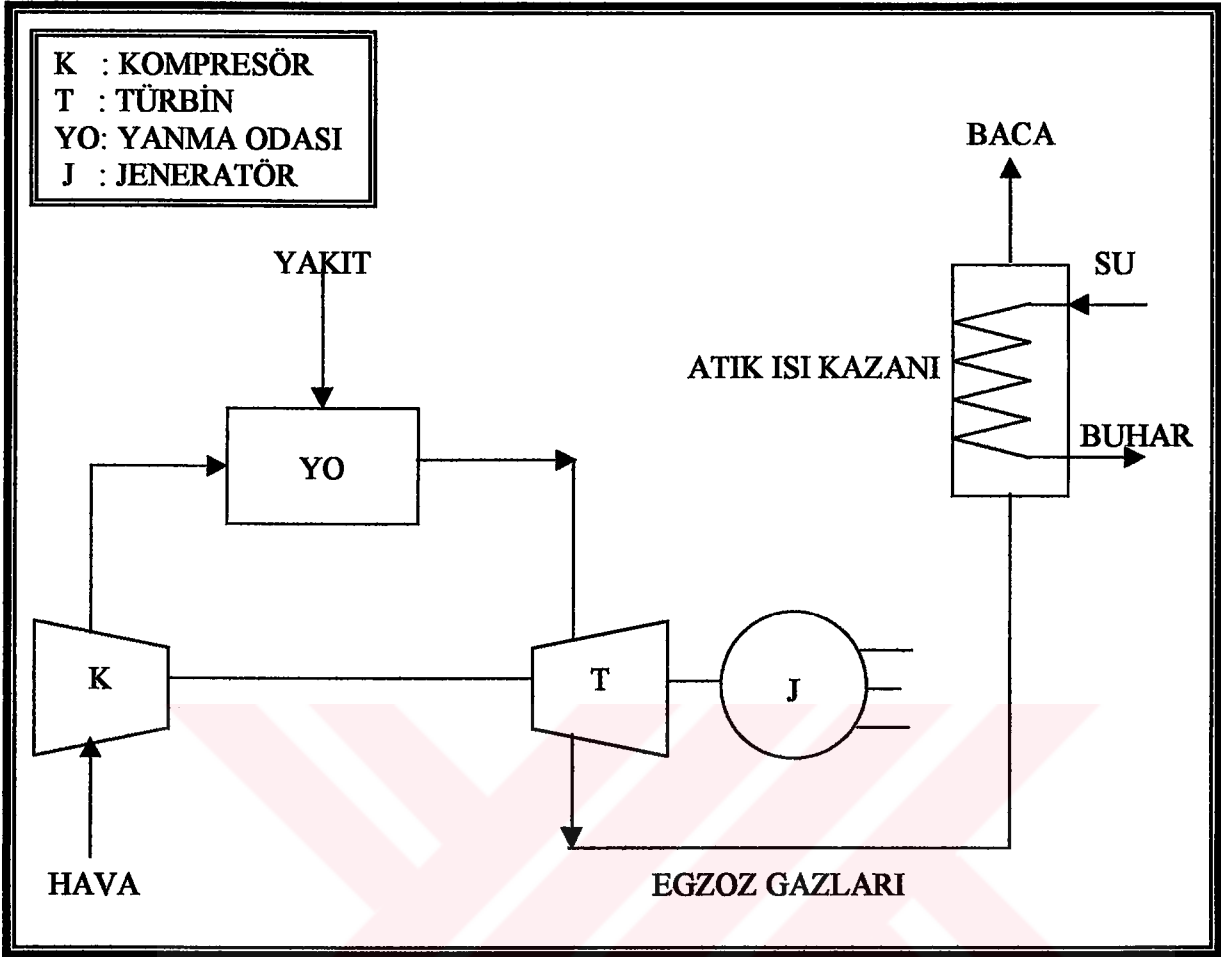
Gaz türbinlerinin ömrü büyük ölçüde, işletme yöntemine (durum/çalışma sıklığı, tepe yük), yakıt kalitesine ve emilen havanın temizliğine bağlıdır. Bir gaz türbininin ömrü ortalama 120,000 çalışma saati kadardır. Yılda 6000-8000 saat çalışma ile gaz türbini ömrü yaklaşık 15-20 yıl kadardır.

4.3.1 Gaz türbinleri ile kojenerasyon

4.3.1.1 Atık ısı kazanı ile gaz türbini

Şekil 4.7 de gaz türbini ve atık ısı kazanı şematik olarak gösterilmiştir. Sıcak egzoz gazlarını bir atık ısı kazanından geçirerek, egzoz gazlarının içerdiği ısının çoğu geri kazanılabilir.

Geri kazanılan ısı, sıcak su (örneğin 80⁰ C) veya buhar (örneğin 10 bar) olarak kullanılabilir.



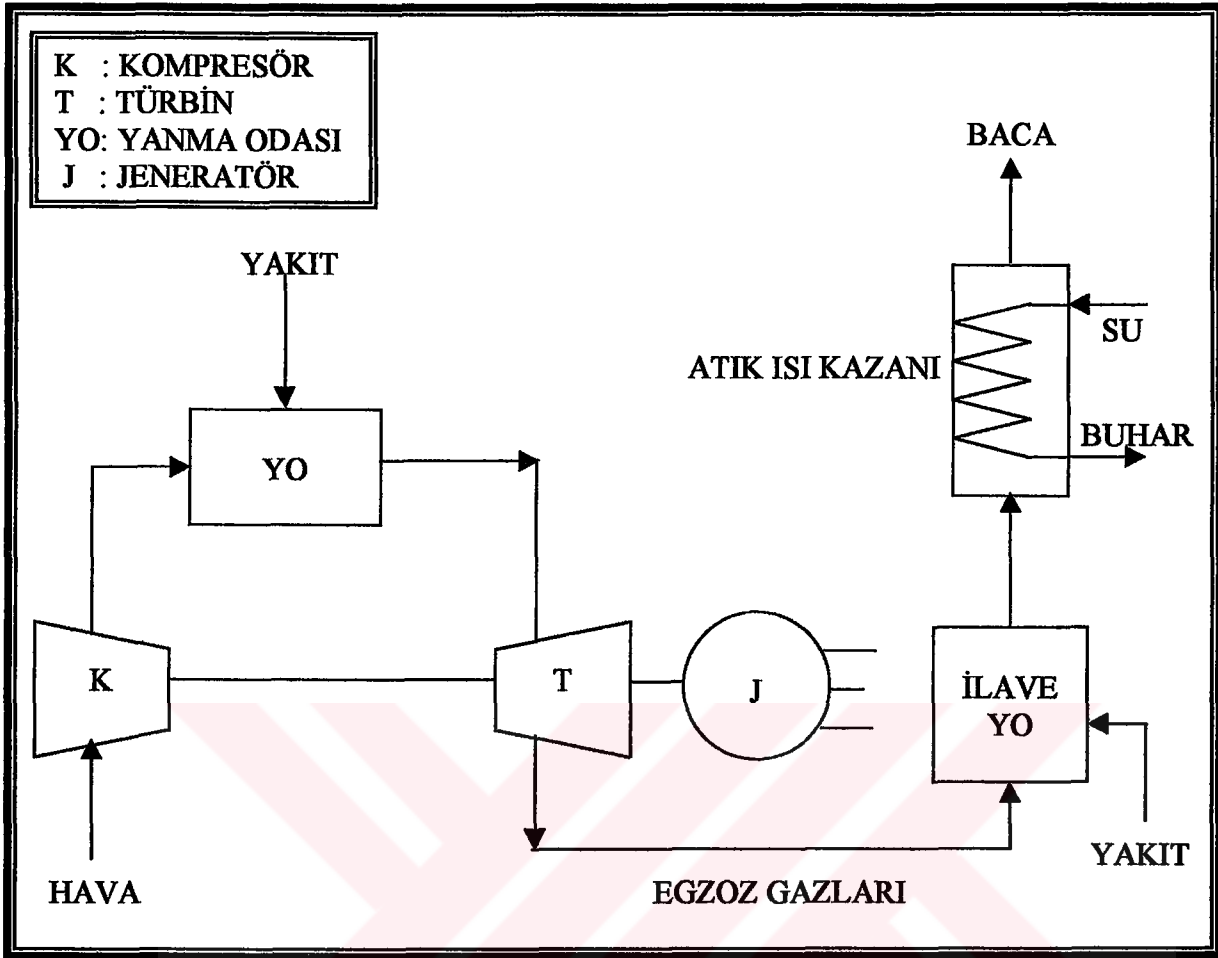
Şekil 4.7 Gaz türbini ve atık ısı kazanı

Üretilen buhar miktarı , buhar koşullarına (basınç, sıcaklık) bağlıdır, buhar basıncı düştükçe debisi artar. Buhar enerjisi üretimi için sistem verimi %45-%55 arasındadır.

Atık ısı kazanından atılan baca gazlarının sıcaklığı 200°C civarındadır. Atmosfere atılan bu enerjiden de faydalanmak mümkündür. Atık ısı kazanı ile baca arasında konan bir ekonomizerle baca sıcaklığı 100°C 'ye düşürülebilir. Genel olarak baca sıcaklığını 20°C 'ye düşürmek kazan verimini %1 arttırma anlamına gelir. Fakat atık gazın su buharı ihtiva etmesi, bunun da korozyona sebep olması dolayısıyla baca sıcaklığı düşük tutulmaz.

İlave yanma

İşletmenin buhar ihtiyacı üretilen buhardan fazla ise buhar üretimini arttırmak için ilave bir yanma odası kullanılır. İlave yanma odası egzoz gazlarının ilave yakıtla yakıldığı yerdir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Sistemden daha fazla buhar elde etmek için yapılan ilave yanma

Gaz türbinlerinin egzoz gazları genellikle, fazladan yanma havası gerektirmeden, ilave yanma yapmaya yetecek kadar oksijen (ortalama %15) içerir. İşte bu egzoz gazları atık ısı kazanına girmeden ilave bir yanma odasında yakıtla yakılarak gazın sıcaklığı ve basıncı artırılabilir. Bu da daha fazla buhar demektir.

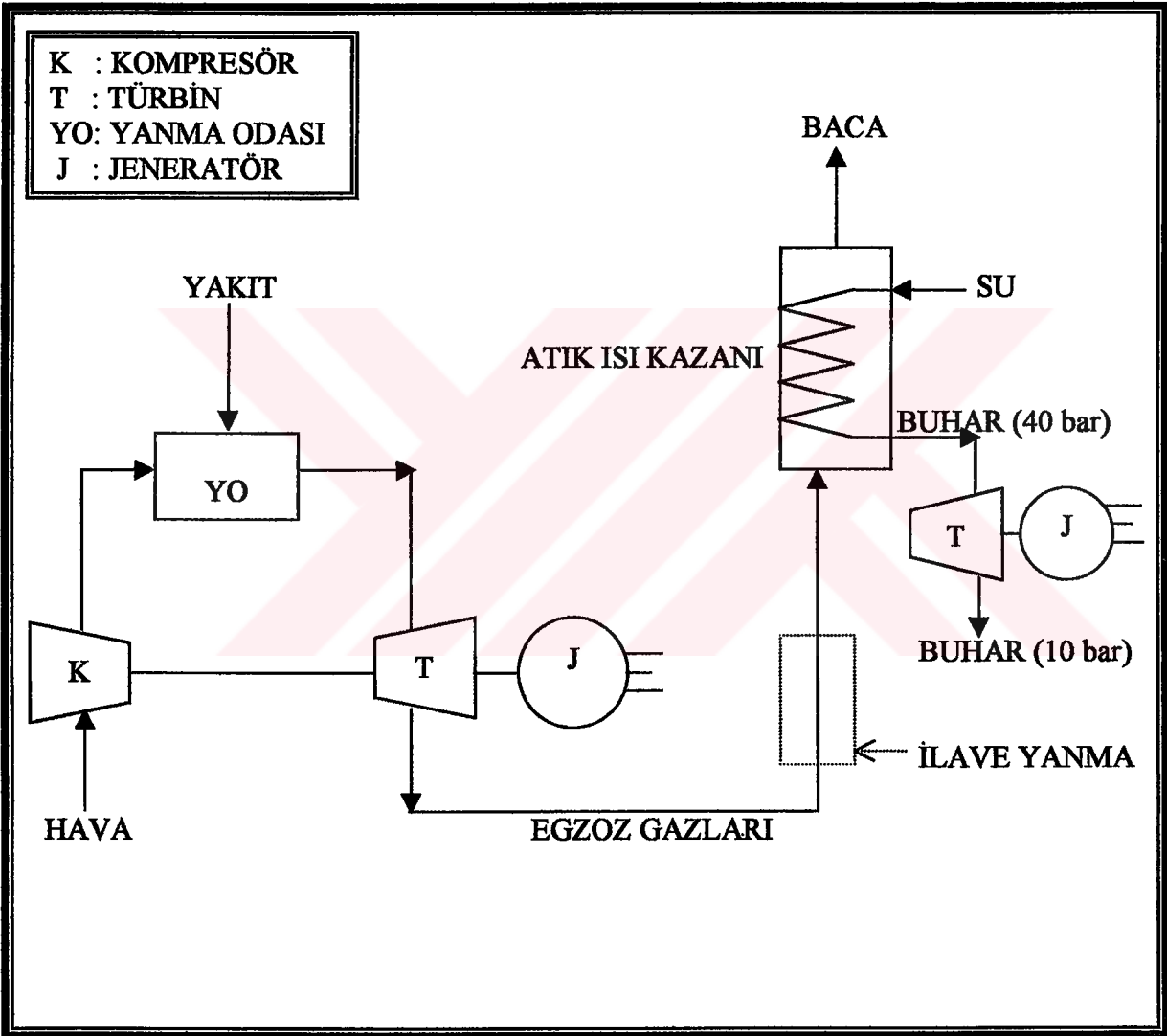
İlave yanma imkanı sonuna kadar kullanıldığı takdirde, ilave yanmasız çalışmadan 6-7 kat daha fazla buhar elde edilebilir. Daha fazla buhar üretiminin yanında ilave yanmanın bir diğer avantajı da elektrik ve buharın bağımsız üretilebilir olmasıdır. Atık ısı kazanına zararlı olacağı için genellikle 750°C giriş sıcaklığının üzerine çıkılmasına izin verilmez, bu nedenle ilave yanmanın da bir sınırı vardır.

4.3.1.2 Birleşik çevrim

Sistemde gaz türbininin yanı sıra atık ısı kazanında üretilen buharı kullanan bir buhar türbini mevcuttur. Birleşik çevrimde, yüksek basınçlı buhar üretebilmek için (en az 40 bar), atık ısı

kazanına ilave yanma yapılır (şart değil, genellikle ilave yanma kullanılmamaktadır). Atık ısı kazanından elde edilen buhar, bir buhar türbinine girerek ilave elektrik üretilir (Şekil 4.9). Bu şekilde buhar enerjisi azalacak elektrik üretimi artacaktır. Buhar türbininden çıkan buharın basıncı ve ısısı düşmüş olacaktır.

Egzoz buharı ısıtma (veya proses) amaçlı olarak kullanılabilir. birleşik çevrim ileride daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

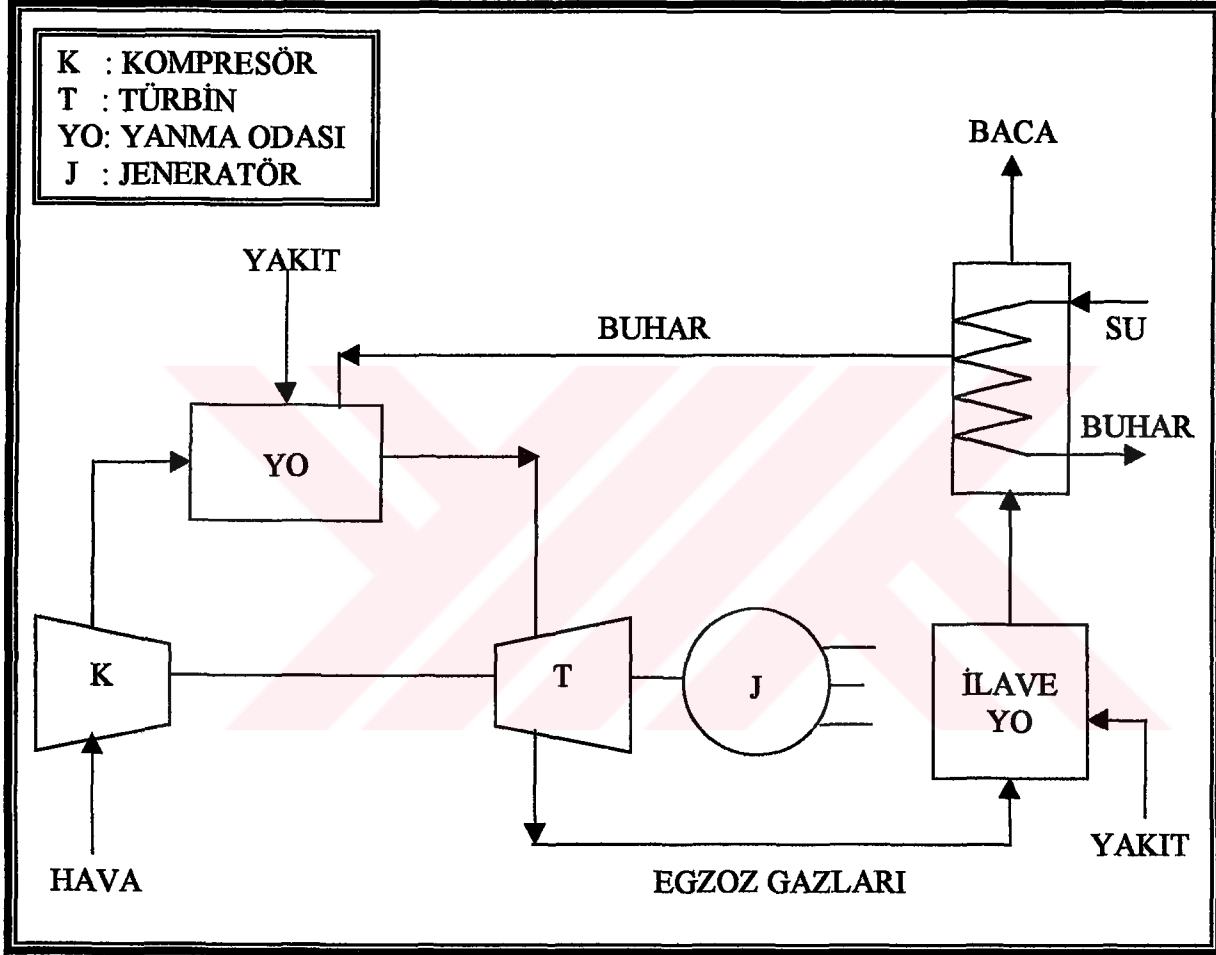


Şekil 4.9 Birleşik Çevrim

4.3.1.3 Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri

Elektrik üretimini arttırmak için, atık ısı kazanından elde edilen buharın bir kısmı gaz türbininin yanma odasına enjekte edilir. Şekil 4.10'da buhar enjeksiyonlu bir gaz türbinini şematik olarak gösterilmiştir.

Buhar enjeksiyonu arttıkça üretilen elektrik miktarı da artar. Üretilen elektrik, en yüksek buhar enjeksiyonu ile, buhar enjeksiyonsuz duruma göre yaklaşık %60-%80 daha fazladır. Gaz türbininin tipine bağlı olarak elektrik verimi %20-%40 artar. Isı verimi ise buhar enjeksiyonu ile hızla azalır. Atık ısı kazanından gelen buharın tümü yanma odasına enjekte edilirse ısı verimi sıfır olur. Enjekte edilen buhar miktarı kompresörün bastığı havanın kütleli debisinin en fazla %15'i ile sınırlıdır.

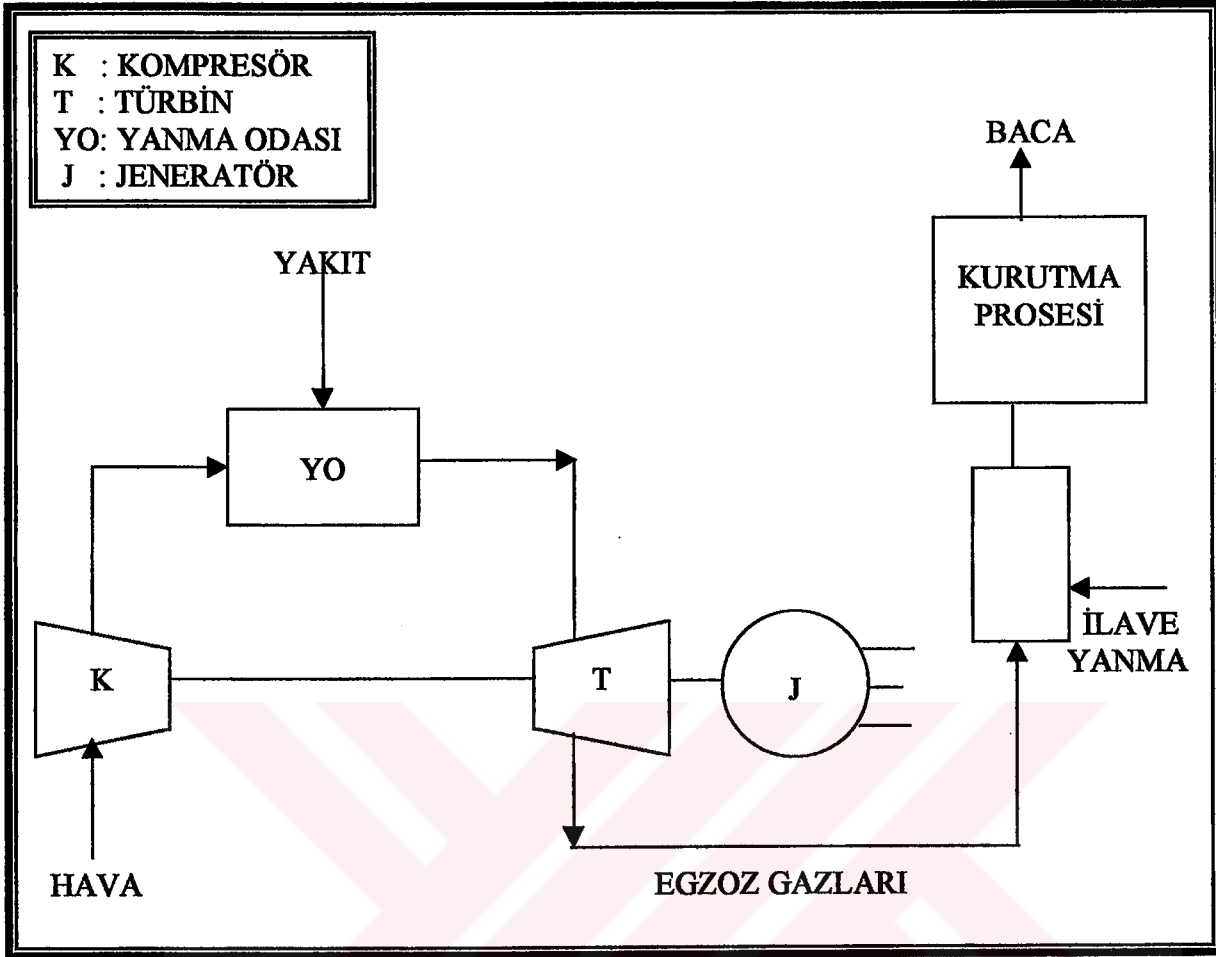


Şekil 4.10 Buhar enjeksiyonlu gaz türbini

Buhar enjeksiyonlu gaz türbininin önemli avantajı ısı/elektrik oranının enjekte edilen buhar miktarını kontrol ederek kolayca değiştirilebilmesidir. Böylece değişen proses ihtiyaçlarına uyum gösterebilir.

4.3.1.4 Egzoz gazlarının doğrudan kullanıldığı gaz türbini

Bazı durumlarda egzoz gazları endüstriyel proseslerde doğrudan kullanılabilir (örneğin kurutma). İlave yanma ile üretilen ısı miktarı ayarlanabilir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Egzoz gazlarının doğrudan kullanıldığı gaz türbini

Küçük gaz türbinlerinin (birkaç MWe'ye kadar) elektrik verimi %15 ile %25 arasında değişir. 5 MWe üzerinde elektrik çıktısı olan gaz türbinlerinin verimi %25-35 aralığındadır (türbin verimleri daha yüksek değerlere ulaşmıştır, bugün ise %41 verime sahip türbinler üretilmektedir).

Küçük türbinlerin (<5 MWe) ısı verimi %45-60 arasında iken, daha yüksek elektrik kapasitesine sahip türbinlerin ısı verimi %40-50 arasında değişir. Gaz türbini bazı kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi %70-80 arasında değişir.

Gaz türbininde üretilen elektrik miktarı ile verim, ortamın hava koşulları (sıcaklık, basınç) ile yakından ilgilidir.

1.Basınç

Kompresörün yapması gereken iş artacağından, ortam havası basıncı düştüğünde üretilen elektrik miktarı azalır.

2. Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığının gaz türbini özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır. Ortam hava sıcaklığındaki her bir derece santigrad sıcaklık artışı için:

- Elektrik üretimi yaklaşık %0.75 azalır.
- Birim yakıt tüketimi yaklaşık %0.2 artar.
- Egzoz gazlarını sıcaklığı yaklaşık %0.2 artar.
- Buhar üretimi yaklaşık %0.1 azalır.

Uygulama

İlave yanmasız sistemlerde, ısı/elektrik oranı küçük gaz türbinleri (<1 MWe için) oldukça yüksektir, 3-5.1 MWe'ten büyük kapasiteli gaz türbinlerinde ısı/elektrik oranı hızla 1.5'e doğru azalır.

Eğer bir kojenerasyon sisteminde ilave yanma yapılırsa, ısı/elektrik oranını 10'a çıkarmak mümkündür. Bunun yanında ilave yanma miktarını kontrol ederek, ısı/elektrik oranı değiştirilebilir.

Gaz türbini bazlı kojenerasyon sistemleri aşağıdaki endüstriyel sektörlerde sıklıkla kullanılır.

- Yiyecek, süt ürünleri
- Çimento
- Petrokimya
- Bira, malt
- Tekstil
- Kağıt ve kağıt hamuru
- Selluloz

Gaz türbini yükü azalınca egzoz gazlarından atık ısı kazanına giriş sıcaklığı düşer, bu durum verimin azalmasına neden olur.

Kompresörün emdiği hava miktarı azaltılarak verim kaybı hafifletilebilir. Hava debisi kompresör girişine değişken kılavuz kanatları takarak, giriş havasını ısıtarak veya iki şaftlı türbin kullanılarak azaltılabilir.

Pratikte düşük kısmi yük verimi nedeniyle, gaz türbinleri mümkün mertebe kısmi yükte çalıştırılmaz. Genellikle gaz türbinleri %75 kapasitenin altında yüklenemez. Bazen gaz türbini sadece tam yükte çalıştırılır, daha düşük yüklerde ise durdurulur.

4.3.2 Gaz türbinli sistemlerin ısı geri kazanımı ve çevresel etkileri

Isı Geri Kazanımı

Türbinde şaft gücüne dönüşmeyen enerjinin hemen tümü egzoz gazlarına geçer. Egzoz oldukça temizdir ve doğrudan proses uygulamalarında (kurutma vs.) kullanılabilirdiği gibi, atık ısı kazanına gönderilerek buhar veya kızgın/sıcak su üretilebilir. Türbinler fazla hava ile çalıştığından egzoz oksijen zengindir ve kanal tipi bir yakıcıda ilave yakıt yakılarak ısı miktarı artırılabilir.

Çevresel Etkiler

Doğal gazla çalıştığında, türbin emisyonları NO_x , CO ve yanmamış hidrokarbonlardır. SO_x emisyonu, fazla kükürt içeren fuel oil kullanılması halinde sorun olabilir. Bu yüzden yakıtın kaliteli olması gereklidir.

Emisyon kontrolü için bir yöntem olarak imalatçılar yakıcı ve yanma odası tasarımlarını değiştirerek, yanma prosesini kontrol altına almışlardır. Bu yöntemle NO_x emisyonlarını %80 oranına azaltmak mümkün olmaktadır.

Bir diğer yaklaşım yanma bölgesine su veya buhar enjeksiyonudur. Bu kontrol yönteminin esası alev sıcaklığının düşürülmesidir ve pek çok etkisi vardır. Öncelikle artan kütleli debi türbin kapasitesini artırır. Buhar enjeksiyonu türbin verimini %20, kapasitesini ise %50'ye varan oranlarda artırabilir. Buna karşın su enjeksiyonu %5 civarında verim kaybına neden olur. Bu yöntemle NO_x emisyonları azalırken, CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonları bir miktar artar. Korozyonu azaltmak için enjekte edilen suyun çok iyi demineralize edilmesi gerekir.

4.4 Buhar Türbinleri

Buhar kazanında yakıtın yanmasıyla açığa çıkan kimyasal enerji suyu buharlaştırır. Daha sonra buhar, buhar türbininde genişler.

Buhar üretiminde doğal gaz, fuel oil veya kömürün yanı sıra, çöp veya LPG de kullanılabilir. Bu nedenle ilk bakışta buhar türbininin yakıttan bağımsız olduğu düşünülebilir. Ancak çevre kirliliği yaratan emisyonlar büyük ölçüde kullanılan yakıtla bağlıdır. Kömür gibi ucuz bir yakıt kullanıldığında, NO_x ve SO_x emisyonlarını azaltıcı önlemlerin alınması gerekir. Bu emisyon azaltıcı teknikler pahalı yatırımlar gerektirir.

Çalışabilirlik

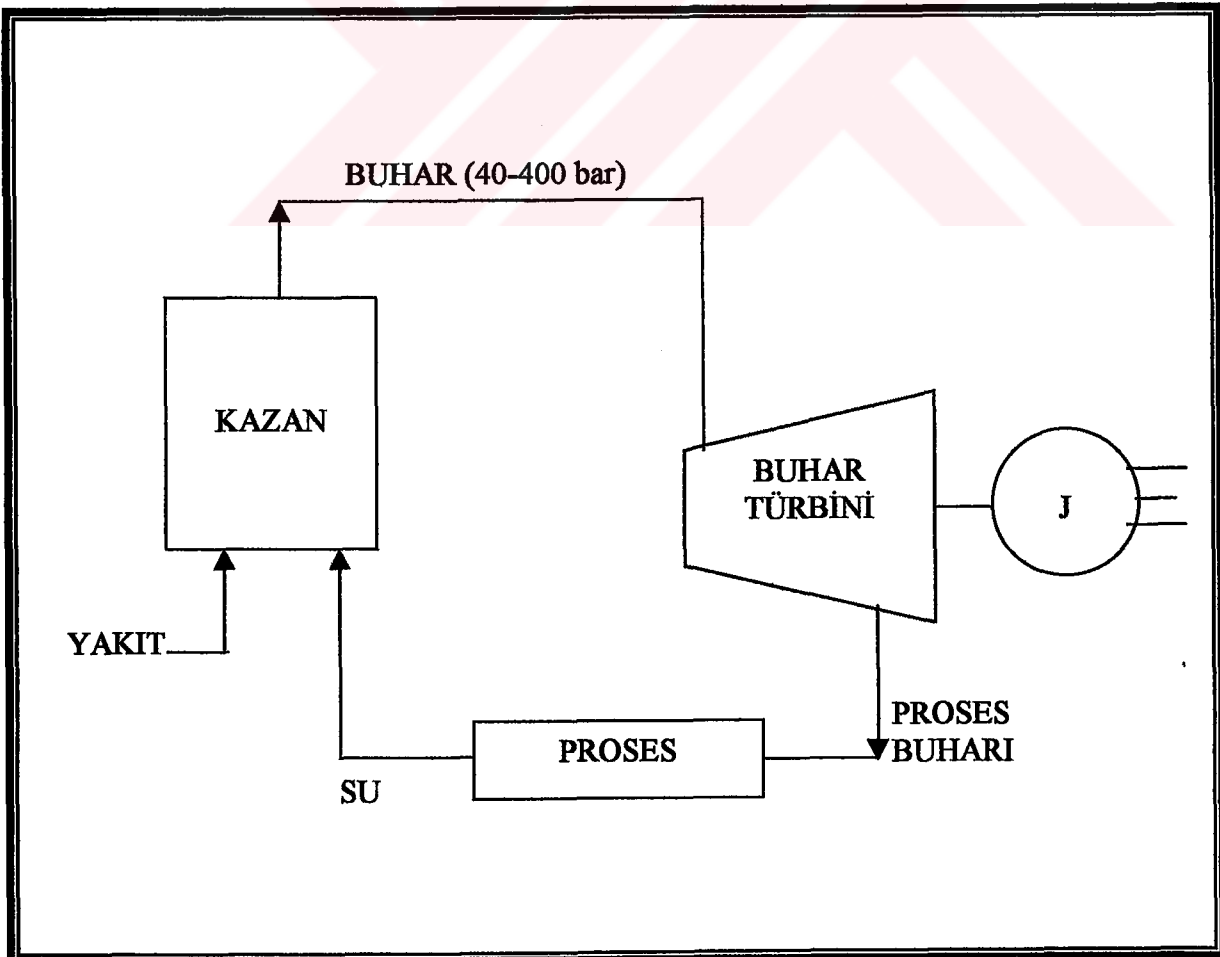
Çalışabilirlik ve ömür, işletme şekline (örnek olarak durma/çalışma sıklığı), buhar kalitesi ve bakıma bağlıdır. Buhar türbinlerinin bakımı için gerekli süre yılda 150 saat kadardır. İlaveten yılda 150 saatlik bir zorunlu duruş beklenmelidir. Böylece toplam çalışabilirlik %95 dolayındadır.

Doğal gaz yakılan buhar kazanlarının çalışabilirliği, kömür veya ağır fuel oil yakılan kazanlarınkinden daha yüksektir. Çünkü kömür veya ağır fuel oil yakıldığında kurum ve SO₂ nedeni ile korozyon oluşur. Buhar türbinlerinin ömrü işletme şekline bağlı olarak 30 yıl veya daha fazladır.

4.4.1 Buhar türbinleri ile kojenerasyon

Buhar türbini esaslı kojenerasyon sistemleri iki kategoriye ayrılabilir.

1. Karşı basınç türbini,
2. Ekstraksiyon/yoğuşma türbini



Şekil 4.12 Karşı basınç türbini bazlı kojenerasyon sistemi

4.4.1.1 Karşı basınç türbini

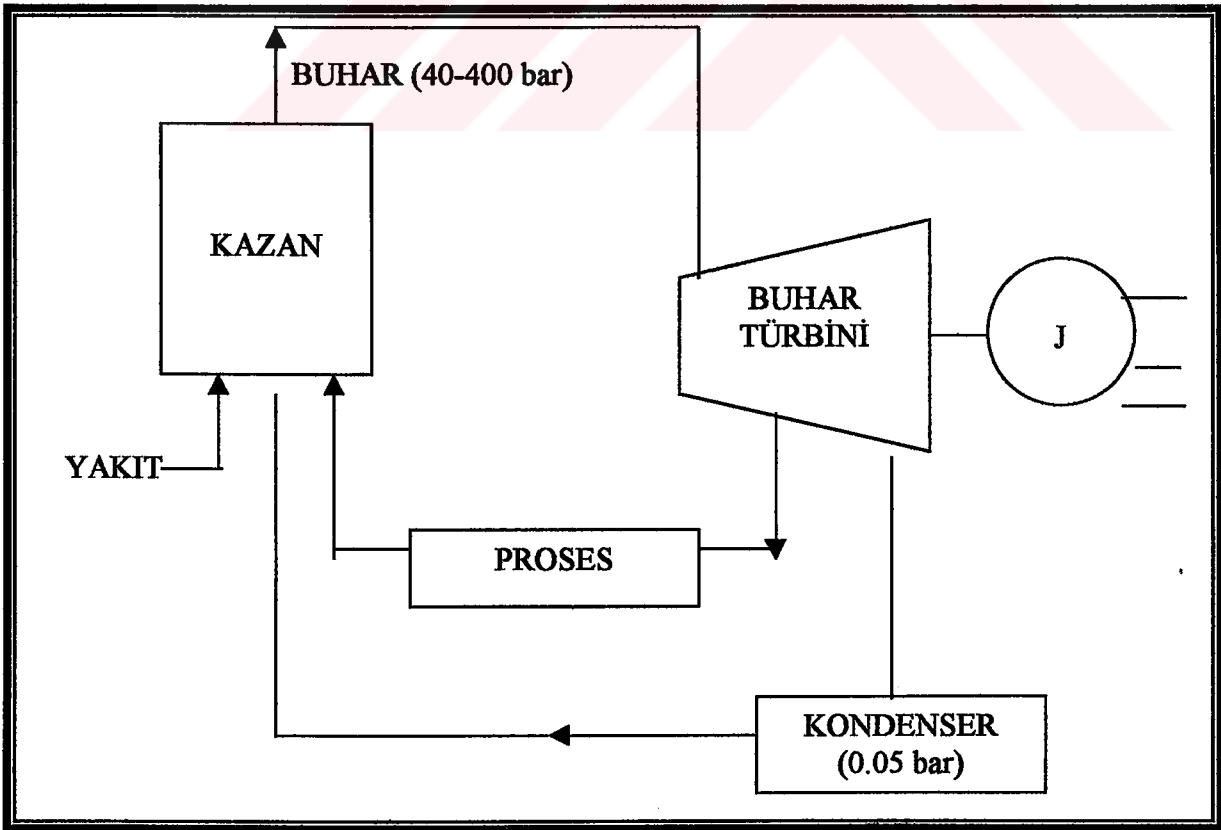
Karşı basınç türbininde buhar, endüstriyel prosesin buhar ihtiyacına bağlı olarak belirli bir basınç düzeyine kadar genişler. Türbinde üretilen mekanik güç elektriğe çevrilirken, kalan buhar proseste kullanılır.

Buhar türbinindeki entalpi düşüşüne doğrudan etkilendiğinden, proses buharının basınç düzeyi tasarımda önemli bir parametredir. Proses için gereken buharın basınç yükseldikçe üretilen elektrik miktarı azalır (Şekil 4.12).

4.4.1.2 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini

Karşı basınçlı türbinde buharın tümü belirli bir basınç düzeyine genişler. Buna karşın ekstraksiyon/yoğuşma türbininde, buharın bir bölümü proses ihtiyaçlarını karşılamak üzere gereken basınç ve sıcaklıkta türbinden alınırken, kalan buhar düşük basınca (örneğin 0.05 bar) genişler ve türbini çevirir (Şekil 4.13).

Kondenser ve düşük basınç ekipmanları nedeniyle ekstraksiyon/yoğuşma türbininin ilk yatırım maliyeti, karşı basınçlı türbine oranla daha yüksektir. Bu nedenle ekstraksiyon/yoğuşma türbinleri yalnızca büyük ölçekli kojenerasyon projelerinde kullanılır.



Şekil 4.13 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini bazlı kojenerasyon sistemi

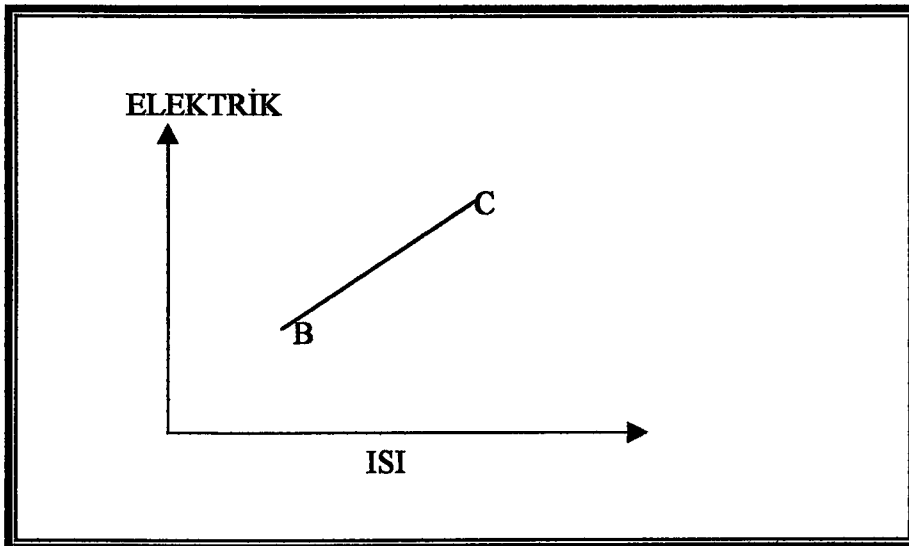
Buhar türbini bazlı kojenerasyon sistemleri sanayideki büyük ölçekli projeler ile bölgesel ısıtma sistemlerine uygundur. Geçmişte endüstriyel kojenerasyon sistemlerinin çoğunda buhar türbinleri kullanılırken, bugünlerde buhar türbini pazar payının çoğunu kaybetmiş bulunmaktadır. Bunun nedeni buhar türbinlerinin, gaz türbinleri ile karşılaştırdığımızda bazı dezavantajlarının olmasıdır.

- Buhar türbinleri daha pahalıdır.
- Buhar türbinlerinin elektrik verimi daha düşüktür.
- Devreye giriş süreleri daha uzundur.
- Buhar türbinlerinin kapladığı alan daha büyüktür.
- Buhar türbininin tasarımı ile ticari kullanımı arasında geçen süre birkaç yıldır.

Karşı basınçlı ve ekstraksiyon/yoğuşma türbinli kojenerasyon sistemleri arasındaki temel fark, bu iki sistemin üretim olasılık kümesi (ÜOK) karşılaştırılınca ortaya çıkar. ÜOK, bir kojenerasyon sisteminin aynı anda elektrik ve ısı üretim olanaklarını gösterir. Başka deyişle ÜOK kojenerasyon sisteminin işletme sınırlarını ortaya koyar.

Karşı Basınçlı Buhar Türbini İle Kojenerasyon

Karşı basınçlı bir türbinde üretilen ısı (proses buharın sıcaklık, basınç ve debisine bağlı olarak) ile elektrik arasında sabit doğrusal bir ilişki vardır. Şekil 4.14’de BC doğrusu bir karşı basınçlı türbinin ÜOK’sini göstermektedir. BC doğrusunun eğimi sistemin teknik yapısına ve buhar koşullarına bağlıdır.



Şekil 4.14 Karşı basınçlı bir türbinin üretim olasılıkları

Elektrik miktarı buharın kütleli debisi değiştirilerek kontrol edilir; güç kütleli debi ile doğrusal orantılı olarak azalır. Karşı basınçlı türbin kullanılarak yapılan kojenerasyonun en önemli dezavantajı, elektrik üretebilmek için ısı yükü gerekmesidir.

Bu nedenle üretim olasılıkları kümesi bir alan değil bir doğrudur.

Ekstraksiyon/Yoğuşma Türbini İle Kojenerasyon

BC doğrusu karşı basınçlı türbinin ÜOK'sı ile çakışır. C noktasında sistem tam yükte bir karşı basınç türbini gibi çalışır. Karşı basınçlı çevrimde ısı talebi düşünce buhar arzı da azalır. Bu nedenle elektrik üretimi de azalır.

Fakat ekstraksiyon/yoğuşma türbininde azalan ısı yüklerinde buhar debisi sabit tutulabilir. Fazla buhar kondenserin alçak basıncına genişler, böylece elektrik üretimi artar. CD doğrusu, buhar debisinin maksimumda tutulması halinde, değişken ısı talebi ile maksimum elektrik üretimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Maksimum elektrik üretimi (D noktası) türbine giren buharın debisinin maksimum olması ve sıfır ısı ekstraksiyonu halinde gerçekleşir. Bu noktada buharın tümü kondenserin alçak basınç düzeyine (yaklaşık 0.05 bar) genişler ve ekstraksiyon /yoğuşma türbini, sadece yoğuşma türbini işlevini görür.



4.4.2 Buhar türbinli sistemlerin ısı geri kazanımı ve çevresel etkileri

Isı Geri Kazanımı

Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri kullanıcının ısı ve elektrik ihtiyaçlarını karşılamak açısından en esnek seçenektir. Karşı basınçlı ve ekstraksiyon türbinleri ile istenen basınçta buhar elde edilebilir.

Çevre Etkileri

Buhar türbinli sistemlerde çevresel sınırlamalar esas olarak su ve gaz emisyonlarına yöneliktir. Gaz emisyonlarına ilişkin kaygılar genel olarak diğer ana makinalara benzer. Katı yakıt kullanma olanağı partikül ve iz elemanlarla ilgili sorunları gündeme getirir. Kömür ve fuel oil yakıtlı sistemlerde SO_x emisyonlarının kontrolü önemli masraflar yaratır.

Yoğuşmalı sistemlerde büyük miktarda ısı düşük sıcaklıkta ortama, soğutma kuleleri ile atmosfere veya nehir, göl, deniz gibi sulara atılır. Isıl kirliliğinin veya su temininin sorun olduğu yerlerde kuru tipi soğutma kulesi gerekebilir.

4.5 Birleşik Çevrim

Birleşik çevrim gaz türbini ve buhar türbininin birlikte kullanılmasıdır. Gaz türbini elektrik ve yüksek sıcaklıkta (400-600⁰ C) egzoz gazı üretir. Egzoz gazlarından, atık ısı kazanında yüksek basınçta (40-100 bar) buhar üretebilir.

Buhar, buhar türbininde kullanılarak elektrik ve yararlı ısı üretilir. Buhar çevrimi karşı basınçlı veya ekstraksiyon/yoğuşma birimi şeklinde olabilir.

Birleşik çevrim sistemlerinde; yakıt çok yüksek verimle değerlendirilir. Çünkü bu sistemler, gaz türbininin avantajları (verilen ısının yüksek sıcaklıkta olması) ile buhar türbininin avantajlarını (atılan ısının düşük sıcaklıkta olması) birleştirir. Birleşik çevrimin en önemli avantajı budur.

Kojenerasyon amacı ile kullanılan birleşik çevrimlerde karşı basınçlı veya ekstraksiyon/yoğuşma tipi buhar türbini kullanılabilir. Her iki tip türbinden de ileride bahsedilecektir.

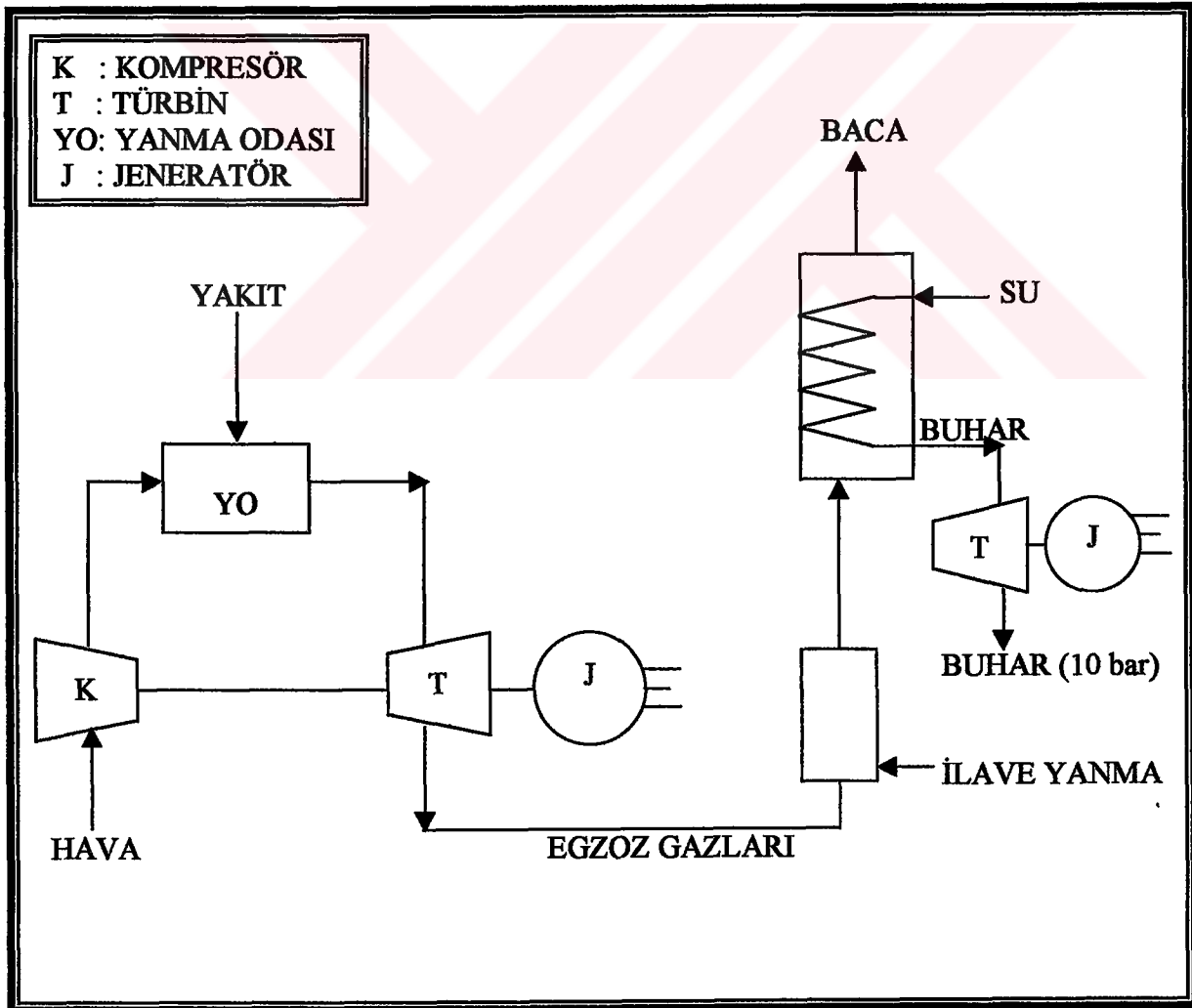
Birleşik çevrim ana elemanlarından (gaz türbini, atık ısı kazanı, buhar türbini) daha önce bahsedildiği için, bu bölümde kojenerasyon için kullanılan birleşik çevrimler kısaca tanıtılacaktır.

4.5.1 Karşı basınçlı bir türbin ile birleşik çevrim

Şekil 4.16'da kojenerasyon için kullanılabilir en basit birleşik çevrim görülmektedir. Bu sistem gaz türbini, atık ısı kazanı, ilave yanma ve karşı basınçlı buhar türbininden oluşmaktadır.

Kuşkusuz ilave yanmasız birleşik çevrim tasarlamak mümkündür ama kojenerasyonda genellikle ilave yanma düşünülmektedir. Çünkü ilave yanmanın bazı avantajları düşünülmektedir.

- Egzoz gazlarının atık ısı kazanına girişi sürekli olarak 750°C civarında tutularak, atık ısı kazanında optimum enerji dönüşüm verimi sağlanabilir.
- Tesisin toplam veriminde bir düşüş olmadan, proses buharının elektrige oranı geniş bir aralıkta değişebilir.

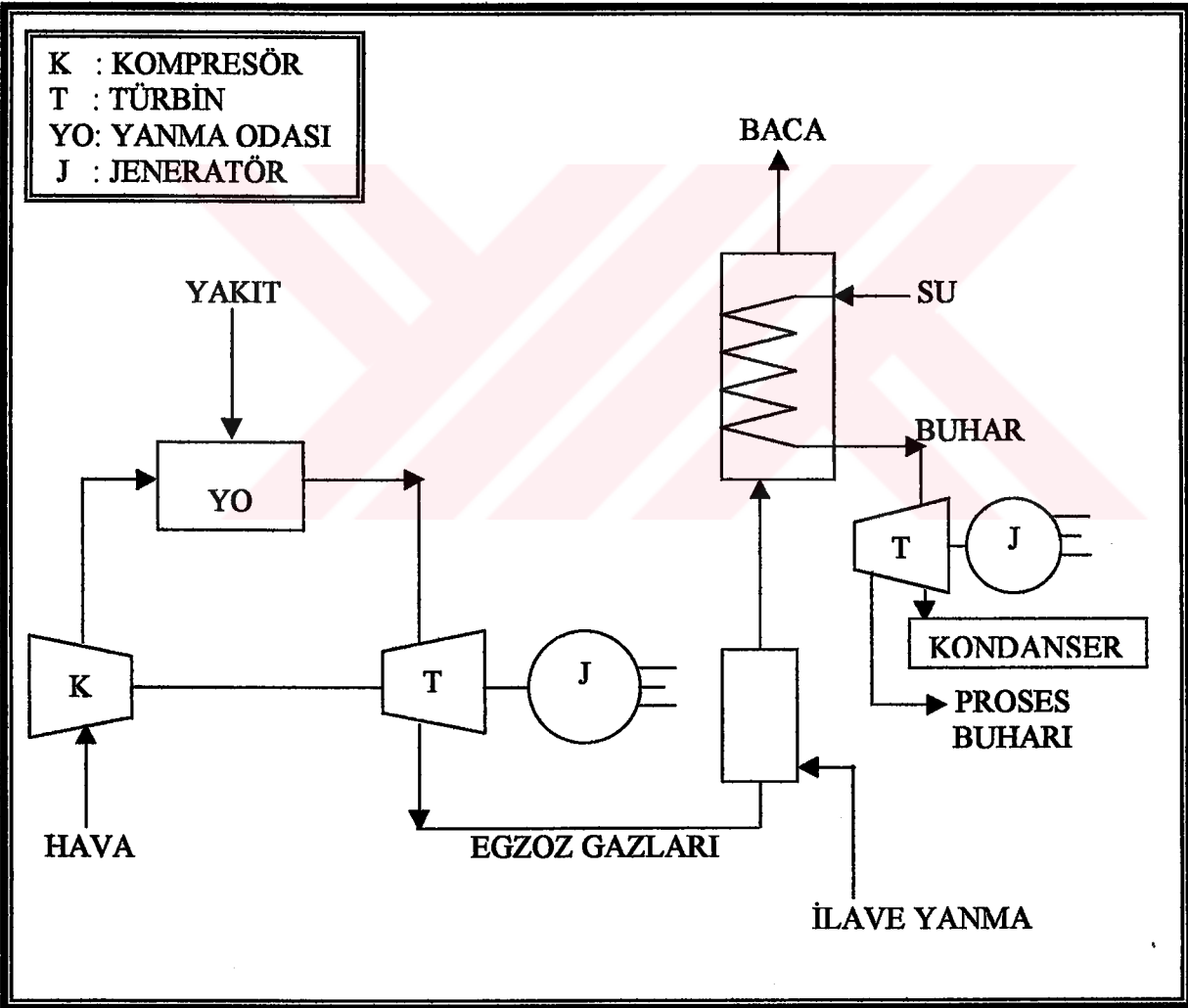


Şekil 4.16 Karşı basınçlı buhar türbinine birleşik çevrim

İlave yanma kullanıldığında kojenerasyon sisteminin ısı/güç oranı daha çok esnek olur. Çok yüksek karşı basınç düzeylerinde türbinde üretilen elektrik çok az olduğundan, birleşik çevrimin pek anlamı olmaz. Yüksek karşı basınçlarda, daha basit ve ucuz gaz türbini+atık ısı kazanından oluşan bir sistem üzerinde durmak daha yararlıdır.

4.5.2 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini ile birleşik çevrim

Ekstraksiyon/yoğuşma türbinleri tasarım ve işletmede büyük bir esneklik sağlar. Türbinin yoğuşma bölümü, proses buharı üretiminin azaltılıp, elektrik üretiminin artırılmasına olanak verir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Ekstraksiyon/yoğuşma türbini ile birleşik çevrim

Uygulama

Kojenerasyon amaçlı birleşik çevrim tesisleri çoğunlukla şu alanlarda kullanılır.

- Örneğin kimya tesisleri, kağıt fabrikaları, gıda sanayiine elektrik ve proses buharı sağlamak üzere endüstriyel kojenerasyon.
- Bölgesel ısıtma

Endüstriyel kojenerasyon tesisleri genellikle 50 MW'ten küçüktür. 5 MW'in altında elektrik kapasitelerinde birleşik çevrim sistemleri teknik olarak mümkün olmakla birlikte, kWe başına yatırım maliyeti yüksek olduğundan ender kullanılırlar. Birleşik çevrimin ısı/güç oranı 0 ile 1.5 arasında değişir. Birleşik çevrim yüksek elektrik verimi nedeniyle, elektrik talebinin yüksek olduğu yerlerde özellikle caziptir.

Karşı basınç türbini ile donatılmış birleşik çevrimde ısı/güç oranı geniş bir aralıkta değişmez. Düşük ısı yüklerinde, ilave yanma azaltılarak buhar türbinine giren buhar miktarı düşürülebilir., bu da elektrik miktarını azaltır.

Doğal olarak ilave yanma azaltılınca, ısı/güç oranı düşer (gaz türbini hala tam kapasitede çalışmaktadır). İlave yanma miktarı arttırılırsa ısı/güç oranı daha da yükselir. Isı/güç oranı ilave yanma ile doğru orantılı değişir.

Isı yükü, ilave yanma ile kontrol edilemeyecek kadar azalınca, gaz türbini yükünün düşürülmesi gerekir. Eğer gaz türbini yükün azaltılmasına paralel olarak, kompresör tarafından emilen hava miktarı azaltılırsa egzoz gazlarının sıcaklığı yaklaşık olarak sabit kalır. Bu durum gaz türbini yükü tam kapasitesinin yaklaşık % 80'ine düşünceye kadar böyle sürebilir. Yük daha da azalırsa egzoz gazlarının sıcaklığı da düşer. İzin verilen minimum altındaki yüklerde (örneğin tam yükün %75'i gibi büyüklüklerde) gaz türbinini durdurmamak gerekir.

4.6 Gaz Türbini-Motor Karşılaştırması

Küçük yükler için enerji üretimi düşünüldüğünde, kullanılacak ana makine olarak, karşımıza iki seçenek çıkmaktadır. Bunlardan birisi, gaz veya sıvı yakıtlı motorlar, diğeri ise gaz türbinleridir. Her iki makinanın da kendilerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Ana başlıklar halinde bu iki makinanın özelliklerini karşılaştırmalı olarak inceleyelim.

4.6.1 Kapasite

Motorlu kojenerasyon üniteleri tek modül olarak 20 kW ile 50 MW arasında olmasına rağmen, gaz türbinleri 1 MW ile 50 MW arasında değişen güç aralıkları için çeşitli firmalar tarafından üretilmektedir.

4.6.2 Verim

Aynı şekilde karşılaştırmalı olarak iki tesisin verimleri ile ilgili veriler Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Kojenerasyon tesislerinin verimi

TESİS	ELEKTRİK VERİMİ	TOPLAM VERİM
Gaz Türbini(Konvansiyonel)	%30	%75
Gaz Türbini(Kombine Çevrim)	%45-50	%85
Gaz Motoru	%41	%85
Dizel Motoru	%44	%80

4.6.3 İlk yatırımın geri ödenmesi

İşletmenin günde 24 saat tam kapasite, yıl boyu çalıştığı durumda tesislerin ilk yatırımı geri ödeme süreleri:

- Gaz türbinli kojenerasyon tesislerinde yaklaşık 3,5 yıl,
- Motorlarda yaklaşık 2 yıldır.

Tesislerin işletme ömürlerinin yaklaşık 10-15 yıl civarında olduğunu düşünürsek tesis, yatırımı işletmenin kaynakları yeterli geliyorsa oldukça karlı bir yatırımdır. Tesisin inşasını takip eden 10 yıl sonunda genel bir bakım yapmak gerekmektedir. Yapılacak bu genel bakım ile tesis enerji üretmeye devam edecektir. Bu bakımın tutarı için üretici firmaların belirttiği miktar, çok global anlamda işletmenin ilk kuruluş maliyetinin yaklaşık 1/3 oranında olacaktır.

4.6.4 Elektrik-Isı üretim miktarları

Daha önceki bölümlerde de değinildiği gibi gaz türbinleri, motorlara göre daha fazla miktarda ve sıcaklıkta ısı üretmektedir. Gaz türbinlerinde üretilen her 1 birimlik elektrik enerjisi için herhangi bir ilave birincil enerji kaynağı kullanılmaksızın 2.5 birim ısı enerjisi üretilmektedir. Motorlarda ise, üretilen her 1 birim elektrik enerjisi için herhangi bir birincil enerji kaynağı kullanılmaksızın 1.25 birim ısı enerjisi üretilmektedir. Türbinde üretilen fazla ısı eğer işletmede kullanılmıyorsa, işletmenin tesis seçimi için sıralamayı şu şekilde yapması uygun olacaktır. Öncelikle motorlu kojenerasyon tesisi. Tabi bu arada şunu unutmamak gerekir ki tesislerin kapasiteleri tek belirleyici değildir. Hem ilk yatırım hem de işletme anındaki ekonomiklik en az performans kadar belirleyicidir.

4.6.5 Yatırım ve işletme maliyetleri

Türkiye’de şu anda satışı yapılmakta olan kojenerasyon tesislerinin yaklaşık ilk yatırım maliyetleri 600-1200 \$/kW civarındadır. Bu rakam tabii olarak günün piyasa koşullarına göre ve özellikle de kurulacak tesisin kapasitesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Buna ek olarak kurulacak tesisin enterkonnekte şebeke ile senkronizasyonu, tesiste üretilen ısının kullanımı için ekipman özellikleri, tesisin işletme bünyesine adaptasyonu için yapılacak yatırımları da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu çerçevede sadece elektrik ile sıcak su ve buharın üretimi aşamasına kadar olan ilk yatırım maliyetleri ana makinalarına göre Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Kojenerasyon tesislerinin ilk yatırım maliyetleri

TESİS	İLK YAT. MALİYETİ (\$/kW)
Buhar Türbini(Karşı Basıncılı)	800
Buhar Türbini(Ara Buhar Almalı)	1200
Gaz Türbini	700
Motor	600
Gaz-Buhar Türbini Kombine	800

Çizelgede verilen değerler yatırımcıya genel anlamda bir fikir vermesi açısından sunulmuştur. Kurulacak tesisin kapasitelerine göre bu değerler ters orantılı olarak değişmektedir.

Bir kojenerasyon tesisinin kuruluşu sırasında karşılaşılan ilk yatırım maliyetlerini, ana başlıklar altında toplarsak:

- Gerekli bina
- Tesisin inşası
- Kojenerasyon modülü
- Isı geri kazanım ekipmanları
- Şebeke ile senkronizasyon sistemi
- Soğutma sistemi (absorpsiyonlu soğutma sistemi)
- Yakıt sistemi (gaz için gerekli başvuru ve hat çekimi)(sıvı yakıt tankı ve ekipmanları)
- Havalandırma sistemi
- Yağlama yağı
- İlk çalıştırma

Aynı şekilde işletme esnasında yapılan başlıca harcamalar şunlardır:

- Yakıt
- Yağlama yağı
- Servis
- Bakım
- Personel

4.7 Kojenerasyon Teknolojilerinin Genel Değerlendirilmesi

Buraya kadar, piyasada ticari olarak mevcut kojenerasyon teknolojileri incelenmiştir. Bu bölümde en önemli kojenerasyon tekniklerinin özet bir genel değerlendirmesi verilecektir. Bu bölümde verilen değerler sadece temsili olup, dikkatle kullanılmasında yarar vardır.

4.7.1 Uygulama alanları

Bir kojenerasyon sisteminin uygulama alanı yaklaşık olarak aşağıdakilere göre belirlenir.

1. Güç aralığı
2. Üretilen ısıнын kalitesi
3. Isı/güç oranı

GÜÇ ARALIĞI

Çizelge 4.5'den elektrik talebinin birkaç MW'ın altında olması halinde, genellikle içten yanmalı motor (gaz veya dizel) ve daha küçük oranda da gaz türbini kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 4.5 Kojenerasyon teknolojilerinin güç aralıkları

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	GÜÇ ARALIĞI (MW)
Gaz motoru	0.015-20
Dizel motoru	0.1-15
Gaz türbini	0.15-100
Karşı basınçlı türbin	0.5-60
Ekstraksiyon/Yoğuşma türbini	10-100
Birleşik çevrim	10-100

Elektrik talebi yaklaşık 3 MW'den yüksek olduğunda genellikle gaz türbini kullanılır. Büyük ölçekli endüstriyel kojenerasyon projelerinde birleşik çevrimler ve bazen de buhar türbinleri kullanılır.

ISI KALİTESİ

Kojenerasyon sistemlerinin bir başka önemli özelliği de üretilen yararlı ısının kalitesidir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Isı kalitesi

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	SICAK SU 100 ⁰ C	BUHAR <5 Bar	BUHAR >5 Bar	DOĞRUDAN ISITMA
Gaz motoru	*	*		*
Dizel motoru	*	*		
Gaz türbini			*	*
Karşı basınçlı türbin		*	*	
Eks./Yoğ. türbini		*	*	
Birleşik çevrim			*	

İçten yanmalı motorlar genellikle, ısı, sıcak su olarak isteniyorsa kullanılır. Fakat endüstriyel kojenerasyonda genellikle ısı, buhar olarak istendiğinden gaz türbinleri veya birleşik çevrimler kullanılır. Gaz türbini veya gaz motoru kullanılması halinde egzoz gazları ısının doğrudan kullanımı şeklinde de değerlendirilebilir (Örneğin , çimento endüstrisindeki kurutma prosesleri).

ISI/GÜÇ ORANI

İçten yanmalı motorlarda ısı/güç oranının düşük olduğu görülmektedir, genellikle 2'den küçüktür (Çizelge 4.7). Ayrıca kojenerasyon amaçlı birleşik çevrimlerin ısı/güç oranı da küçüktür. Eğer gerekli ısı miktarı elektrik talebine oranla yüksek ise (yüksek ısı/güç oranı), genellikle buhar türbinleri veya ilave yanmalı gaz türbinleri kullanılır.

Çizelge 4.7 Isı/Güç oranı

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	ISI/GÜÇ ORANI
Gaz motoru	1.5-2.0
Dizel motoru	1.2-1.4
Gaz türbini	1.5-3.0
Karşı basınçlı türbin	1.0-8.0
Ekstraksiyon/Yoğuşma türbini	2.0-5.0
Birleşik çevrim	1.0-1.6

4.7.2 Performans

Enerji Dengesi

Çizelge 4.8’de kojenerasyon tekniklerinin toplam veriminin genellikle %70-90 arasında olduğu anlaşılmaktadır. Dizel motorları ve birleşik çevrimlerde elektrik verimi yüksek iken; gaz motorları gaz türbinleri ve buhar türbinleri yüksek ısı verime çıkabilir.

Çizelge 4.8 Kojenerasyon sistemi verimleri

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	ELEKTRİK VERİM (%)	ISI VERİM (%)	TOPLAM VERİM (%)
Gaz motoru	25-35	50-60	80-90
Dizel motoru	35-45	40-50	75-80
Gaz türbini	15-35	40-50	70-80
Karşı basınçlı türbin	10-30	40-60	75-85
Eks./Yoğ. türbini	20-40	40-60	70-80
Birleşik çevrim	30-40	40-50	80-90

Çalışabilirlik

Bakım prosedürlerine uyulması halinde, kojenerasyon teknolojilerinin çalışabilirliği yüksektir (>95%). Çizelge 4.9 çeşitli ana makinaların ortalama ömrünü göstermektedir.

Çizelge 4.9 Ana makine ömrü

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	ÖMÜR (YIL)
İçten yanmalı motor	10
Gaz türbini	15
Buhar türbini	30

Pratikte kojenerasyon sistemlerinin ömrünü kısıtlayan ana makinaların kendisi değil, genellikle yardımcı ekipmanlar ile ekonomik kaygılardır.

İşletme Özellikleri

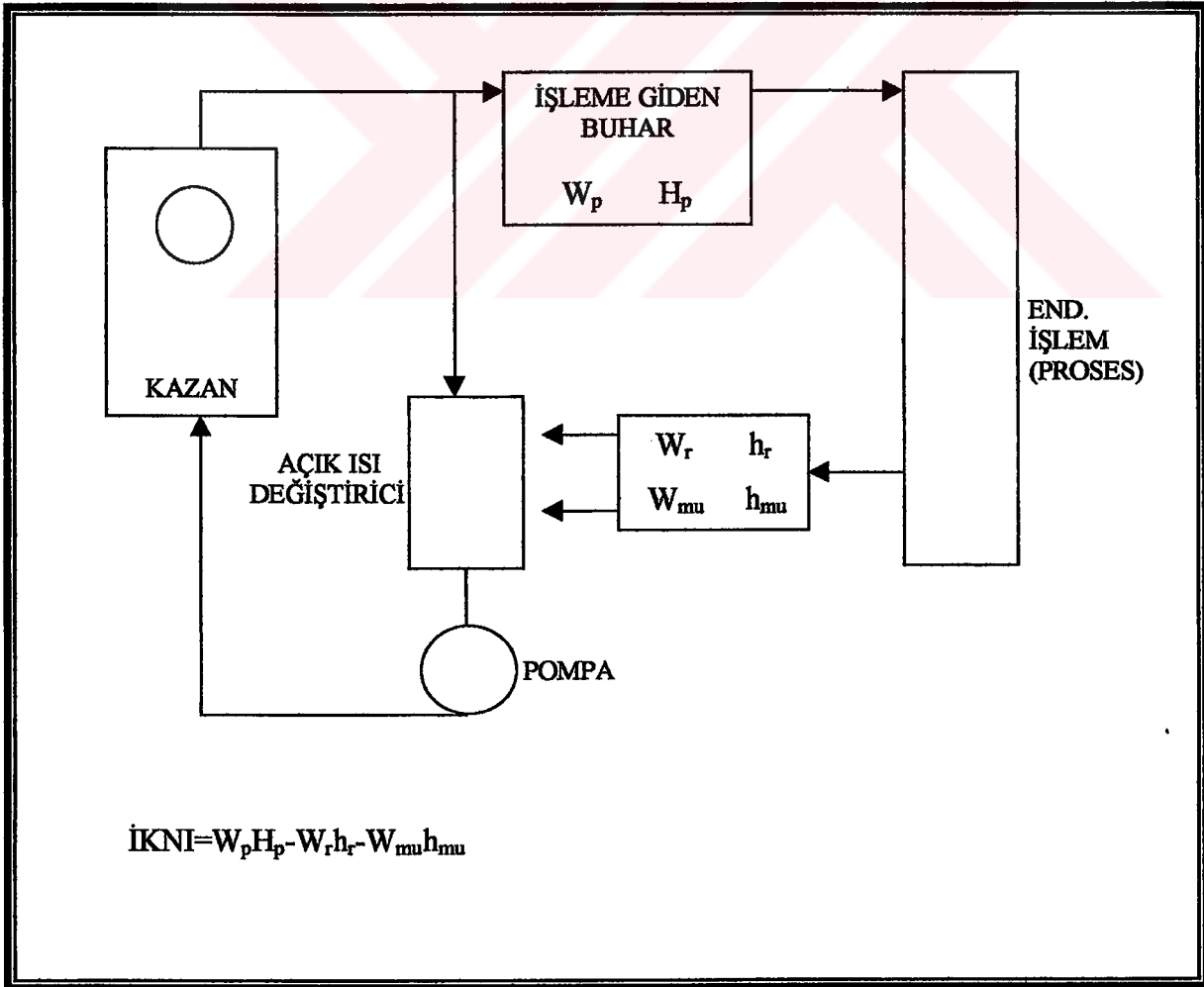
Çizelge 4.10’da çeşitli ana makinaların kısmi yük davranışları ile izin verilen minimum yükler verilmiştir.

Çizelge 4.10 Kısmi yük davranışı ve minimum yük

KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ	KİSMİ YÜK DAVRANIŞI	İZİN VERİLEN MİNİMUM YÜK
Gaz motoru	Orta	%50
Dizel motoru	İyi	%50
Gaz türbini	Kötü	%75
Buhar türbini	İyi	%20

4.8 İşlemden Kullanılan Net Isı Miktarı ve Elektrik Dönüşen Yakıt Miktarı

Alternatif kojenerasyon santrallerinin karşılaştırılmasında ve değerlendirilmesindeki kavramlardan birisi “İşlemden Kullanılan Net Isı” (İKNI), diğeri ise “Elektrik Dönüşen Yakıt” (EDY)’dir. Bunlar aynı zamanda ekonomik modelde kullanılacak veriler için temel oluşturmaktadır.

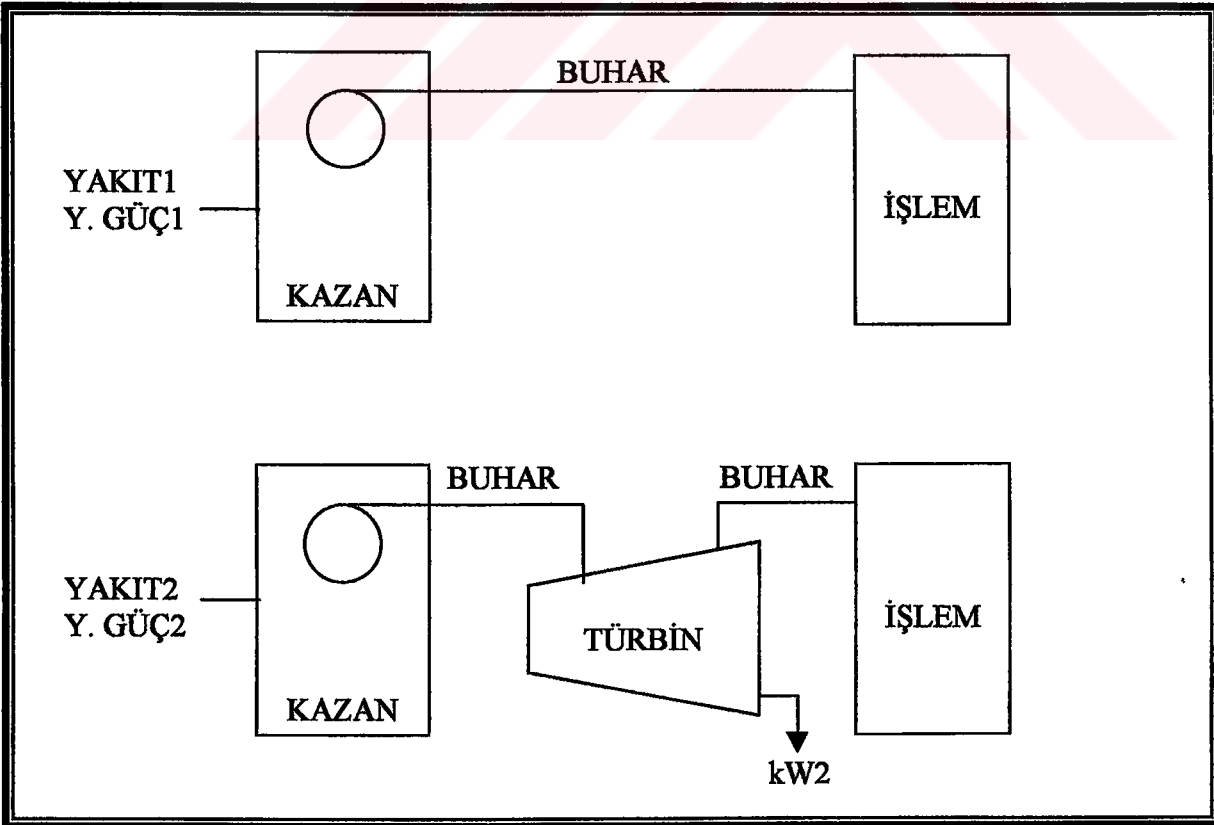


Şekil 4.18 İşlemden kullanılan net ısı (İKNI)

“İşlemede Kullanılan Net Isı”, Şekil 18’de gösterildiği gibi, kojenerasyon sistemi tarafından işleme gönderilen ısı enerjisi ile işlemden dönen ısı enerjisi arasındaki fark olarak tanımlanır. Ele alınan tüm sistemler için sabit bir İKNI’nın korunması gereklidir (Kaypmaz, 1997).

“Elektriğe Dönüştürülen Yakıt” (EDY) ise kojenerasyon sisteminin güç üretimindeki etkinliğinin bir göstergesi olup, sadece ısı üreten bir sistemin gerek duyduğu yakıt miktarı ile kojenerasyon sisteminin kullandığı yakıt miktarı arasındaki farkın kojenerasyon sistemi tarafından üretilen toplam güç farkına oranı olarak tanımlanmıştır. Basitçe EDY, yakıt farkının, güç farkına oranıdır. Şekil 19’da, ikisi de aynı işlem buharını veren iki ısı çevrimi verilmiştir. Burada buhar kazanlı normal sistem, sadece işlem buharını üretmekte olup, sistemin bir de şebekeden elektrik enerjisi alınarak sağlanan iç ihtiyaç gereksinimi (Yardımcı Güç1) söz konusudur. Kojenerasyon çevriminde ise hem kW2 gücü, hem de işlem buharı üretilmekte, aynı zamanda bir ihtiyaç gücüne de (Yardımcı Güç2) gereksinim duyulmaktadır. Buna göre EDY şöyle tanımlanabilir;

$$EDY = \frac{YAKIT2 - YAKIT1}{kW2 - (YARDIMCIGÜÇ2 - YARDIMCIGÜÇ1)} \quad (4.1)$$



Şekil 4.19 Elektrik dönüşen yakıt (EDY)

Sadece elektrik enerjisi üreten bir santral için (endüstriyel ya da şebeke santrali) EDY ve net ısı oranı (verim) aynı anlama gelen terimler olup, genellikle kcal/kWh veya kJ/kWh olarak ifade edilirler. Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde EDY, 4200 ile 10500 kJ/kWh arasında değişmektedir. Kondenserli buhar türbini çevrimi kullanan termik santralde ise bu oran, 10000 ile 13200 kJ/kWh arasındadır. Görüldüğü gibi, kojenerasyon kullanımı ile yakıttan büyük bir ölçüde tasarruf sağlanmaktadır.



5. KOJENERASYON SİSTEMLERİNDE SİSTEM ve KAPASİTE SEÇİMİ

Bu sistemlerin seçimi başlıca şu kriterlere göre yapılır.

- İşletmenin elektrik-ısı tüketim yapısı ve ısı-elektrik tüketim dengesi
- İşletmenin yıllık çalışma süresi
- İşletmenin enerji ihtiyacı seviyesi
- Birincil enerji kaynaklarının temin edilebilirliği ve ekonomik uygulanabilirlikleri

Bunlardan en önemlisi ilk iki kriterdir. Sağlıklı bir santral seçimi için mümkünse yıllık, yoksa aylık ya da haftalık bazda tüketim değerleri tespiti yapılmalı ve bunlar grafiklere dökülmelidir.

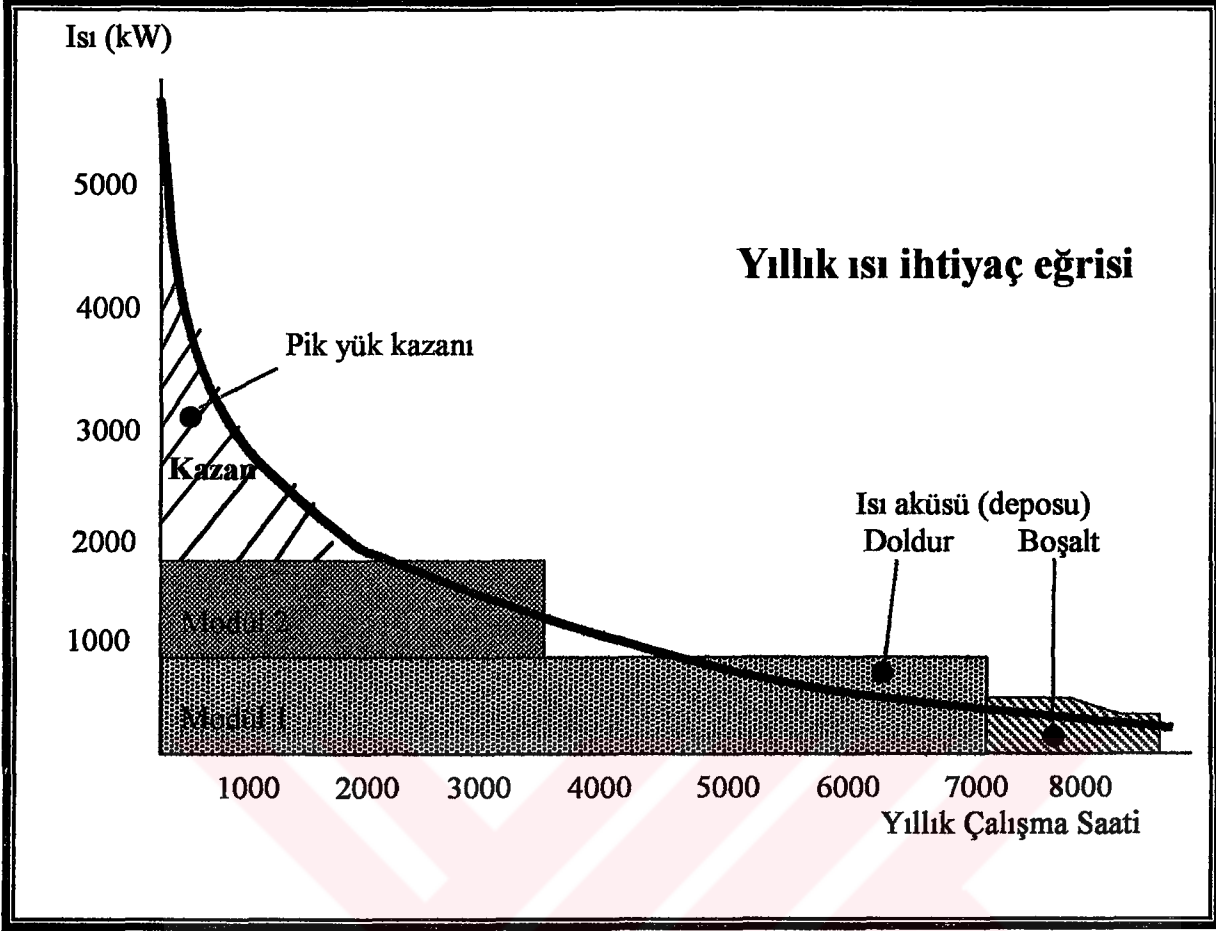
Tesisin kurulacağı işletmede elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaç karakteristiklerinin bilinmesi kojenerasyon tesisinde güç, seçilen motor tipi ve sıcaklık seviyesi gibi planlama kriterlerinin belirlenmesini sağlar (Siemens, 1999).

5.1 Güç Kapasitesinin Belirlenmesi

Elektrik ve termik güçlerin belirlenmesinde ve hatta bu güçlerin kullanım periyotlarına göre kademelendirilip ilerdeki kapasite artırımlarını olanaklı hale getirebilmesinde tesisin yıllık maksimum çalışma saatinin dikkate alınması gereklidir. Yani kojenerasyon sisteminin kapasitesi öyle seçilmelidir ki tesis atıl kalmamalı ve yıllık çalışma zamanı 5000 saatin altına inmemelidir.

Sistem seçimi ile santral büyüklüğü ve tipini belirledikten sonra santralin kaç modülden oluşacağını tespit etmek gerekmektedir. Burada ilk kısıtlama piyasada mevcut üretilmekte olan modül büyüklüğüdür. Bu problem aşılabildiği zaman ilke olarak en az iki modülden oluşan bir santral yapmak enerji temin güvencesi açısından her zaman tercih edilmelidir. İkinci önemli kriter ise mümkün olan en yüksek verimde çalışabilmek amacıyla yıllık tüketim eğrisini değerlendirmektir. Modül sayısını bu eğriye oturttuğumuzda Şekil 5.1'deki gibi bir tabloyla karşılaşıyoruz.

Eğriden görüleceği üzere elektrik talebi yaklaşık 1.4 MW olarak tespit edilmiş santral ısı eğrisine çakıştırılmış ve 1. modül yılın büyük bölümünde (7000 saat) diğerinin ise 3000 saat tam yükte çalışması durumunda en yüksek verimle santralin çalışabileceği tespit edilmiştir. Buna göre yapılacak fizibilite çalışmaları uygun sonuç verirse santral yatırımı yapılabilir.



Şekil 5.1 Kapasite belirleme

Bu eğri vasıtasıyla tüm ısıtma kapasitesinin hangi oranlarda kaç saat kullanıldığı bellidir. Böylece kojenerasyon sistemlerinde ortaya çıkan atık ısının yıllık kullanım süresi belirlenerek gerekirse tüm kapasiteyi parçalara bölmek ve hiç yoksa pik yükler için bir ısıtma kazanı temin etmek mümkün olur.

Bir diğer önemli değerlendirme ise eğer gün içinde elektrik ve ısı yükünde önemli değişiklikler oluyorsa modül sayısının buna göre tespitidir. Bu gibi durumlarda santral modül sayıları genellikle artar, modül kapasiteleri daha düşük seçilir.

Bunlardan başka aşağıdaki sınır şartlarına dikkat edilmelidir.

- Ekonomik işletme şartları bakımından kapasitenin bölümlere ayrılması durumunda her ünite eşit büyüklükte seçilmelidir.
- Ünite sayısının az olması daha az yatırım maliyeti demektir.
- Her bir ünitenin yıllık çalışma zamanının yüksek olması tüm tesisin rantabilitesini olumlu etkiler.

- Önce de açıklandığı gibi kojenerasyon sisteminin gücünü belirlerken ısı ihtiyacı dikkate alındığı durumlarda pik yüklerin giderilmesinde ısı depoları dikkate alınmalıdır.

Kojenerasyon sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde önemli noktalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Kojenerasyon gücü öyle belirlenmelidir ki tesisin yüklenme durumu mümkün olduğunca sabit ve çalışma zamanı uzun olsun. Çünkü tesisin ekonomikliği yatırımın geri dönme süresinin kısalığına yani mümkün olduğunca atıl kalmamasına bağlıdır.
- Günlük çalışma periyodu içerisinde ısıtma ihtiyacının azalması nedeni ile sistemden atık ısı çekişindeki azalmalar motorların çalışmasını etkilememesi için, özellikle 1-3 saatlik zaman aralıklarında ısı deposu devreye girerek atık ısının tam olarak kullanımını sağlamalıdır.
- Isıtma ihtiyacındaki pik yükler için ısı-güç sisteminden bağımsız olarak küçük kazanlar planlanmalıdır.

Kojenerasyon tesisinin planlanmasına etki eden aşağıdaki faktörler ayrıca dikkate alınmalı ve değerlendirmelidir.

- Elektrik enerjisi ihtiyacındaki pik yüklerin de kojenerasyon sistemi ile karşılanmasının ekonomik olup olmadığı,
- İşletmeye hazır olma durumunu yükseltmek için tesisin yedekleme şartlarının var olup olmadığı,
- Elektrik enerjisi ve ısı ihtiyacının değişkenliği ve bu salınımları karşılayabilmek için özel tesislere örneğin buharlı ısı deposu veya kompanzasyon tesisine ihtiyaç olup olmadığı,
- Özel işletme şartları tesis planlamasında dikkate alınmalıdır. Örnek olarak, tesisin şebeke cereyanının kesilmesinde acil durum jeneratörü olarak çalışıp çalışmayacağı gibi.

5.2 Elektrik/Isı Oranı

Optimum bir birleşik ısı-güç sistemi tasarımında kullanılan temel kriterlerden bir tanesi ısı-güç oranıdır. Endüstriyel tesisin ve birleşik ısı-güç sisteminin ısı-güç oranları eşit veya birbirine çok yakın olmalıdır.

İlk olarak yıllık ortalama elektrik tüketimine bakılır ve atıl kapasite yaratmayacak şekilde bu tüketimin az altında kalacak bir kapasite seçilir. Santralin elektrik kapasitesi belirlendikten sonra ısı tüketim verilerine bakılır.

Genellikle elektrik enerjisini belirli oranlarda kalması yüksek verim elde edilmesini sağlayacaktır. Elektrik/ısı oranı (enerji birimi ile) 1/5-1/3 arasında kaldığı sürece uygun verim yüzdeleri elde edilmektedir. Ancak günümüzde gaz motorlu sistemlerde bu durum 1/1'e kadar ayarlanabilmektedir.

5.3 Sıcaklık Seviyesinin Belirlenmesi

Birleşik ısı-güç üretim sisteminin elektrik ve ısı gücünün belirlenmesinden sonra mevcut gereksinimlere uygun olarak, ısı ihtiyacında kullanılmak üzere sıcaklık seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Sıcaklığın yüksek ya da düşük olması kararlılık hesabından daha ziyade, seçilmesi gereken santral tipini veya atık ısı kazanı geri kazanım sisteminin tasarımında büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak, düşük ısıya ihtiyaç duyulan tesislerde, (örneğin 60-100⁰ C sıcaklıklar için) kondenserli sistem, daha yüksek sıcaklıklar için (örnek olarak 100-200⁰ C) karşı basınçlı sistem, daha da yüksek sıcaklıklar için (200⁰ C'den büyük değerler için) gaz türbinli sistem kullanılması uygun olacaktır (Avcı, 1998).

Bir birleşik ısı-güç sistemi gaz modülünde ortaya çıkan sıcaklık seviyeleri şu şekildedir.

- Egzoz gazı makineyi 400-550⁰ C sıcaklıkta terk eder.
- Çeşitli egzoz kaskatları ile sıcaklık seviyesi 200⁰ C sıcaklıktaki proses buharına dönüşebilir.
- Eğer egzoz gazı eşanjörü ısıtma çevrimine yönelik çalıştırılıyorsa eşanjörün su tarafı 90-130⁰ C arasındaki sıcaklık seviyesine getirilebilir.
- Kullanılabilir soğutma suyu sıcaklık seviyesi normal soğutulan motorlarda 75-90⁰ C kızgın soğutulan motorlarda 120⁰ C'dir.
- Yağ soğutma suyu eşanjörü su devresinde 60-75⁰ C değerinde bir sıcaklık elde edilmesi mümkündür.
- Turbo şarjlı sistemde gaz-hava karışımının soğutulmasında su tarafında 20-40⁰ C'lik sıcaklık ortaya çıkar. Bu sıcaklık seviyesi sadece alçak sıcaklıkta çalışan ısıtma sistemlerinde kullanılabilir.

Endüstriyel proseslerde kullanılan sıcaklık ve buhar basıncı değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Endüstriyel proseslerde kullanılan sıcaklık ve buhar basıncı değerleri

ABSOLUT BASINÇ (bar)	SICAKLIK ($^{\circ}$ C)	KULLANIM ALANI
0.6	86	Isıtma
1	100	Malt
2.5	128	Kaynatma
3.6	140	Kağıt
5	152	Tekstil, Maya
10	180	Sellulöz
19,40,80	210,250,295	Petrol Ürünleri
	>1000	Cam Ergitme

Bu kadar çeşitli motorlardaki ısı kaynaklarından elde edilen ısılar ancak bu kaynakları birbirine bağlayan faydalı ısı proses zinciri ile kullanılabilir hale gelirler. Daha sonra aşağıdaki imkanlar ortaya çıkar.

- Motor tipinin seçimi ve büyüklüğünün belirlenmesi ile ısı kaynaklarından devamlı hizmete hazır olan sıcaklık seviyeleri tanımlanmış olur.
- Motordaki ısı kaynaklarının birbirine bağlanması ile her bir ısı kaynağının sıcaklık seviyeleri tanımlanmış olur.
- Isıtma sisteminde müsaade edilen gidiş ve geliş sıcaklık dağılımı, eşanjörlerin büyüklüğünü ve su debisini belirler.
- Çeşitli sıcaklık seviyelerindeki ısı çevrimleri ısı bağlantılarının çeşitli çevrimlere ayrılmasını gerekli kılar.
- Eğer ısıtma sistemi için gerekli sıcaklık seviyesi motor soğutma çevrimi ile elde edilemiyorsa sisteme bağlanan bir kazan ile sıcaklık seviyesi yukarı çekilebilir.
- Atık ısının dolaylı kullanımında, örneğin absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde istenilen sıcaklık seviyesine dikkat edilmeli ve dönüş suyu mümkün olduğunca yüksek sıcaklıkta tutulmalıdır.
- Atık ısının kullanılmadığı durumlarda motorun çalışmasını kesintiye uğratmamak için acil soğutma eşanjörleri veya soğutma kuleleri ile ısı atılmalıdır.

Sıcaklık seviyesinin belirlenmesinde amaç sistemden mümkün olduğunca fazla atık ısı çekip faydalı şekilde kullanmak, motorun uzun çalışabilirliğini sağlamak ve atık ısının kullanılmadan atılma zorunluluğunu en aza indirmektir.

5.4 Ek Yatırım Tutarları

Birleşik ısı-güç sistemi tesisi için gerekli ek yatırım tutarı ve elde edilecek enerji tasarrufunun parasal tutarı arasındaki ilişki yatırım kararına tesir eden önemli bir etkidir. Ek yatırım tutarı hesaplanırken su tasfiye cihazları, inşai işler, proje ve müşavirlik işleri ile ek yakıt stoğu unutulmamalıdır. Kojenerasyon sisteminin gerektireceği ek su, bakım, sigorta ve işçilik gibi işletme giderleri de göz önünde tutulmalıdır. Genel bir kural olarak tesisin enerji giderlerinin toplam maliyet giderleri içinde en az %10'luk bir payı olmalıdır. Oranın büyümesi pek iyi değildir.

5.5 Sistemin Güvenilirliği ve Sürekliliği

Birleşik ısı-güç üretiminin güvenilirliği ve sürekliliği kararın diğer bir önemli boyutudur. Herhangi bir arıza halinde şebekeden (veya yedek jeneratörlerden) elektrik temin edilmesi gerekebileceği gibi, elektrik üretiminden dolayı gerekecek ek yakıtın (fuel oil, kömür) temininde bir problem olmamalıdır.

Donanım arızalarından kaynaklanacak buhar ve güç kesintileri, endüstriyel üretim kayıplarına yol açabileceği gibi, bazı işletmelerde bu kesintiler, ürün katılaşması nedeniyle, tesiste donanımlara zarar verebilir. Kesintilerin fazla olduğu durumlarda, buhar ve elektrik enerjisi için bir yedek sistem tasarlanılarak önlem alınır. Bu sistem aşağıdaki gibi olabilir:

- Sistem kapasitesini ikiye bölüp, eşit güçte iki birleşik ısı-güç sistemi kurulması,
- Yedek bir kazanda buhar üretilmesi, elektriğin ise şebekeden satın alınması,

Birinci seçenek, sistem boyutu ve maliyeti arasındaki ilişki, yani yarı güçte iki gaz türbinli sistemin maliyetinden %15 daha fazla olması nedeniyle tercih edilmez. Bu nedenle ikinci seçenek daha fazla kullanılmaktadır.

Kojenerasyon sisteminin gerçekleşmesinin doğru olup olmayacağına ve gerçekleştirildiği takdirde, bunun kapasitesinin ve donanımının ne olacağına, yukarıda anlatılan tüm kriterler göz önünde bulundurularak karar verilmelidir. Böylece optimum ve ekonomik çalışma sağlanmış olunur.

6. ÜLKEMİZDE ve DÜNYADA KOJENERASYON

6.1 Ülkemizden Kojenerasyon Örnekleri

Simko-Kartal Kojenerasyon Tesisi :

Simko Kartal fabrikasında kurulan kojenerasyon (Birleşik Isı-Güç sistemi) prensibi ile çalışan enerji santrali temel olarak 550 kW gücünde doğal gaz motoruna akuple 0.4kV/527 kW'lık çıkık kutuplu fırçasız uyartımlı senkron generatöre haiz iki adet üniteden oluşmaktadır. Sistem, kapasite olarak 2x527 kW elektrik gücü üretecek olup AKTAŞ dağıtım şebekesi ile paralel çalışacak, fabrikanın toplam elektrik enerjisi gereksinimini akşam 17.30'dan sabah 08.00'e kadar tamamen, gündüz 08.00'dan 17.30'a kadar da %40 oranında karşılayacaktır. Üretilen ısı ise kış aylarında fabrika ısı ihtiyacının %30'unu karşılayacaktır; yaz aylarında ise boyahane de değerlendirilecektir.

Kojenerasyon tesisi günde 24 saat kesintisiz olarak ve %100 kapasiteyle çalışacak şekilde planlanmıştır. Yani ünitelerden birinin ya da ikisinin birden çalışmaması (bakım çalışmaları dışında) istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle sistemde otomatik kontrol uygulanmakta ve bu kontrolün de sürekli gözetim halinde tutulması gerekmektedir.

Simko Kartal fabrikası, AKTAŞ dağıtım şebekesi 34,5kV TM 7560 hattından beslenmektedir. AKTAŞ ile fabrika arasındaki enerji alış-verişi ölçümü kilitli ve mühürlü AKTAŞ TM 7270 satış merkezinde gerçekleştirilmektedir.

Kojenerasyon sisteminde kullanılan doğal gaz motorları ve generatörlerin özellikleri aşağıdaki gibidir.

Doğal Gaz Motorları:

Tesiste kullanılan doğal gaz motorları temiz yanma dolayısıyla uzun ömürlü olup, baca gazındaki düşük kükürt ve amorf karbon dolayısıyla ile de çevre temizliği yönünden olumlu özelliklere sahiptir.

Motor Özellikleri:

Marka	: MWM-Deutz
Tip	: TBG 620 V8
Silindir adedi	: 8
Max. elektriksel güç	: 530 kW
Max. ısı gücü	: 765 kW

Yakıt alt ısı değeri	: 8230 kcal/m ³
Yakıt tüketimi	: 100% yükte 150 m ³ /h
	: 75% yükte 116 m ³ /h

Birleşik ısı-güç sistemlerinde atık ısı motor gövdesi, yağ soğutma grubu ve egzoz gazında oluşmaktadır. Atık ısının sistemden uzaklaştırıldığı eşanjörler, sıcak su sistemine bağlandığı takdirde bu ısıların kullanılması mümkün olmaktadır.

Generatörler:

Fırçasız, kendinden uyartım ve regüleli, ada ve paralel çalışmaya uygun, elektronik gerilim ve Cosφ regülatörlü ve gaz motoru ile elastik kuplajlıdır.

Generatör Özellikleri:

Marka	: SIEMENS
Tip	: 1FC8409-4GB42-Z
Nominal Güç	: 659 kVA
Cosφ	: 0.9
Nominal Gerilim	: 400/231 V, 50 Hz
Nominal Akım	: 953 A
Nominal Devir	: 1500 d/dk
İzalsasyon	: IP23
İzalsasyon sınıfı	: F

Yalova Elyaf ve İplik Sanayii A.Ş.:

Akrilik elyaf ve ip üretiminde Türkiye'nin iki kuruluşundan biri olan Yalova Elyaf ve İplik Sanayii A.Ş., enerji giderlerinde tasarruf sağlamak ve enerji temin güvencesini artırmak amacı ile, tesisin elektrik enerjisi ve proses buharı ihtiyaçlarını bir arada karşılayacak bir gaz türbini santralının yatırım etütleri ve projelendirilmesi 1990 yılı ortalarında başlayarak 1991 yılının ilk yarısında bu çalışmayı tamamlamıştır ve o günden bu yana gayet muntazam bir şekilde işletme devam etmektedir.

Yapılan ayrıntılı etütlerde öncelikle santralın, Yalova Elyaf Fabrikası'nın mevcut durum ve yakın gelecek enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde boyutlandırılması sağlanarak, santrali oluşturan başlıca ünitelerde, gaz türbinleri, atık ısı kazanları, kumanda kontrol

merkezi, orta gerilim şalt sistemi ve güç trafolarında aranılması gereken teknik özellikler belirlendi.

Yalova Elyaf ısı-güç santralının, santralin besleyeceği üretim tesisinin genel yapısı, mevcut ve yakın gelecek elektrik enerjisi ve proses buharı gereksinimleri göz önüne alınarak, ilk aşamada iki üniteden, orta vadede bunlara üçüncü ünitenin eklenerek üç üniteden oluşturulması düşünülmüştür.

Santral ana hatları ile, iki adet gaz türbini, bunların egzoz gazlarıyla beslenecek iki adet ilave ateşlemesiz duman borulu atık ısı kazanı ve ekonomizatör, santralin TEK şebekesi ve mevcut üretim tesisi ile bağlantısını sağlayacak şalt tesisi ve santral kumanda kontrol merkezinden oluşmaktadır. Sistemde yer alan gaz türbini ve atık ısı kazanlarının termik özellikleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Tüten, 1996).

Gaz Türbinleri:

Yapımcı	: EGT
Modeli	: Typhoon
Tipi	: Tek şaft, endüstriyel ağır hizmet
ISO koşullarında nominal güç	: 4,119 kW
15 ⁰ saha koşullarında net güç	: 3,672 kW
Kompresör tipi ve kademe sayısı	: Aksiyal, 10
Sıkıştırma oranı	: 12.8:1
Yanma hücreleri	: 6 adet, şafta simetrik yay
Türbin şaft hızı	: 16,570 rpm
Türbin tipi ve kademe adedi	: Aksiyal, 2
ISO koşullarında termik verim	: %30,50
Egzoz gazı debisi	: 17,08 kg/s
Egzoz gazı sıcaklığı	: 498 ⁰ C
Atık ısı kazanları:	
Tipi	: Duman borulu ateşlemesiz
İşletme basıncı	: 16 bar
Eko. girişi besi suyu sıcaklığı	: 105 ⁰ C
Eko. çıkışı gaz sıcaklığı	: 170 ⁰ C
Termik efektif kapasite	: 6,660 kW

Buna göre santralin iki üniteden oluşan ilk aşama toplam kapasitesi, 7524 kW güç ve 20t/h 16 bar, doymuş buhar üretimini sağlayacak boyutta olmaktadır.

Yalova Elyaf, mevcut durumda elektrik enerjisini 34,5 kV'lık TEK şebekesinden temin etmektedir. Santralda da, 11 kV'ye yükseltilerek TEK şebekesi ile 34,5 kV'luk ana barada paralele geçilerek, fabrika buradan TEK'e paralel olarak veya yalnız santral tarafından TEK'ten bağımsız bir şekilde beslenmektedir. TEK şebekesi ile paralel çalışma durumu ve istenildiğinde TEK'e enerji aktarımı göz önüne alınarak, 34,5 kV'lik şalt tesisinde bulunan sayaç grubu enerji alım ve satımına imkan tanıyacak şekilde çift taraflı olarak tesis edilmiştir.

Atık ısı kazanlarında, ilave ateşleme yakıt kullanmaksızın, yahut türbin egzoz gazları ile üretilen buhar, fabrikanın mevcut kazan dairesinde buhar kollektörüne verilerek, proses, mevcut buhar şebekesinden beslenmektedir.

Ekonomizatör çıkışında 170⁰ C olan egzoz gazı sıcaklığı, baca içinde 165⁰ C'ye düşmektedir. Baca içine yerleştirilecek ilave bir ısı eşanjörü ile baca gazı sıcaklığının 100-120⁰ C düzeyine düşürülerek sıcak su üretimi ve bir absorpsiyon soğutucu vasıtası ile soğutma yapılması da ayrıca incelenmiş, ileride bu şekilde santral toplam çevrim veriminin artırılmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Santral kumanda kontrol merkezi, aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır.

- Gaz türbinleri için müstakil mikroişlemci kontrollü kumanda panoları
- Generatör için kontrol ve koruma panoları
- Türbin ve generatör yatakları vibrasyon kontrol modülü
- Türbin-generatör grupları motor kontrol merkezleri
- Türbin kontrol panoları
- Generatör kumanda panosu
- Türbin-generatör gruplarının birbirleri ve TEK şebekesiyle paralel çalışmalarını sağlayan otomatik senkronizasyon modülü
- Fabrika yük talebinin, türbin-generatör grupları tarafından eşit olarak üstlenilmesini sağlayan otomatik yük paylaşım modülü
- 24 V doğru akım emergency güç birimi ve akü grubu
- Atık ısı kazanları ve gaz klapeleri kumanda panosu
- Santral üretim tüketim değerlerinin düzenli kayıt edilmesi, değerlendirilmesini ve raporlanmasını sağlayan raporlama birimi.

Denizli Organize Sanayi Bölgesi 37 MW Kurulu Gücündeki 6 No Ağır Yakıtlı Kojenerasyon Santrali:

Muhtemel elektrik kesintilerinde bölge bünyesindeki tüketici fabrikaların üretimini aksatmamak, kaliteli ve sürekli elektriği kojenerasyon güç sistemleri ile şebekeden çok daha ucuza üretmek gayesiyle hareket eden organize bölgelere Denizli Organize Sanayi Bölgesi de katılmıştır. Bu tesis için yürütülen çalışmalarda, yakıt-teknoloji kombinasyonları bölge bünyesindeki tüketicilerin elektrik-ısı ihtiyaçlarına göre teknik ve karlılık açısından değerlendirilmiş ve fizibilite çalışmalarından sonra 6 numara ağır yakıt yakan 4 zamanlı dizel motor kojenerasyon uygulamasının teknik ve yatırım karlılığı açısından en uygun çözüm olacağı tespit edilmiştir.

Dizel santral iki adet dizel motor, motor egzozundaki atık ısının buhar olarak geri kazanıldığı atık ısı kazanları, desülfürizasyon ünitesi ile tesisin yardımcı ünitelerinden oluşmaktadır.

Tesiste iki adet MAN BLW 18 V 48/60 tip 4 zamanlı orta devirli dizel motoru ve Siemens generatöründen oluşan dizel gensetler ile elektrik üretilmektedir.

Motorlar için yanma havası bir döner tip yağ banyolu filtreden temin edilmekte ve emme havası susturucusunu geçtikten sonra turhoşarjda basınçlandırılarak silindirlere verilmektedir. Motorların her bir egzoz manifold hattından alınan egzoz, turhoşarjı terk ettikten sonra susturucu üzerinden atık ısı kazanına girmektedir. Atık ısı kazanını 200⁰ C civarlarında terk eden her iki motor grubunun egzozu ortak bir de SO₂ ünitesinde yıkanarak 60-70⁰ C sıcaklıklarında atmosfere verilmektedir. Atık ısı kazanlarının devrede olmaması durumunda egzoz kazanları dıştan by-pass ederek de SO₂ ünitesine girmektedir. De-SO ünitesi egzoz motor direkt çıkış sıcaklıkları ile ağırlıkça %5 nispetinde sülfür içerebilecek bir ağır yakıt baz alınarak dizayn edilmiştir.

Motorlar 32⁰ C atmosfer sıcaklıklarına kadar tam yükte çalıştırılabilmektedir. Ayrıca her 12 saatte bir saat olmak üzere motor-alternatör sisteminin %10 oranında aşırı yüklenebilmesi mümkündür.

Türkiye’de Mevcut Kojenerasyon Tesisleri:

Çizelge 6.1’de, Ocak 2000 itibariyle mevcut olan kojenerasyon tesisleri gösterilmiştir. Bu çizelgede, tesislerde kullanılan makinaların özellikleri ile kullanılan yakıtlar gösterilmiştir. Ayrıca paketleyici firmaların isimleri ve satıcı firmaların isimleri de verilmiştir. Türkiye’de Çizelge 6.1 de gösterilenlere ilaveten 50-60 kadar daha kojenerasyon tesisinin kurulmakta olduğu da bilinmektedir.

Çizelge 6.1 Türkiye’de kojenerasyon tesisleri-Ocak 2000 itibariyle

	Satıcı Firma	Paketleyici Firma	Referans Tesisler	Tahrik Ünitesi	Makina Tipi	Yakıt
1	ABB		1-Pirelli	Gaz Türbini	1×GT10	D.Gaz
			2-Modern karton		1×GT10	
2	Aksa Enerji	MAN	1-Demirtaş Katı Atık/Bursa	Gaz Motoru	5×300kW	Çöplük Gazı
		MBH	2-BOO/Hakkari Mobile Power Plant	Dizel Motor	3×15MW	Fuel Oil No:6
3	Alstom		1-Eskişehir Organize	Gaz Türbini	1×LM5000	D.Gaz
4	Blohm & Voss	B&V Industrie	1-Maxi Enerji Silivri	Gaz-Dizel Motor	1×8MW	D.Gaz+ Diesel
5	Borusan Makina	DALE	1-Ege Seramik İzmir	Gaz Türbini	1×T60	LPG
			2-Tüp Mersezi/Çorlu		1×T60	D.Gaz
		Caterpillar	Gaz Motoru	1-Tüp Mersezi/Çorlu	1×1020kW	D.Gaz
				2-Doğuş Tekstil/Çorlu	1×1020kW	D.Gaz
				3-Pizza Tekstil Güneşli	1×1020kW	D.Gaz
				4-Henkel/Gebze	1×1020kW	D.Gaz
				5-Sarkuysan Gebze	3×3600kW	D.Gaz
				6-Nuryıldız Tekstil	1×768kW	D.Gaz
				7-Atlas Halı/Çorlu	1×1020kW	D.Gaz
				8-İstanbul Demirçelik	2×3600kW	D.Gaz
9-Bahariye Mens. Güneşli	1×1020kW	D.Gaz				
10-Uçal Dönüşen Kağıt	1×1020kW	Propan				
6	Çukurova	Nedola/ Perkins	1-Yeni Tekstil	Gaz Motoru	1×600kW	D.Gaz
7	Dako Enerji Grubu A.Ş	Turbomach	1-Kartonsan İzmit	Gaz Türbini	4×T60	D.Gaz
			2-Kastamonu Ağaç/Gebze		1×C50	D.Gaz
			3-AK EN Yalova		1×MF111-B	D.Gaz+ Naphta
			4-Dentaş Denizli		1×T60	D.Gaz+ Naphta
			5-AK EN Alapli		1×T70	D.Gaz

	Satıcı Firma	Paketleyici Firma	Referans Tesisler	Tahrik Ünitesi	Makina Tipi	Yakıt
7	Dako Enerji Grubu A.Ş	Turbomach	6-Pakmaya İzmit	Gaz Türbini	1×T60	D.Gaz+ LPG
			7-Asil Gıda Düzce		1×T60	D.Gaz+ LPG
			8-Altınyıldız Güneşli		1×T60	D.Gaz+ LPG
			9-Orta Anadolu Kayseri		2×T60	LPG
			10-First Tekstil Çorlu		1×T60	D.Gaz+ LPG
			11-Goodyear Adapazarı		2×T60	LPG
			12-Toros-Enerji Mersin, Adana		2×T60	Naphta
			13-Yıldız Sunta İzmit		1×T60	D.Gaz+ LPG
			14-Ülker/Pendik Nişasta		2×T60	D.Gaz+ LPG
			15-Menderes Tekstil Denizli		2×T60	Naphta
			16-Ak Enerji		10×T60	D.Gaz+ Naphta
8	DAS Enerji	MAN B&W Holeby	1-ORS Rulman	Dizel Motor	1×3,3MW	Fuel Oil No:6
			2-MED UNION		1×3,4MW	Fuel Oil No:6
			3-Isparta Mensucat		1×3,6MW	Fuel Oil No:6
			4-Samur Halı Ankara		2×3,6MW	Fuel Oil No:6
			5-Çetinkaya Mensucat Kayseri		3×3,5MW	Fuel Oil No:6
9	Elin	GE turbine	Çolakoğlu/Ova Elektrik	Gaz Türbini	2×FRM9E	D.Gaz
			Ereğli Demir Çelik		2×LM6000	D.Gaz
10	Enkon Ltd. Şti.	Thomassen	1-AK EN Çerzekköy	Gaz Türbini	FRM6	D.Gaz
			2-Doğa Enerji Bahçeşehir		3×LM6000	
			3-AK EN Bozöyük		2×FRM6	
			4- EnerjiSA İzmit		2×FRM6	

	Satıcı Firma	Paketleyici Firma	Referans Tesisler	Tahrik Ünitesi	Makina Tipi	Yakıt
11	EnpaA.Ş	Waertsilae Nsd	1-Arçelik Çayırova	Dizel Motor	6MW	D.Gaz
			2-Arçelik Eskişehir		6MW	D.Gaz
			3-Dusa/Stand by		5MW	D.Gaz
			4-Camiş Enerji Çayırova		2×6,5MW	D.Gaz+ Fuel Oil 4
			5-Camiş Enerji Topkapı		2×6,5MW	D.Gaz+ Fuel Oil 4
			6-Denizli Çimento/Denizli		14MW	Fuel Oil No:6
			7-Erk Enerji Ankara		10MW	Fuel Oil No:6
			8-ÇINKUR/Rize		2×15MW	Fuel Oil No:6
			9-Van/BOO		2×10MW	Fuel Oil No:6
			10-Silopi KEY BOO Projesi		6×5MW	Fuel Oil No:6
			11-Manisa Organize			Fuel Oil No:6
12	İlteknö/ MAN B&W	MAN B&W	1-Birlik Enerji Denizli OSB	Dizel Motor	2×18,5MWe	Fuel Oil No:6
			2-Sanko Gaziantep		4×8,4MWe	Fuel Oil No:6
			3-Birko Koyunlu Niğde		3×5,5MWe	Fuel Oil No:6
			4-Gülsan Güleenerji G.Antep		2×12,5MWe	Fuel Oil No:6
			5-Habaş/Aliağa		2×18,5MWe	Fuel Oil No:6
			6-Habaş/Bilecik		1×18,5MWe	Fuel Oil No:6
			7-Gülle Tekstil		1×6,2MWe	Fuel Oil 6

	Satıcı Firma	Paketleyici Firma	Referans Tesisler	Tahrik Ünitesi	Makina Tipi	Yakıt
13	KOJEN Enerji	ABB Zantıng	1- Beydemirler Beylikdüzü	Gaz Motoru	1×1000kW	D.Gaz
14	MAN Enerji Sist.	MAN	1-Beybo Enerji Çorlu	Gaz Türbini	1×T60	D.Gaz
			2-Bilkent Enerji Ankara		1×T60	D.Gaz
			3-Modern Karton Çorlu		2×M100	D.Gaz+ LPG
			4-Can Tekstil Çorlu		1×T60	D.Gaz
			5-Söktas/Söke		1×T60	LPG
			6-Akın Tekstil Çorlu		1×T60	D.Gaz
			7-Camiş Enerji Trakya		2×M100	D.Gaz
			8-İSKO İnegöl		2×T60	D.Gaz+ LPG
			9-MOPAK İzmir		1×T60	LPG+ Naphta
			10-DESA İzmir		2×T60	LPG+ Naphta
			11-Edip İplik Lüleburgaz		1×T60	D.Gaz
			12-Ege Seramik İzmir		2×C50	LPG+ Naphta
			13-Toprak Seramik Eskişehir		2×T60	D.Gaz
			14-Güney Sanayi/Adana		2×T60	Naphta
			15-Çamsan Ağaç Sanayi Ordu		1×T60	LPG
15	R&R	R&R	1-Bil Enerji Ankara	Gaz Türbini	1×RB211	D.Gaz
			2-BOO/Mobile Power Plant		1×5MW	Ham Petrol
16	Rama Enerji Ltd. Şti.	Waukesha	1-BOTAŞ Pendik/Stand by	Gaz Motoru	800kW	D.Gaz

	Satıcı Firma	Paketleyici Firma	Referans Tesisler	Tahrik Ünitesi	Makina Tipi	Yakıt
17	S&S/GE	GE Turbine	1-AK EN Çerkezköy	Gaz Türbini	LM2500	D.Gaz
			2-AK EN Yalova		LM2500	D.Gaz+ Naphta
			3-BIS Enerji Bursa		2×LM2500+ FRM6	D.Gaz
			4-Koç Enerji Bursa		2×LM6000	D.Gaz
			5-Zorlu Enerji Bursa		2×LM2500+	D.Gaz
			6-İzmir Atatürk Organize/İzmir		2×LM6000	Naphta
			7-Nuh Çimento		LM2500	D.Gaz
			8-Zorlu Çerkezköy		2×LM2500+	D.Gaz
18	SEAD Enerji	Caterpillar	1-Sönmez Filament	Gaz Motoru	2×2000kW	D.Gaz
19	Topkapı Endüstri	Jenbacher AG	1-Hayat Kimya Yenibosna	Gaz Motoru	1×1000kW	D.Gaz
			2-Kemberburgaz Çöplük Santrali		5×1000kW	Landfill Gaz
			3-Ambarlı Kompresör İstasyonu		1×800kW	D.Gaz
		MWM-Deutz	4-Siemens Kartal		2×550+ 1×1000kW	D.Gaz
20	TURBO MECA Allison	ELIN	1-Yuvam Konut İzmir	Gaz Türbini	2×KB7	D.Gaz
21	Tüten Ltd. Şti.	A.G.T. set	1-Şahinler Enerji Çorlu	Gaz Türbini	2×Tornado	D.Gaz
			2-Yalova Elyaf Yalova		3×Typhoon	D.Gaz
			3-Trakya İplik Çerkezköy		1×Typhoon	D.Gaz
			4-Starwood Bursa		3×Tornado	D.Gaz
			5-Zorlu Tekstil Çorlu		2×Tempest	D.Gaz
			6-CEFLA/ Kalebodur		3×Tempest	D.Gaz
			7-Ak Enerji		10×Typhoon	D.Gaz+ Naphta
		MWM-Deutz	8-B.S. Katı Atık Ankara		2×1500kW	Sewage Gaz

6.2 Dünya'dan Kojenerasyon Örnekleri

Lake Forest Hastanesi:

Lake Forest Hastanesine kurulan kojenerasyon sistemi LaSalle şirketi tarafından yapılmıştır. Hastanedeki bu sistemin amorti süresi 3.7 yıl civarındadır. Tesiste bulunan, 4 adet 800 kW gücünde Caterpillar doğal gaz motoru kampüsün ihtiyacı olan elektriğin %99'unu pik saatlerde (hafta içi 9.00 ile 22.00 arası) çalışarak karşılamaktadır .

Culver Askeri Akademisi:

Culver, İndiana'da yer alan Culver Askeri Akademisindeki kojenerasyon sistemi Ballard Mühendislik tarafından kurulmuştur. Sistemde 2 adet 525 kW'lık generatör bulunmaktadır. Bunların modeli Waukesha VHP3600GSI 'dir. Tesisteki kojenerasyon sistemi haftanın 7günü ve 24 saat işletimdedir.

Mercy Hastanesi:

Michigan, Mushegon'daki bu hastane termal ve elektrik enerjisini elde etmek için 1,23 milyon dolar değerinde bir sistem kurdu. Sistem hastanenin 802 kW'lık yükünü karşılamaktadır. Sonuç olarak hastanenin buhar ihtiyaçlarını karşılamakta ayrıca yıllık 7 milyon kWh elektrik üretmektedir. Sistem sadece ilk yılda 430,000 dolar kazandırmış olup yatırım maliyetini 3 senede ödemiştir.

Lorin Endüstrileri:

Michigan, Mushegon'da yer alan Lorin Endüstrileri, anotlanmış alüminyum folyo üzerin lider bir üreticidir. Üretilen bu materyal mimari kaplamalarda, pencere çerçevelerinde ve ışık yansıtıcılarında kullanılır. Lorin şirketinde anotlama için hem buhar hem de elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Ve bu işlemin maliyeti gittikçe artmakta olduğu için kojenerasyon sistemi kullanılmaktadır. Proje 2 milyon dolarlık bir yatırıma mal olup şirketin enerji maliyetini %25 azaltmış ve 5 yıl içerisinde kendi maliyetini kapatacağı düşünülmektedir.

Bush Kojenerasyon Projesi:

1995 yılının Aralık ayında Rutgers Üniversitesi tarafından Bush kojenerasyon, elektriksel güç kojenerasyonunu başlattı. New Brunswick NJ'de bulunan Rutgers Üniversitesi kampüsünde bulunan bu tesis Bush ve Livingston kampüslerinin her ikisine de elektrik ve termal enerjiyi sağlamaktadır. Buhar jenerasyonu, soğuk emilim ve ısıtma için yüksek sıcaklıkta su buharı olarak üretilir ve 13 MW'tan fazla elektrik Rutgers kampüsünde kullanılmak üzere üretilir. Bu

sistem 3 gaz türbini ve 3 tüp yakıcısından yüksek sıcaklıktaki egzozdan faydalanılarak elde edilmiştir. Bu gaz türbinleri Solar Türbinleri A.Ş, tüp yakıcıları ise Forney tarafından üretilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılmaktadır ama gerektiğinde dizel yakıt destek yakıt olarak kullanılabilir. Jenere edilen 13,5MW'lık elektrik gücü kampüsün %90'lık ihtiyacını karşılamaktadır (www.rci.rutgers.edu).

Brookfield Hayvanat Bahçesi:

Brookfield Hayvanat Bahçesinde 2200 kWe gücünde kurulu bir kojenerasyon sistemi bulunmaktadır. Kojenerasyon sistemi, 2 adet Waukesha 7100 GL 1100 kW gücünde doğal gaz motor-generatör setinden oluşmaktadır. Kojenerasyon sistemi hafta içi pik periyotlarda (9.00-18.00 arası) çalışmak üzere tasarlanmıştır.



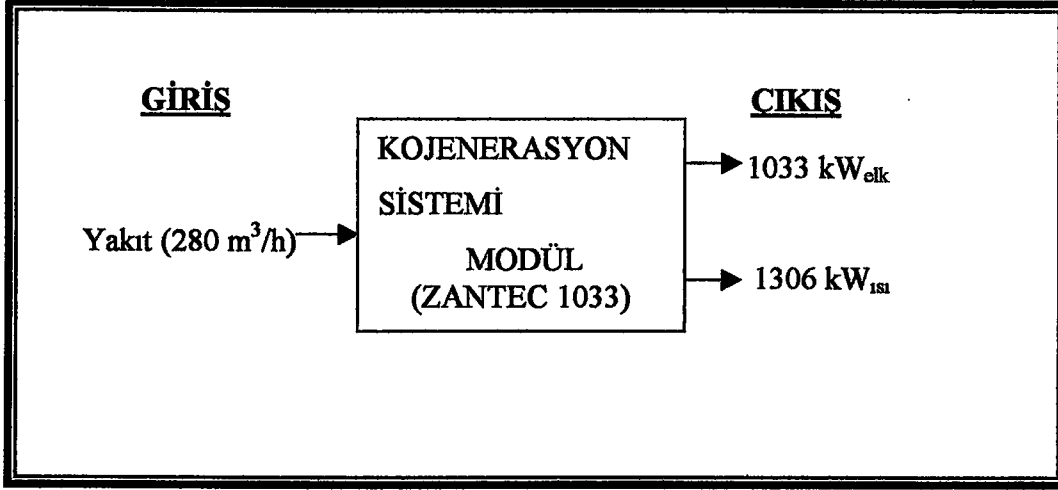
7. FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Bu bölümde Alman Zantingh firmasının Zantec 1033 modülü için basit bir fizibilite çalışması yapılacaktır. Zantec 1033 modülünün teknik özellikleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 Zantec 1033 modülünün teknik özellikleri

Hava Soğutucusu Su Sıcaklığı	32° C		
Yağ Soğutucusu Su Sıcaklığı	80° C		
Elektrik çıkış gücü	1020 kW		
Isı çıkış gücü	1555 kW	1337300 kcal	
Enerji Sarfiyatı / Yakıt sarfiyatı	2964 kW	296.4 m ³	
Max. giriş suyu ısısı	32° C		
Gaz Motoru (Yakıt cinsi : Doğal gaz) Motor Markası/Tipi	Caterpillar / 3516 SITA		
Silindir sayısı	V- 16		
Devir sayısı	1500 d/dk		
Silindir çapı	170 mm		
Sıkıştırma oranı	11:1		
Devamlı güç	1070 kW		
Motor verimi	36.1 %		
Isı verimi	52.5 %		
Jeneratör			
Jeneratör Markası/Tipi	Stamford / HC 734 E		
Max. çıkış gücü	1320 kVA		
Cos φ	0,8	0,93	1
Çıkış gücü	1020 kW	1029 kW	1034 kW
Jeneratör verimi	95,3 %	96,2 %	96,6 %
Elektrik verimi	34,4 %	34,7 %	34,9 %
Devir sayısı	1500 d/dk		
Isı Bilançosu			
Radyatör ısı değiştirgeci	680 kW		
Egzoz ısı değiştirgeci	562 kW		
Motor yağı ısı değiştirgeci	124 kW		
Hava ısı değiştirgeci	189 kW		
Genel verim	86,9 %	87,2 %	87,3 %

Örnek olarak, bir kojenerasyon sisteminde Zantec 1033 modülünden aşağıdaki şekilde giriş ve çıkış değerlerinin olduğunu varsayalım.



Şekil 7.1 Zantec 1033 modülü için örnek giriş çıkış değerleri

Yapılan bu fizibilite çalışmasındaki mark bazlı varsayımlar aşağıdaki gibidir.

Varsayımlar:

Doğal gaz birim fiyatı (İGDAŞ)	= 0,32 DM/m ³
Elektrik birim fiyatı (TEAŞ)	= 0,14 DM/kWh
Doğal gaz alt ısı değeri	= 8250 kcal/m ³
Kazan verimi	= % 90
Yıllık Çalışma süresi	= 350 gün = 8400 h/yıl

Şekil 7.1'e göre kojenerasyon sisteminin elektrik ve ısı verimi:

$$\eta_{\text{elk}} = \frac{1033}{2686} = \%39 \quad \eta_{\text{ısı}} = \frac{1306}{2686} = \%49$$

Buna göre toplam verim = $\eta_{\text{top}} = \%88$

$$\text{Doğal gaz alt ısı değeri} = 8250 \text{ kcal/m}^3 = \frac{8250}{860} \text{ kWh/m}^3 = 9,59 \text{ kWh/m}^3$$

1306 kWh_{ısı}'yı kojenerasyon sisteminde üretmek için harcanan doğal gaz miktarını hesaplarsak,

1 m³ doğal gaz 9,59 kWh'a karşılık geliyorsa,

$$1306 \text{ kWh'lık ısı enerjisine karşılık gelen doğal gaz miktarı} = \frac{1306}{9,59} = 136 \text{ m}^3/\text{h} \text{ olur.}$$

Kazan verimi de dikkate alınırsa bu değer,

$$\frac{136}{0,9} = 151 \text{ m}^3/\text{h}'e \text{ karşılık gelir.}$$

Maliyet Hesapları

Yıllık enerji giderleri:

1. Yıllık yakıt gideri : $280 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,32 \text{ DM}/\text{m}^3 \times 8400 \text{ h}/\text{yıl} = 752,640 \text{ DM}/\text{yıl}$

2. Yıllık bakım masrafları : 173,000 DM/yıl

Yıllık enerji gelirleri:

1. Elektrik üretiminden elde edilen gelir = $1033 \text{ kW} \times 0,14 \text{ DM}/\text{kWh} \times 8400 \text{ h}/\text{yıl}$
= 1,214,808 DM/yıl

2. Isı üretiminden elde edilen gelir = $151 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,32 \text{ DM}/\text{m}^3 \times 8400 \text{ h}/\text{yıl}$
= 405,888 DM/yıl

Yıllık toplam gider : $752,640 + 173,000 = 925,640 \text{ DM}/\text{yıl}$

Yıllık toplam gelir : $1,214,808 + 405,888 = 1,620,696 \text{ DM}/\text{yıl}$

Yıllık net kar : $1,620,696 - 925,640 = 695,056 \text{ DM}/\text{yıl}$

Bu sistemin yatırım maliyeti 1,500,000 DM alınırsa,

Sistemin kendini amorti süresi : $\frac{1,500,000}{695,056} = 2,15 \text{ yıl}$

Bu fizibilite çalışmasında, elektrik ve ısı ihtiyacını, ana tahrik ünitesi olarak bir gaz motoruyla kısmen ya da tamamen sağlayan doğal gaz yakıtlı bir kojenerasyon santrali teknik ve ekonomik yönden incelenmiştir. Burada sonuç olarak yapılan yatırımın, kaç sene içinde geri alınabileceğini gösteren geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Kojenerasyon tesisatının yatırımı için kararlaştırılacak miktar, yatırımcının belli zaman aralığında kojenerasyon ünitesine yapacağı masrafların, ızgaradan eldesi sağlanan elektrik ve kazandan eldesi sağlanan ısı için kullanılacak masraflardan daha az olmalıdır. Bu kazan sisteminden eldesi sağlanan ısının ve şebekeden elde edilen elektriğin ihtiyaçlarla ve her bir bireysel tasarıyla doğrulanmalıdır. Bir kojenerasyon tesisatının işlevi için ödenecek fiyat şunları kapsamalıdır. Yakıt bakım ihtiyacını, işleme imkanını ve tabii ki yatırımdan alınan sermaye bedelini.



8. AMORTİZASYON HESABI

	Modül1	Modül2	Modül3	Modül4	Toplam
Enerji sarfiyatı kw/h	854	854	854	854	3416
Çıkış gücü elk. kW	293	293	293	293	1172
Çıkış gücü ısı kW	472	472	472	472	1888
Çıkış gücü ısı kcal	405920	405920	405920	405920	1623680
Çalışma süresi h/a	8000	8000	8000	8000	8000
Bakım fiyatı DM/kWhe	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Bakım fiyatı DM/h	5,40	5,40	5,40	5,40	21,60
Yakıt fiyatı, LPG	0,45 DM/kg				
Isı değeri	13 kW/kg				
1 kWh Yakıt fiyatı	Yakıt fiyatı/Isıl değeri 0,035 DM/kwhe				
Elektrik fiyatı	0,132 DM/kwhe				
Kazan verimi	0,9				
Sistem maliyeti	1,252,560 DM				
YAKIT					
Saatlik yakıt sarfiyatı	Topl. enerji sarfiyatı/Isıl değeri				262,8 kg/h
Yıllık yakıt sarfiyatı	Saatlik yakıt sarfiyatı×Topl. çalışma süresi				2,102,154 kg/a
Yıllık yakıt masrafı	Yıllık yakıt sarfiyatı×Yakıt fiyatı				945,969 DM/a
ISI					
Yıllık ısı üretimi	Topl. çıkış gücü ısı×Topl. çalışma süresi				15,104,000kWh/a
	12,989,440,000 kcal.h/a				
Yıllık ısı masrafı	Y.ısı üretimi×1kWh yakıt fiyatı./Kaz.verimi				580,923 DM/a
ELEKTRİK					
Yıllık elektrik üretimi	Topl. çıkış gücü el.×Topl. çalışma süresi				9,376,000 kWh/a
Yıllık elektrik masrafı	Yıllık yakıt masrafı-Yıllık ısı masrafı				365,046 DM/a
YILLIK BAKIM MASRAFI HARİÇ					
1 kWhe Maliyeti	Yıllık elek. masrafı/Yıllık elek. üretimi				0,039 DM/kWhe
Yıllık elektrik geliri	Yıllık elektrik üretimi×Elektrik fiyatı				1,237,632 DM/a
Yıllık ısı geliri	Yıllık ısı masrafı				580,923 DM/a
Yıllık toplam gelir	Yıllık ısı geliri + Yıllık elektrik geliri				1,818,555 DM/a
Yıllık toplam masraf	Yıllık yakıt masrafı				845,969 DM/a
Yıllık kar	Yıllık toplam gelir - Yıllık toplam masraf				872,586 DM/a
Amortizasyon Süresi	Sistem maliyeti/Yıllık kar				1,4 Yıl
YILLIK BAKIM MASRAFI DAHİL					
1 kWhe Maliyeti	1 kWhe maliyeti + 1 kWhe bakım fiyatı				0,057 DM/kWhe
Yıllık bakım masrafı	Topl. saat bak. Fiyatı×Topl. çalışma süresi				172,800 DM/a
Yıllık toplam gelir	Yıllık ısı geliri + Yıllık elektrik geliri				1,818,555 DM/a
Yıllık toplam masraf	Yıllık yakıt masrafı + Yıllık bakım masrafı				1,118,769 DM/a
Yıllık kar	Yıllık toplam gelir - Yıllık toplam masraf				699,786 DM/a
Amortizasyon Süresi	Sistem maliyeti/Yıllık kar				1,8 Yıl
Tarih: 17.05.2000	Kur: 1 DM=285,000 TL.			h=saat	a=yıl

Bu amortizasyon hesabı örneğinde, elektrik ve ısı ihtiyacını, 4 modülden oluşan paralel bağlı, LPG yakıtlı bir kojenerasyon santrali teknik ve ekonomik yönden incelenmiştir. Burada sonuç olarak yapılan yatırımın, kaç sene içinde geri alınabileceğini gösteren geri ödeme süresi hesaplanmıştır.



9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı, ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak kaçınılmaz olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş “enerji yönetimi” teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır.

Gümrük Birliği’ne girmiş olan ülkemizde sanayinin temel girdisi olan enerjinin daha ucuza mal edilebilmesi, Türk endüstrisinin dünya pazarlarında daha kolay rekabet edilmesini sağlayacaktır. Oysa günümüz Türkiye’inde, dağıtım şebekesi kayıplarının ortalama %10 seviyelerinde olması ve dağıtım sistemindeki altyapı sorunlarından dolayı gerilim dalgalanmaları ve enerji sıkıntıları yaşanmaktadır.

Ülke yöneticileri tarafından, yapılması planlanan ve hızla yatırım programlarına alınan projelerin çok kısa bir sürede işletmeye alınamayacağı ve de bu yatırımların, hızla özelleştirme planları yapan ülkemizde, şebeke enerji satış fiyatları üzerine yansısıyla hızla artacağı dikkate alındığında, kojenerasyon sistemleri ile enerji üretmenin çok karlı ve yararlı olacağı kolayca görülebilmektedir.

1999 yılında Avrupa Birliği’ne aday ülke olarak kabulümüzün sosyo-ekonomik hayatımıza canlılık getireceği muhakkaktır. Ancak bundan daha önemlisi hayat standartımıza, düşünme ve eylem kalitemize ve kararlarımıza etkisidir.

Türk toplumu artık canının istediği gibi değil, Avrupalı gibi düşünmeye ve yaşamaya zorlanacaktır. Hükümetimiz ve parlamentomuz kararlarını kamuoyundan gelecek tepkilere göre değil, Avrupa Birliği’nin standartlarına göre verecektir. Bu gelişmeler, çevre koruma anlayışından tutun, yaşam kalitesine ve onun önemli bir parçası olan elektrik kalitesine kadar etkisini gösterecektir. Bu bağlamda, daha yüksek teknoloji ile daha temiz enerji üretim şekli olan kojenerasyonun, bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ön plana çıkması beklenmektedir. Ayrıca Avrupa Birliği Enerji Direktifi, daha az sera gazı üreten kojenerasyon tesislerine daha ucuz yatırım kredileri verilmesi için teşvik ortamını hazırlamıştır. Bundan doğu Avrupa ülkeleri 1998 ve 1999 yıllarında pay almaya başlamışlardır. Sıra Türkiye’ye gelmiştir. 2000 yılından başlamak üzere Türkiye’de kojenerasyon ve çevre koruma projelerine çok düşük faizli devlet kredilerinin akacağı söylenmektedir. Ayrıca Merkez Bankası’nın güven veren bir para programıyla yeni yıla başlaması, IMF ve Dünya Bankası gibi kuruluşların vermeyi taahhüt ettiği krediler, T.C. Hazinesi’nin 30 yıl vadeli tahvil satışını gerçekleştirmesi, enflasyonun düşeceği ve ekonomimizin uygun raya oturacağı yönünde işaretlerdir. Bunları çok yakından izleyen yabancı yatırımcıların 2000 yılından itibaren getirecekleri sermaye ile çok karlı bir yatırım olan kojenerasyon tesislerine ortak olma ya da

yeni tesisleri kurma yönüne gidecekleri muhakkaktır. Ayrıca 2000 ve 2001 yıllarında giderek büyüyeceği tahmin edilen elektrik arzı sıkıntısı, kojenerasyon tesislerinin sayı, kapasite ve üretiminde patlamaya neden olacaktır.

3096 sayılı yasanın, Türkiye elektrik piyasasının özel sektöre açılması için getirdiği imkanlar, yasanın getirdiği ağır bürokrasi yükü, elektrik üretiminin bir kamu hizmeti gibi algılanması ve Anayasal tereddütler nedeniyle, yeterince kullanılmamış ve 16 yıl büyük ölçüde heba edilmiştir. Türkiye’de daha birkaç yıl, özel enerjiye geçiş dönemini, bütün sıkıntılarıyla yaşayacaktır. 16 yıl içinde elektrik tesislerinin özelleştirilmesinde ya da özel şirketlere kendi tesislerinin kurulmasında ulaşılan pay %18,8’dir. Bunun %11,2’sini otoprodüktör tesisler ve %7,6’sını üretim şirketleri oluşturmaktadır. Bürokrasi ve yasal sorunlar nedeniyle Yap-İşlet-Devret modeli yatırımların hayata geçirilmesi gecikmiştir. 4283 sayılı yasa ile ihale edilmiş 5 adet termik santralin, herhangi bir yasal sorunu yoktur ve yapım aşamasına getirilebilmiştir. Özel enerjinin en rahat ve sorunsuz yürüyen dalı otoprodüktörlüktür. Otoprodüktörlük, teknolojisinin getirdiği yüksek randıman avantajıyla, süratli kurulmasıyla ve çevreyi koruma özelliği ile kendi kulvarında herhangi bir yasal sorunla karşılaşmadan hızla ilerlemektedir ve özel enerjinin üçte ikisini oluşturan bir kapasite ve üretim seviyesine ulaşmış bulunmaktadır.

Bürokrasiyi azaltmak, yabancı yatırımcıların tereddütlerini gidermek ve sonuçta Yap-İşlet-Devret modeli yatırımlara hız kazandırmak amacıyla Anayasa’nın 47, 125 ve 155. Maddelerinde yapılan değişiklikler ve bu değişikliklerle ilgili uyum yasaları çalışmaları elektrik üretim, iletim ve dağıtım tesisleri projelerine hız kazandıracaktır. Ancak acele ile gerçekleşen yasal değişikliklerin mevcut yasal sistemle örtüştürülmesi ve yeni yasalara dayalı yönetmeliklerin çıkarılması ve işler duruma getirilmesi zorunlu olacaktır. Bu nedenlerle, otoprodüktör yatırımları kendi yolunda ilerlerken, yılda yaratılabilecek 500-600 MW’lık yeni üretim kapasitesi, Türkiye’nin ortalama %8’lik enerji talep artışını karşılamaya yetmeyeceği için (her yıl 2000-2500 MW’lık yeni kapasite ihtiyacı var), 2005 yılından sonra yeniden başlayacağı hesaplanan elektrik sıkıntılarının ancak, yeni ihalelerde, sorunu olmayan Yap-İşlet (BOO) modelinin uygulanmasıyla giderilebilir.

Otoprodüktörlüğün karşısındaki en büyük risk, otoprodüktörün üretim fazlası elektriği, TEAŞ, TEDAŞ ya da görevli şirkete satma garantisinin bulunmamasıdır. Elektrik sıkıntıları devam ettikçe TEDAŞ otoprodüktörlerin elektriğini almaya devam edecektir. Ancak TEDAŞ’ın, ulusal dağıtım sistemini 29 bölgeye ayırarak, bu bölgelerin işletme hakkını teker teker özel şirketlere devretmesine yönelik ihalelerin sözleşmelerinde benzeri problemler bugünden başlamıştır. İşletme hakkını TEDAŞ’tan devralan özel dağıtım şirketlerinin, otoprodüktörlerin

elektrik teslimatını, TEAŞ'ın satış fiyatının %85'i üzerinden satın alma garantisi hükme bağlanmalıdır.

Kojenerasyoncular, 2000 ve 2001 yıllarında oluşabilecek elektrik sıkıntılarının atlatılmasına kendi üretimlerini maksimumda tutarak en yüksek desteği sağlamalıdır. Ayrıca egzoz ısını daha çok değerlendirerek en büyük enerji tasarrufunu sağlamalıdır. 1999 yılında %62,5 olan ortalama çevrim randımanının da önümüzdeki yıllarda hızla yükseltilmesi gerekmektedir.

7. Bölümde yaptığım fizibilite çalışmasında, doğal gaz yakıtlı gaz motorlu örnek bir kojenerasyon sisteminin maliyet hesapları yapılarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Örnek Zantec 1033 modülü için giriş ve çıkış değerleri ve varsayılanlar şu şekildeydi.

Giriş Çıkış Değerleri:

Elektrik çıkış gücü, 1033 kWh
Isı çıkış gücü, 1306 kWh
Yakıt sarfiyatı, 280 m³/h (2686 kWh)

Varsayılanlar

Doğal gaz birim fiyatı (İGDAŞ) = 0,32 DM/m³
Elektrik birim fiyatı (TEAŞ) = 0,14 DM/kWh
Doğal gaz alt ısı değeri = 8250 kcal/m³
Kazan verimi = % 90

Doğal gaz ısı değeri;

$$8250/860=9,59\text{kWh/m}^3 \text{ 'dür.}$$

Buna göre 1m³ doğal gaz 9,59 kWh'a denk geliyorsa,

$$1306 \text{ kWh'lık ısı enerjisini elde etmek için gerekli doğal gaz miktarı}=1306/9,59=136 \text{ m}^3/\text{h} .$$

Kazan verimi de dikkate alınırsa bu değer, 136/0,9=151m³/h'e karşılık gelir.

Şimdi böyle bir sistemde 1 saatlik bir süredeki maliyet hesabını yaparsak,

$$\text{Yatırımcının cebinden çıkan para}=280 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,32 \text{ DM/m}^3=90 \text{ DM/h}$$

Karşısında alacağı miktar

$$1033 \text{ kW} \times 0,14 \text{ DM/kWh}=145 \text{ DM/h} \text{ (Elektrik için)}$$

$$151 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,32 \text{ DM}/\text{m}^3 = 48 \text{ DM}/\text{h} \quad (\text{Isı için})$$

Toplam kazanılan para miktarı=145+48=193 DM/h (Üretilen enerjini parasal değeri)

Buna göre 1 saatlik bir çalışma sonucu elde edilen kar,

$$193-90=103 \text{ DM}/\text{h} \text{ olarak hesaplanır. (Bakım masrafları hariç)}$$

Yani 1 saatlik bir sürede 90 DM'lik bir yakıt girişi karşısında Parasal değer olarak 145 DM'lik elektrik ve 48 DM'lik ısı elde edilmektedir. Böyle bir kojenerasyon santralının kurulmasıyla saatte 103 DM kar elde edilebilir.

Elektrik kesintilerinden, gerilim ve frekans düşümlerinden büyük zararlara uğrayan, ne jeneratörlerle ne de kesintisiz güç kaynakları ile bu sorunların çözülemediğini gören her işletme sahibi, kojenerasyon santrallarına geçişle ne kadar doğru ve akıllı bir seçim yaptıklarını çok kısa zamanda göreceklerdir.



KAYNAKLAR

Ağış, Ö., (1999), "2000'in Eşiğinde Türkiye'nin Enerji Profili", 9 Aralık 1999, İstanbul Enka Binası Konferans Salonu, URL: www.kojenerasyon.com/enerjiprof.htm

Avcı, İ., (1997), "Kojenerasyon Nedir?", 3e Enerji, Elektrik, Elektronik Dergisi, 32: 64-67.

Avcı, İ., (1998), Zanting Kojenerasyon Sistemleri, Kojen Enerji ve Otomasyon Sistemleri San. Yayınları, İstanbul.

Bejan, A., Tsatsaronis, G. ve Moran, M., (1996), Thermal Design and Optimization, Wiley Interscience, Newyork.

Erbentli, T., (1994), "Bileşik Isı-Güç Üretimi", Doğal Gaz Dergisi, 6: 72-78.

Kaypmaz, A., (1997), "Endüstride Bileşik Isı-Güç Santralleri", Elektrik Dergisi, 4: 105-110.

Kehlhafer, R., (1993), Combined Cycle Plants for Cogeneration of Process Steam and Power; Pub. No:CH-KW 201890 E, Siemens Power Journal Vol.1

Kojenerasyon, (1999), TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi.

Siemens, (1999), "Kojenerasyon Sistemleri".

Mendilcioğlu, M., (1999), "Bakanlığımız Otoprodüktörlük Uygulamalarını Desteklemeye Devam Edecektir", 5. Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı, 21-22 Eylül 1999, İstanbul.

Şahin, V., (1994), "Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış", TÜSİAD-T/94, 11-168, İstanbul.

Tüten, T., (1996), "Yalova Elyaf Gaz Türbini Birleşik Isı ve Güç Santrali", Doğal Gaz Dergisi, 22: 66-68.

İnternet Adresleri

www.cogen.com.au, (2000)

www.cogen.org, (2000)

www.kojenerasyon.com/bildiri.htm, (2000)

www.kojenerasyon.com/istek.htm, (2000)

www.kojenerasyon.com/kojensayfa.htm, (2000)

www.kojenerasyon.com/2000yili.htm, (2000)

<http://mirror.it.netwing/jenbacher/cogbasic.htm>, (2000)

www.rci.rutgers.edu, (2000)

EKLER

Ek 1 Solar türbini

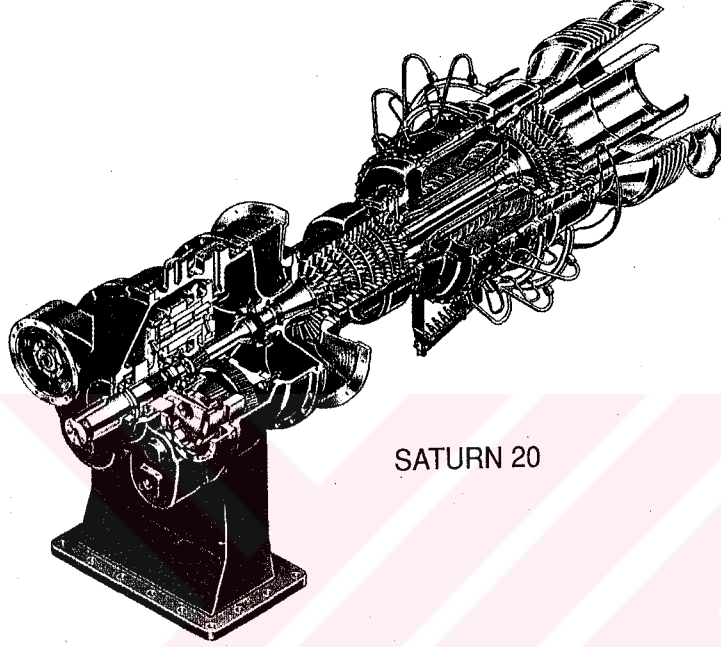
Ek 2 çeşitli kojenerasyon projelerinin fotoğrafları ve özellikleri



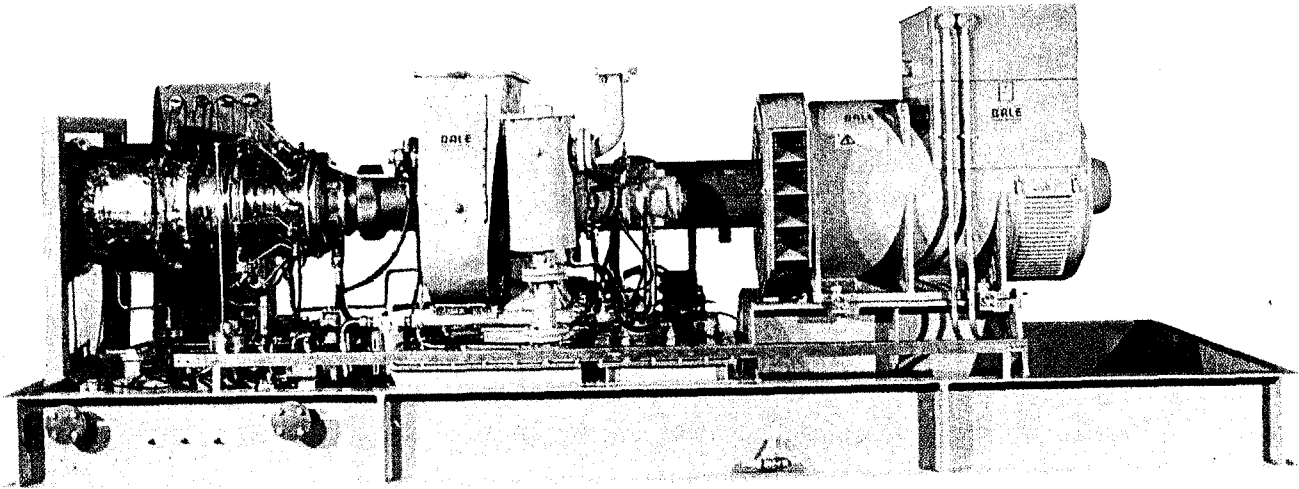
Ek 1 Gaz Türbini

Gaz türbinlerinin üç ana elemandan oluştuğunu daha önce söylemiştik. Bu elemanlar:

1. Kompresör
2. Yanma Odası
3. Türbin.



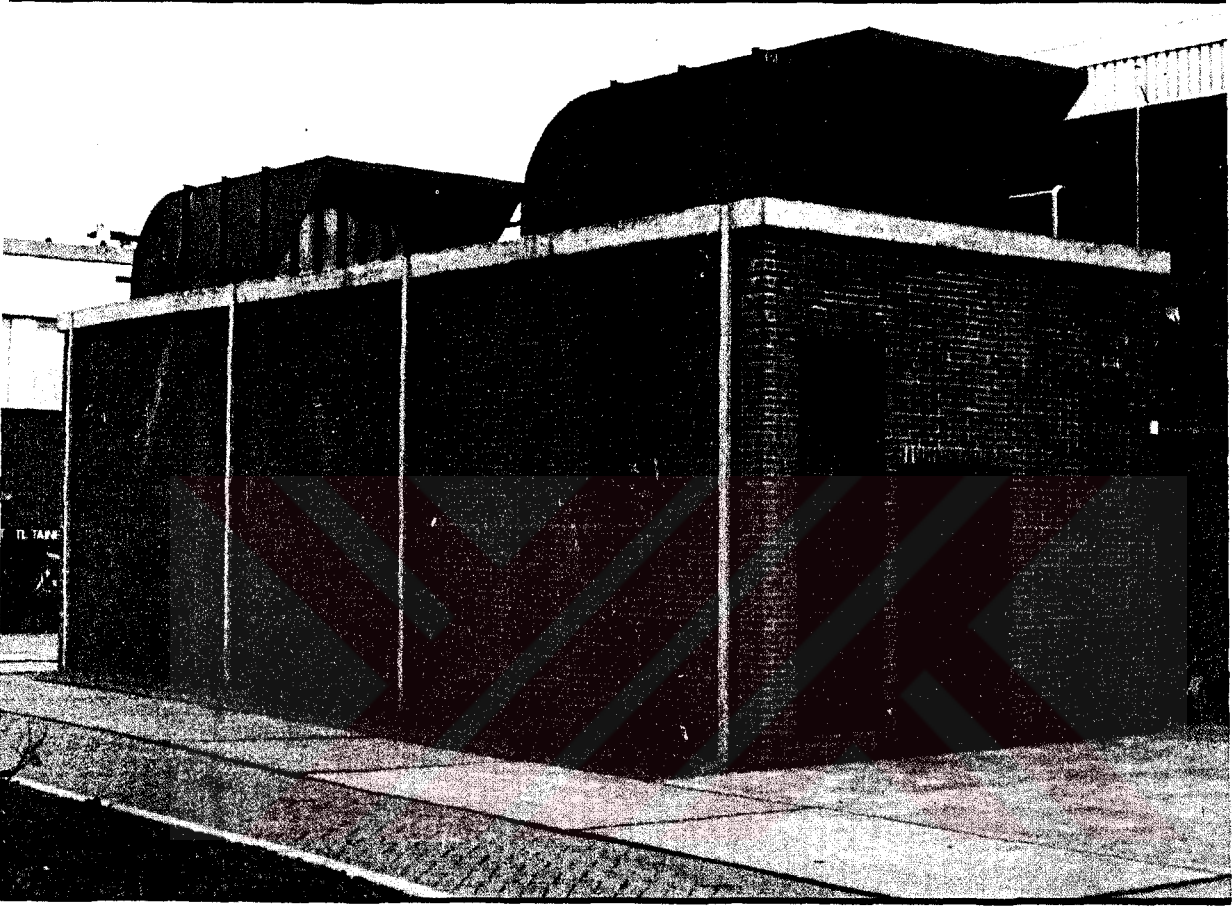
SATURN 20



Şekil Ek1.1 Gaz Türbini

Ek 2 Çeşitli Kojenerasyon projelerinin fotoğrafları ve özellikleri

Bu bölümde yurt dışındaki çeşitli kojenerasyon projelerinin kapasite, işletme şekli, yakıt cinsi gibi özellikleri ile birlikte resimleri de gösterilmiştir.



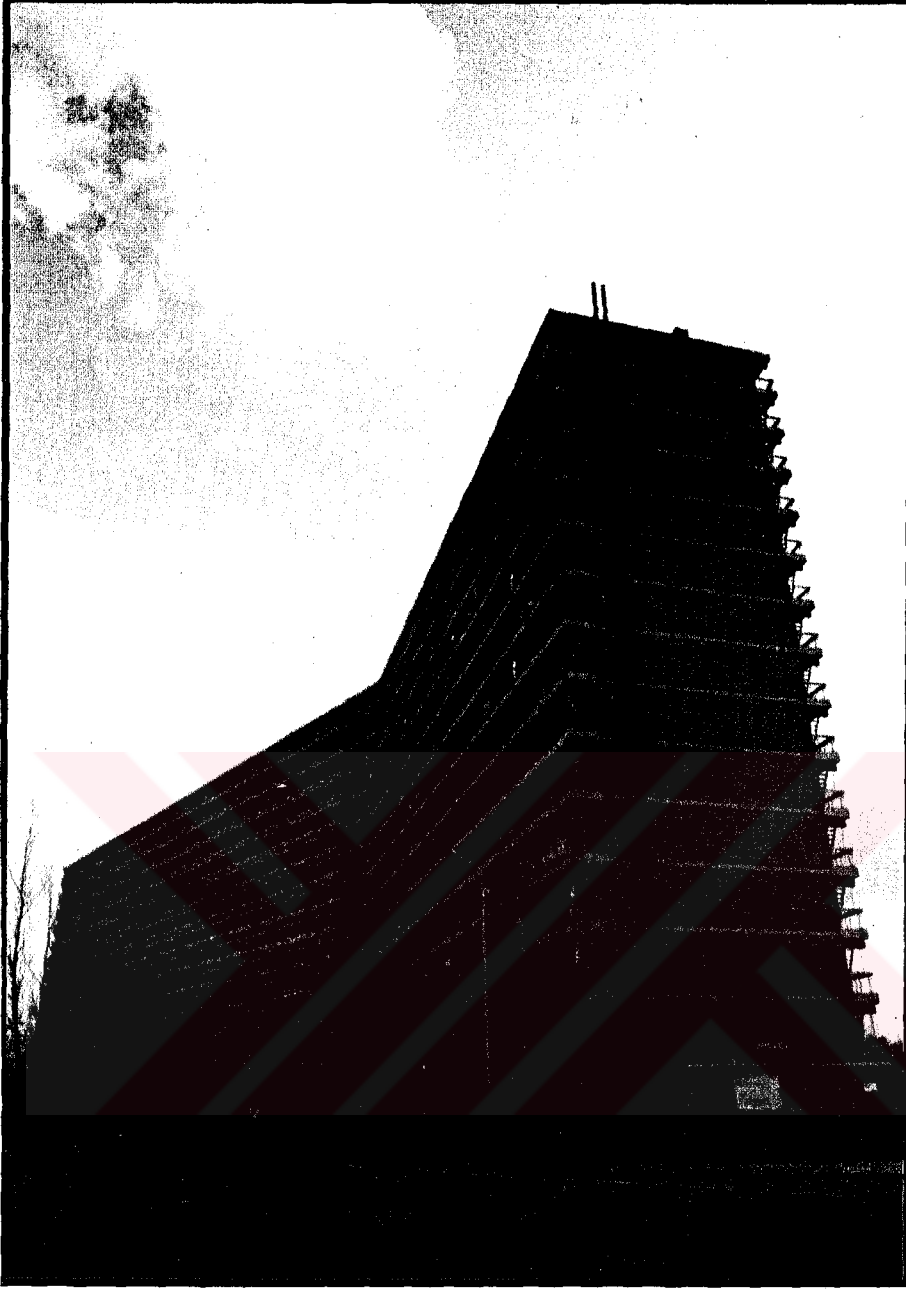
Proje	: AKZO-Coatings Sassenheim
Şehir	: Sassenheim
Kullanıcı	: E.W.R
Kapasite	: 1×630 kWe
Kuruluş Tarihi	: 1992
İşletme Şekli	: Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt	: Doğalgaz
Özellikleri	: Ses İzalasyonlu Beton Bina İçerisinde Dışarıda Konumlandırılmış.



- Proje** : De Vlagheide
Şehir : Schijndel
Kullanıcı : P.N.E.M
Kapasite : 5×312 kWe
Kuruluş Tarihi : 1993
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Biogaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Konteynerler İçerisinde Dışarıda Konumlandırılmış.



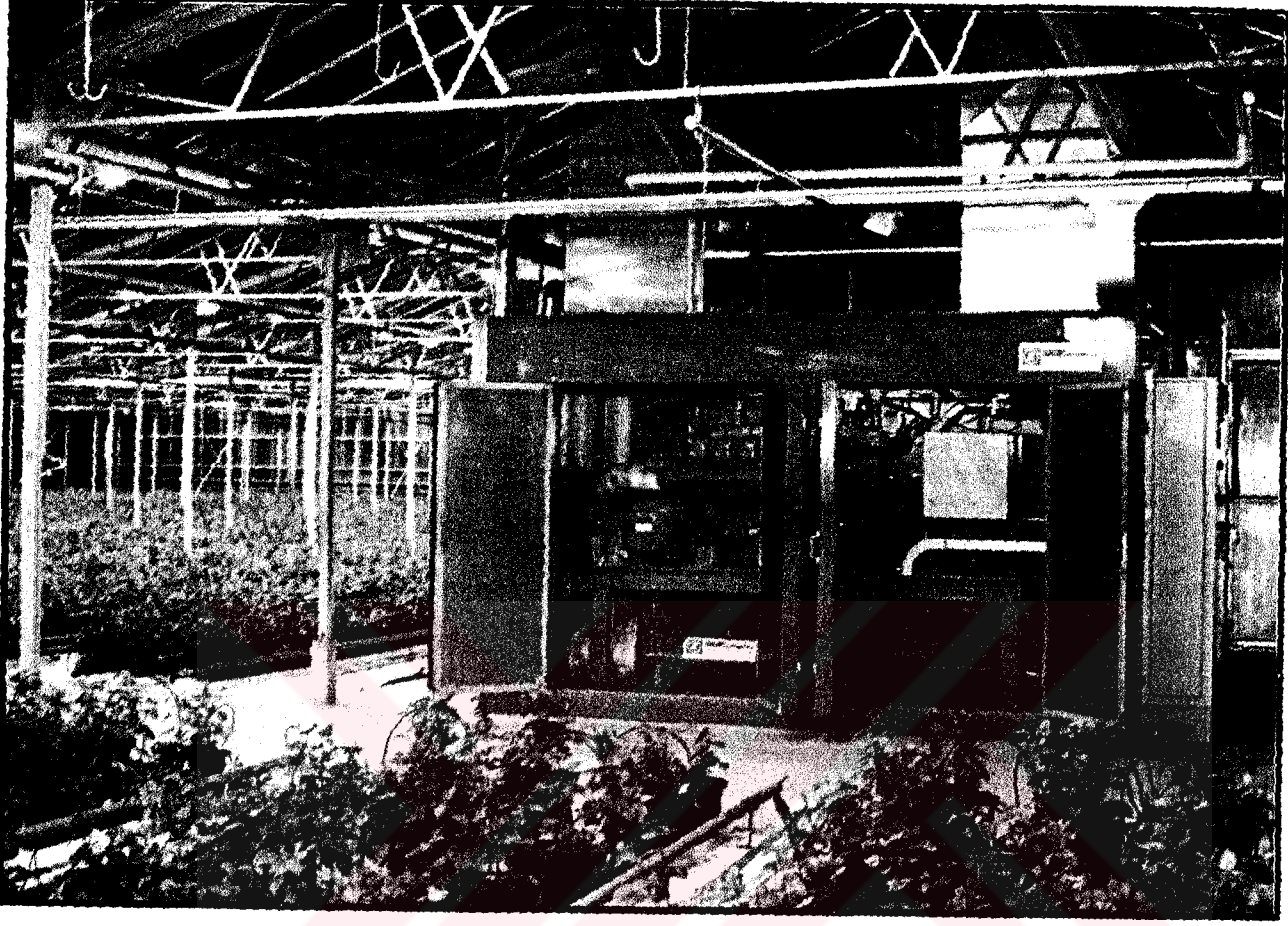
- Proje** : Deponiegas VAM
Şehir : Wijster
Kullanıcı : EDON
Kapasite : 5×920 kWe Toplam 4600 kWe
Kuruluş Tarihi : 1990
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Çöplük Gazı
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Kontener İçerisinde Dışarıda Konumlandırılmış.



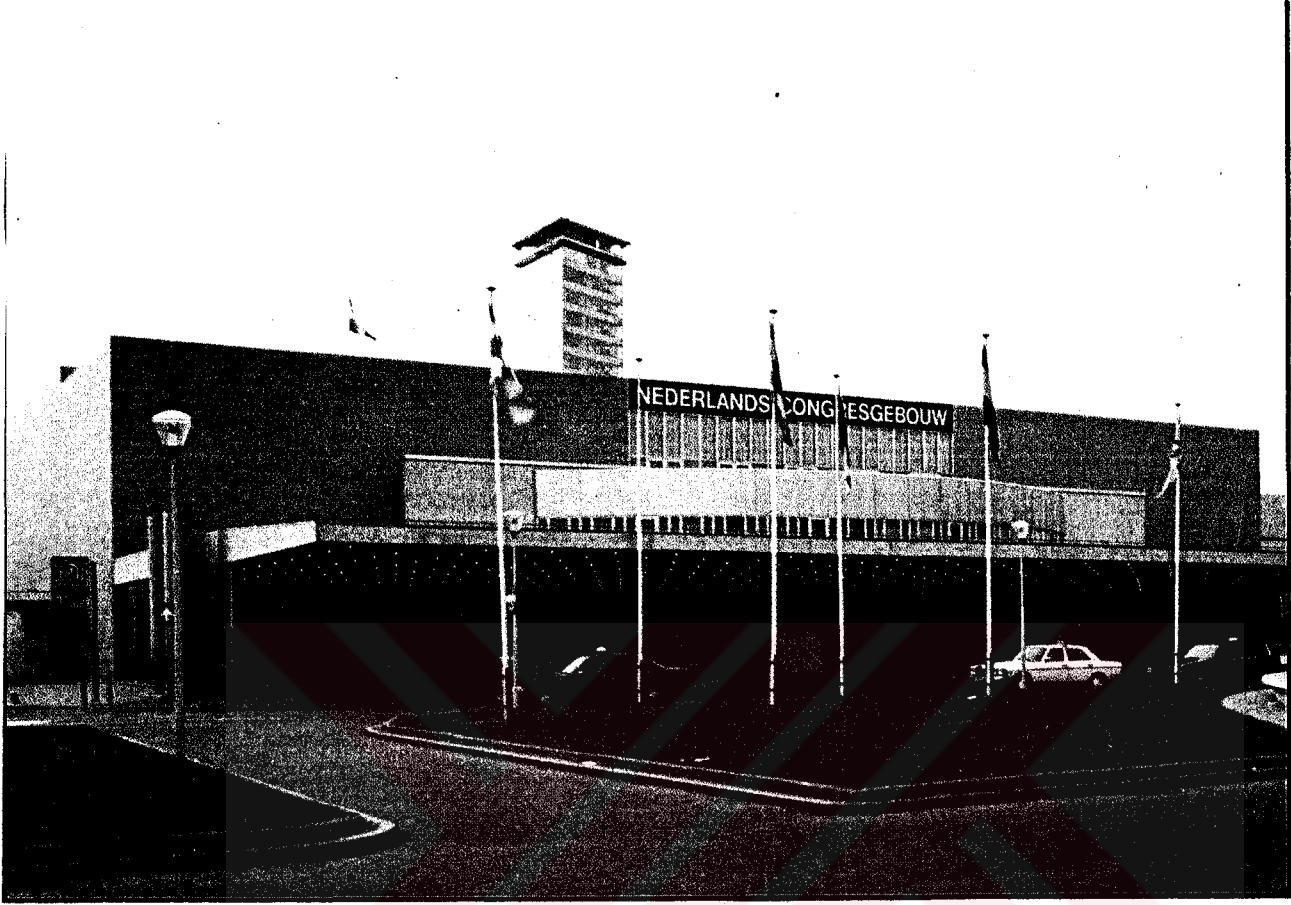
- Proje** : Zaandaam
Şehir : Zaandaam
Kullanıcı : E.V.U
Kapasite : 6 Adet Blok Ev, Her Blokta 2×312 kWe
Kuruluş Tarihi : 1990
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Konteyner İçerisinde Dışarıda Konumlandırılmış.



- Proje** : Verpleeghuis Nicolaas
Şehir : Lutjebroek
Kullanıcı : W.K.O.N
Kapasite : 1x165 kWe
Kuruluş Tarihi : 1993
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Kont. İçerisinde Bina Çatısına Konumlandırılmış.



- Proje** : W.I.J. Joore
Şehir : Rijsenhout
Kullanıcı : W.I.J. Joore
Kapasite : 2×165 kWe
Kuruluş Tarihi : 1993
İşletme Şekli : Yerel Şebekeden Ayrı (İsole)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Kont. İçerisinde Sera Alanına Konumlandırılmış.



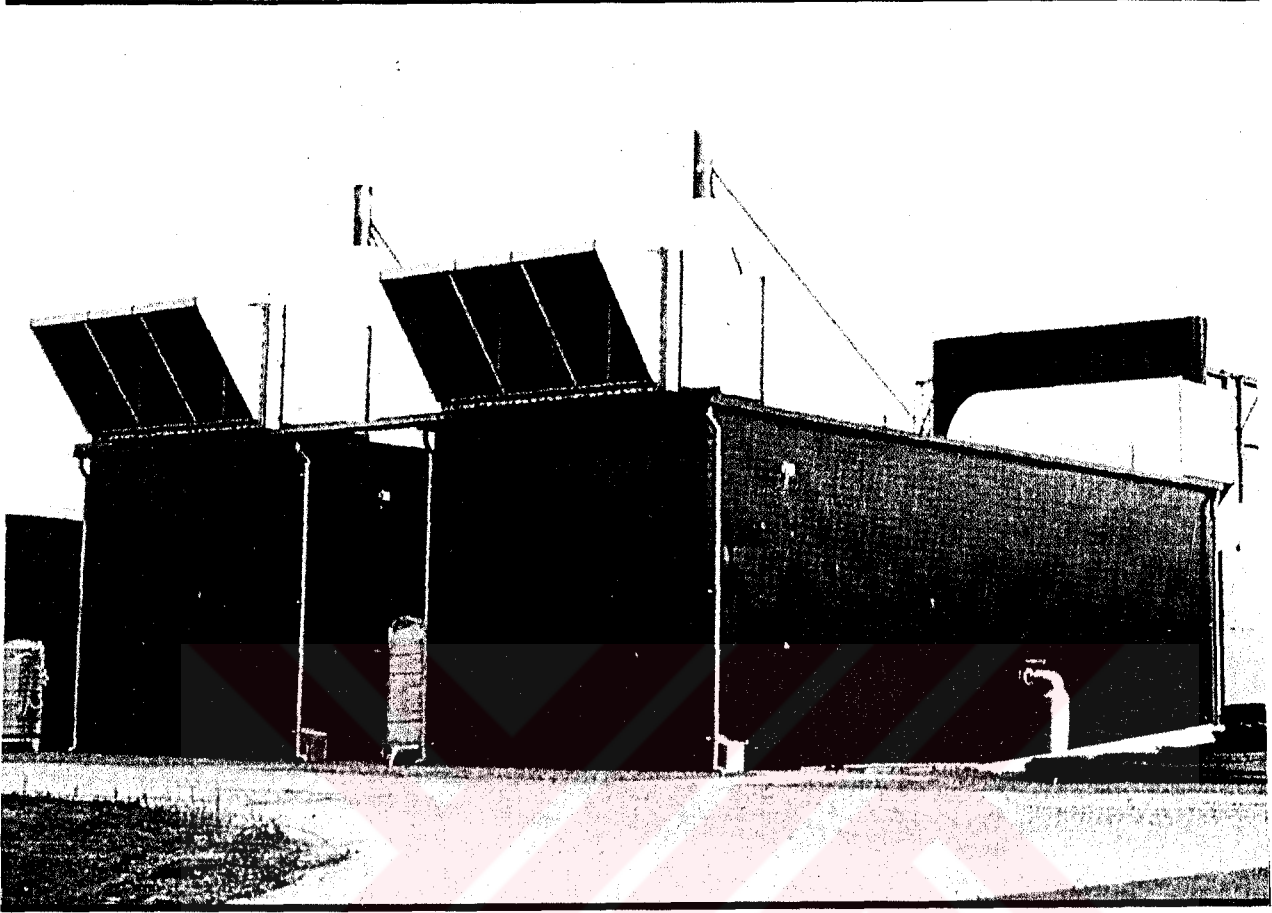
- Proje** : Nedarlands Congresgebouw
Şehir : Den Haag
Kullanıcı : G.E.B. Den Haag
Kapasite : 2x300 kWe
Kuruluş Tarihi : 1993
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İza. Kont. İçerisinde Bina Yeraltı Garajına Konumlandırılmış.



- Proje** : Frederiks Varmevark
Şehir : Karup
Kullanıcı : ZES APS
Kapasite : 2×920 kWe
Kuruluş Tarihi : 1993
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Kont. İçerisinde Fabrika İçine Konumlandırılmış.



- Proje** : Sportcentrum “De Schelft”
Şehir : Noordwijkerhout
Kullanıcı : E.W.R
Kapasite : 1×165 kWe
Kuruluş Tarihi : 1989
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Doğalgaz
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Kont. İçerisinde Tesis İçerisinde Konumlandırılmış.



- Proje** : Deponiegas
Şehir : Veendam ve Wijster
Kullanıcı : E.G.D
Kapasite : 8×920 kWe
Kuruluş Tarihi : 1989
İşletme Şekli : Yerel Şebekeye Senkron (Paralel)
Yakıt : Çöplük Gazı
Özellikleri : Ses İzalasyonlu Konteyner İçerisinde Dışarıda Konumlandırılmış.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	13.11.1977	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Zeytinburnu Mensucat Santral Lisesi
Lisans	1993-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Programı
Çalıştığı kurum		Encon Bina Otomasyon Sistemleri A.Ş.

