

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GAZ TÜRBİNLİ BİRLEŞİK ISI - GÜÇ
ÜRETİM SİSTEMLERİ**

Makina Müh Fatih BAŞOL

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Prof. Dr İsmail TEKE

Prof. Fatihrul KÜÇÜKKARANKILI

Prof. Dr. Bahri Sahin

İSTANBUL 1999

84944

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| - SİMGELİSTESİ..... | iii |
| - ŞEKİL LİSTESİ..... | v |
| - ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR..... | vi |
| - ÖZET..... | vii |
| - ABSTRACT..... | ix |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Dünya' da ve Türkiye' de enerji talebi, enerji üretimi ve sonuçları..... | 3 |
| 2. BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ..... | 7 |
| 2.1 Gaz türbinleri ile kojenarasyon..... | 9 |
| 2.2 Elektrik üretimi..... | 10 |
| 2.3 Isı üretimi..... | 11 |
| 2.4 Sistemden daha fazla elektrik enerjisi almak..... | 12 |
| 2.4.1 Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri..... | 12 |
| 2.4.2 Buhar türbini kullanımı..... | 13 |
| 2.5 Buhar üretiminin artırılması..... | 14 |
| 3. GAZ TÜRBİNLİ BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ..... | 15 |
| 3.1 Temel termodinamik yasa ve kavramları..... | 15 |
| 3.2 Birleşik ısı güç üretim türleri..... | 20 |
| 3.3 Gaz türbinli ve atık ısı kazanlı kojenarasyon sistemleri için temel prensipler..... | 22 |
| 4. DÜNYA' DAN VE TÜRKİYE' DEN KOJENERASYON ÖRNEKLERİ..... | 25 |
| 4.1 Dünya' dan kojenarasyon örnekleri..... | 25 |
| 4.2 Türkiye' den kojenarasyon örnekleri..... | 32 |
| 5. BİRLEŞİK ISI GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE OPTİMUM SİSTEM KAPASİTESİ VE TÜRÜNÜN SAPTANMASI..... | 35 |
| 5.1 Enerji üretiminde seçenekler..... | 35 |
| 6. EKONOMİK İNCELEME..... | 45 |
| 6.1 Geri ödeme süresi yöntemi..... | 45 |
| 6.2 Ortalama karlılık oranı yöntemi..... | 45 |
| 6.3 Güncelleştirilmiş net değer yöntemi..... | 45 |
| 6.4 İç verim oranı yöntemi..... | 46 |
| 7. 4 MW' LİK BİR KOJENERASYON TESİSİNİN İNCELENMESİ..... | 47 |
| 7.1 Turbojeneratör grubu..... | 47 |
| 7.1.1 Şasi donanımı..... | 47 |
| 7.1.2 Türbin..... | 47 |
| 7.1.3 Dişli kutusu..... | 50 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 7.1.3 | Dişli kutusu..... | 50 |
| 7.1.4 | Jeneratör..... | 51 |
| 7.1.5 | Elektrohidrolik marş sistemi..... | 53 |
| 7.1.6 | Yakıt sistemi..... | 54 |
| 7.1.7 | Yağlama yağı sistemi..... | 57 |
| 7.1.8 | Yanma ve soğutma havası sistemi..... | 59 |
| 7.1.9 | Konteyner kutusu..... | 61 |
| 7.1.10 | Konteyner içindeki turbojeneratör grubu göstergeleri..... | 62 |
| 7.2 | Buhar ünitesi..... | 64 |
| 7.3 | Otomatik kontrol sistemi..... | 69 |
| 7.4 | Doğal gaz sistemi..... | 71 |
| 7.5 | Kazan malzeme listesi..... | 74 |
| 8. | BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN PLANLAMA KRİTERLERİ..... | 76 |
| 8.1 | Güç kapasitesinin belirlenmesi..... | 76 |
| 8.2 | Elektrik / ısı oranı..... | 77 |
| 8.3 | İstenen ısının sıcaklığı..... | 78 |
| 8.4 | Ek yatırım tutarları..... | 79 |
| 8.5 | Sistemin güvenilirliği ve sürekliliği..... | 80 |
| 9. | 4 MW' LİK BİR MAYA ÜRETİM TESİSİNDE GAZ TÜRBİN BAZLI KOJENERASYON SANTRALİ VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI..... | 80 |
| 9.1 | Proje tanımı..... | 80 |
| 9.2 | Mevcut durum..... | 81 |
| 9.3 | “4 MW “ kojenarasyon santrali..... | 81 |
| 9.4 | Toplam bilanço..... | 83 |
| 9.5 | Fizibilite tablosu..... | 83 |
| 10. | SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 84 |
| | KAYNAKLAR..... | 86 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 88 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|------------|--|
| ${}_1Q_2$ | 1. Durumdan 2. Duruma geçmek için yapılan iş |
| ${}_1W_2$ | Sistem tarafından yapılan iş |
| a | Birim tesis maliyeti (\$ / kW) |
| a_B | Buhar türbinli çevrimin birim tesis maliyeti |
| C_p | T1, T2 sıcaklık aralığında ortalama özgül ısı (kcal / kg ⁰ K) |
| $C_p (T)$ | Gazın sabit basınçtaki özgül ısı (kcal / kg ⁰ K) |
| C_t | t yılındaki kazanç |
| d | Gaz türbininde 1 kW' lık elektriksel güç üretmek için gerekli olan yakıt miktarı (kJ / h / kW) |
| Q_{12} | Durum 1' den durum 2' ye geçişte akışkana verilen ısı miktarı (kcal / kg) |
| E_1 | Başlangıçtaki toplam enerji |
| E_2 | Son durumdaki toplam enerji |
| f | Elektrik enerjisi satan kuruluşun enerji birim satış fiyatı (\$ / kWh) |
| g | Elektriğin şebekeye satışındaki birim fiyatı (\$ / kWh) |
| $h_ç$ | Türbinden çıkıp kondensere giren buharın entalpisi (kJ / kg) |
| h_t | Kazandan çıkıp türbine giren buharın entalpisi (kJ / kg) |
| i | Faiz oranı |
| i,b | Buhar kazanının yıllık birim işletme ve bakım masrafı [(\$ / yıl) / (kW)] |
| i_B, b_B | Buhar türbinli çevrimin yıllık bakım ve işletme masrafları (\$ / yıl / kW) |
| I_0 | Projenin yatırım maliyetinin bu günkü değeri |
| j | Zaman diliminin numarası |
| k | Bir yıl boyunca tesisin işletmede kaldığı gün sayısı |
| m | Egzost akışı kütlesi |
| m_a | Havanın kütleli debisi |
| m_f | Yakıtın birim zamandaki akış kütlesi |
| m_j | Tesisin j. dilimindeki buhar gereksinimi (ton / saat) |
| m_{xj} | j. dilimde, kazanın düşük basınçlı bölümünden çıkan buharın debisi (ton / saat) |

| | |
|-----------------|--|
| m_{yj} | j. dilimde, kazanın ara buhar alma noktasından çekilen ya da bu noktadan türbine giren çıkan buharın debisi (ton / saat) |
| m_{zj} | j. dilimde, kazanın yüksek basınçlı bölümünden çıkan buharın debisi (ton / saat) |
| N | Bir gün içindeki zaman dilimlerinin sayısı |
| η_g | Jeneratör verimi |
| η_k | Buhar kazanının verimi |
| P | İş yapan akışkanın basıncı (kpa) |
| p_d, T_d, h_d | Tesiste işlemden geçtikten sonra çevrime geri dönen su ya da buhar basıncı, sıcaklığı ve entalpisi (bar, $^{\circ}\text{C}$, kJ / kg) |
| p_g, T_g, h_g | İhtiyaç duyulan buhar basıncı, sıcaklık entalpisi (bar, $^{\circ}\text{C}$, kJ / kg) |
| P_{Gj} | Gaz türbini tarafından j. dilimde üretilen elektriksel güç (kW) |
| P_j | Tesisin j. dilimindeki elektrik gücü gereksinimi (kW) |
| r | Kompresör sıkıştırma oranı |
| s | Gaz türbinli çevrimin ısı - güç oranı |
| T_1, T_2 | İşlemden önceki ve sonraki sıcaklıklar ($^{\circ}\text{K}$) |
| t | Bir zaman diliminin süresi (saat) |
| T | Mutlak sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$) |
| u | İş yapan akışkanın iç enerjisi (kcal / kg) |
| v | Özgül hacim (m^3 / kg) |
| y | Birim yakıt fiyatı (\$ / milyon kJ) |
| Δs | Entropi değişimi (kcal / $\text{kg}^{\circ}\text{K}$) |
| γ | İzantropik sabit |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 2.1a | Birleşik ısı - güç üretimine giriş (Termik santral / Kombine Çevrim)..... | 7 |
| Şekil 2.1b | Birleşik ısı - güç üretimine giriş (Kojenerasyon)..... | 8 |
| Şekil 2.2 | Gaz türbinleri ile kojenerasyon..... | 9 |
| Şekil 2.3 | Elektrik üretimi..... | 10 |
| Şekil 2.4 | Isı üretimi..... | 11 |
| Şekil 2.5 | Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri..... | 12 |
| Şekil 2.6 | Buhar türbini kullanımı..... | 13 |
| Şekil 2.7 | Buhar üretiminin artırılması..... | 14 |
| Şekil 3.1 | Buharın entropi diyagramı..... | 17 |
| Şekil 3.2a | Rankine çevrimi..... | 19 |
| Şekil 3.2b | Bu çevrime ilişkin T - s diyagramı..... | 19 |
| Şekil 3.3 | Birleşik ısı - güç üretimi üst çevrimi..... | 20 |
| Şekil 3.4 | Birleşik ısı - güç üretimi alt çevrimi..... | 21 |
| Şekil 3.5 | Brayton çevrimi | 22 |
| Şekil 3.6 | Açık çevrimli gaz türbinlerinde çevrim verimi..... | 22 |
| Şekil 3.7 | Gaz türbinlerinde kompresör sıkıştırma oranı (P_2 / P_1)' na karşılık, egzost sıcaklığı ve verim eğrileri..... | 24 |
| Şekil 4.1 | Elektrik dağıtım sistemi..... | 26 |
| Şekil 4.2 | Egzost kontrol sistemi..... | 28 |
| Şekil 4.3 | Egzost kontrol sistemi..... | 29 |
| Şekil 4.4 | Isı üretim sistemi..... | 30 |
| Şekil 4.5 | Solar gaz türbinleri..... | 31 |
| Şekil 5.1 | Klasik sistemin şematik gösterilimi | 36 |
| Şekil 5.2 | Buhar türbinli bir çevrimin şematik gösterilimi..... | 38 |
| Şekil 5.3 | Gaz türbinli basit çevrimin şematik gösterilimi..... | 41 |
| Şekil 5.4 | Kombine çevrimin şematik gösterilimi..... | 43 |
| Şekil 7.1 | Kazan su seviye kontrolü..... | 70 |

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin, teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi amacıyla, yaptığım bu çalışmayı yönlendiren ve değerli katkıları ile destek sağlayan sayın Hocam, Prof. Dr. İsmail TEKE' ye teşekkürlerimi sunarım.



GAZ TÜRBLNÖ BİRLEŞİK ISI – GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Fatih Başol

Anahtar kelimeler: Gaz türbin, Birleşik ısı - güç

Özet : Günümüzde, enerji ihtiyacının artması, ham enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, mühendisleri yüksek verimli enerji dönüşümleri çevrimleri geliŐtirmeye zorlamıŐtır. Kullanılabilir elektrik ve ısı enerjisinin, birlikte, eşzamanlı üretimi şeklinde tanımlanan, (Birleşik Isı - Güç Üretim Sistemleri) kojenerasyon sistemleri sayesinde, % 85 - 90 düzeyinde verime ulaŐılmakta ve böylece birincil enerji kaynaklarının kullanımında tasarruf sağlanmaktadır.

Bu tezde, endüstri tesislerinin, toplu yerleŐimlerin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaçlarının karşılanmasında yaygın olarak kullanılan Gaz Türbinli Birleşik Isı - Güç Sistemleri incelenmiştir. Değişik tip uygulamaların sistem elemanları incelenmiş. Bu amaçla, uygulama örnekleri, ekonomik ve teknik kriterler ile optimum kapasite ve tür tespitine ilişkin hesaplamalar yapılmış, öneriler verilmiştir.

Bölüm 2' de birleşik ısı güç üretim sistemlerinin enerji talebi açığı ile ilgili olarak Dünya ve Türkiye konjonktüründe incelemesi yapılmış, Kojenerasyon tesisi blok olarak incelenmiş ve toplam enerji veriminin nasıl yükseldiği ele alınmıştır.

Bölüm 3' te birleşik ısı güç üretiminin ilkesi ve temel termodinamik yasalar hakkında bilgi verilerek ilerki bölümlerin daha iyi anlaşılması amaçlanmıŐtır.

Bölüm 4' te Dünya' dan ve Türkiye' den kojenerasyon örnekleri incelenmiştir

Bölüm 5' te birleşik ısı güç üretimi sistem kapasitesi ve türünün belirlenmesi kullanılacak tesis ve üretim maliyet denklemleri, bütün çevrimler için oluŐturulmuŐtur.

Bölüm 6' de bir kojenerasyon tesisine ait ekonomik inceleme yapılmış tesisin maliyetinin firmaya geri dönüş süresi yöntemleri incelenmiştir.

Bölüm 7' de Bir Maya Üretim Tesisinde uygulanan 4 MW' lık kojenerasyon sisteminin ayrıntılı incelenmesi yapılmıştır.

Bölüm 8' de birleşik ısı güç üretiminin planlama kriterleri verilmiştir.

Bölüm 9' da Bir Maya Üretim Tesisinde uygulanan 4 MW' lık kojenerasyon sisteminin fizibilite çalışmaları \$ baz alınarak hesaplanmıştır. Bu inceleme tezin orijinal kısmını oluşturmaktadır.

Bölüm 10' da sonuç olarak birleşik ısı güç üretiminin hangi durumlarda kullanılabilceğine ilişkin öneriler verilmiştir.



GAS TURBINE COGENERATION SYSTEMS

Fatih BAŞOL

Key Words : Gas Turbine, Cogeneration, Heat Recovery Steam Generator.

Abstract : Over the last century, the demand for energy in all over the world has increased considerably, while the amount of primary energy sources have decreased dramatically. This matters forces the engineers to develop highly efficient energy covention cycles. Combined Heat and Power Generation or Cogeneration, which could be defined as the coincident production both heat end power. When the exhaust energy in used a process, overall efficiency could reach up to 85 - 90 % and significiant amount of fuel savings could be obtained.

Cogeneration systems generally used for the supply of electricity and heating at mass habitation units and industrial complexes have been examined, in this thesis. The system elements, characteristics, advantages and disadvangates of different application types have been reviewed.

In this respect, application sampling, calculations taking into considerations economical and technical criteria have been made to determine optimum capacity and type end purposals in relation to this have been submitted.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizde 1980' li yıllarda yaşanan iktisadi gelişmelere paralel olarak enerji üretim ve tüketimi büyük çapta artmıştır. Bu artışın yarattığı olumlu etkilerin yanında dış ticarete liberalizasyona gidilmesi de enerji ithalatını hem kolaylaştırmış hem de ithalatta yaşanan döviz darboğazının aşılmasını sağlamıştır. Türkiye' de birincil enerji kaynaklarının kullanımını konusundaki tarihi gelişmelere baktığımızda; 1970' ler öncesinde bol ve ucuz olmasından dolayı, enerjinin ekonomilere büyük oranda girdiğini söylemek gerekir. 70' li yıllarda başlayan enerji darboğazları ekonomilerin enerjiye mutlak şekilde bağlı olduğunu göstermiştir. Bu durumdan en çok, gerek mevcut sanayilerini çalıştırmak, gerek yeni sermaye yatırımlarını gerçekleştirmek için bol ve ucuz enerjiye gereksinim duyan sanayileşme yolundaki gelişmekte olan diğer ülkelerle birlikte Türkiye' de etkilenmiştir. Buna paralel olarak sanayi üretimimiz de artış eğilimi içine girerken yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Ülkemizde birinci enerji kaynakları, dünya rezervleri ile kıyaslandığında miktar ve kalite itibari ile çok düşük seviyelerdedir. Buna karşın, hidrolik enerji ve linyit kömürleri, ülkemizde mevcut kaynaklar içinde büyük potansiyele sahiptir. Türkiye' de mevcut enerji kaynakları içinde hidrolik enerji potansiyelinin % 28' ine karşılık gelen (9920 MW) bir kısmı kullanılırken, toplam linyit potansiyelinin ise % 34' lük kısmı kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi ülkemiz birinci enerji kaynakları potansiyelinin yarısından oldukça az bir miktarını kullanmaktadır.

Türkiye' de elektrik enerjisi üretimine bakıldığında; toplam elektrik enerjisi üretiminin 1980 yılında 23 milyar kWh' tan 13 yıl içerisinde yaklaşık 3.5 kat artarak 1993 yılında 73.8 milyar kWh' a yükseldiği görülmektedir. 1993 - 1995 yılları arasında ise üretim artışı % 17 olmuş ve Türkiye 1995 yılında 86.3 milyar kWh elektrik enerjisi üretmiştir. Öte yandan, Türkiye' de elektrik enerjisi tüketimi, 1950 - 1990 yılları arasında 72 kat artmıştır. Bu kırk yıllık dönemde tüketiminin yılda ortalama artışı % 11 civarındadır. Tüketimde artış hızı, 1950 - 1970 yılları arasında % 12.7' lik düzeyde seyrederken, bu değer 1970 - 1990 yılları arasında % 9.9' a düşmüştür. 1995 yılında bir önceki yıla göre % 10' luk bir artışla 85.7 kWh olan elektrik tüketimi, 1996 yılında bir önceki yıla göre % 9.9' luk bir artışla 85.7

milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 1970 yılında 207 kWh olan kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 1980 yılında 2.5 katına yakın bir artış ile 459 kWh düzeyine ulaşmıştır. 1990 yılından önceki geçen on yıl içinde 2 kat artış gösteren kişi başına elektrik tüketimi bu yılda 835 kWh düzeyinde gerçekleşmiştir. 1994 yılında kişi başına elektrik tüketimi 1004 kWh olmuştur. Türkiye' de kişi başına elektrik enerjisi tüketimi, kişi başına brüt elektrik üretiminden yıllar itibarıyla daha düşük düzeyde gerçekleşirken, 1990' lı yıllarda bu açık daha da artmıştır. Diğer taraftan Türkiye, AB ülkeleri ve daha gelişmiş ülkelere göre önemli tutarda elektrik enerjisi kayıpları problemi ile karşı karşıyadır. 1994 yılında elektrik enerjisi şebeke kaybı toplam brüt elektrik enerjisi üretimi içindeki payı % 16 civarındadır ve 12 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir.

Söz konusu oran, Almanya' da % 4.5, Belçika' da % 5, Avusturya' da % 6.2, Fransa' da % 7.3, İspanya' da % 9.7, İtalya' da % 6.7, Yunanistan' da % 8.5, Japonya' da % 4.4, ve Kanada' da % 6.9 düzeylerinde gerçekleşmiştir. Türkiye' de 1995 yılında şebeke kaybı toplam üretimin % 16.8' ini oluşturarak bir önceki yılki düzeyini korumuştur.

Türkiye genel olarak enerji üretim kapasitesinin enerji talebini karşılayamaması nedeni ile enerji ithal eden bir ülke konumundadır. Kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji tüketimimizin hızla artmasına rağmen, enerji üretimimiz aynı oranda artış göstermemiştir. Üretim ile tüketim arasındaki fark hızla büyümüştür. 1980 yılında bu fark 15 milyon ton petrol eşdeğeri iken, 1985 yılında 17 milyon ton petrol eşdeğerine, 1990 yılında 27 milyon ton petrol eşdeğerine ve 1993 yılında 34 milyon ton petrol eşdeğerine ulaşmıştır. Enerji açığımız 13 yıl içerisinde 2 kattan fazla artmıştır. 1994 yılında söz konusu açık 32.4 milyon ton petrol eşdeğerine düşse de, 1995 yılında 36.8 milyon ton petrol eşdeğerine çıkmıştır.

1975 yılında artış gösteren elektrik enerjisi ithalatı, 1985 yılından itibaren artan santrallerin etkisi ile azalmıştır. Yetmişli yılların sonunda görülen enerji darboğazı nedeni ile 1985 yılına kadar aşırı boyutlarda artan yatırımlar sonucunda elektrik enerjisi üretiminde büyük miktarda bir atıl kapasite meydana gelmiştir. Dolayısıyla, 1980' lerin ikinci yarısından itibaren Türkiye sınır ülkelere enerji satar konuma gelmiştir. Elektrik enerjisine olan talebin oldukça üstünde bir üretim kapasitesine erişen sektörde 1990' lı yılların başından itibaren yatırımlar önemli ölçüde azalmıştır. 1995 yılında üretilen elektrik enerjisinin tümü

karşılanabilmişken, gelecek yıllarda büyük bir enerji açığı riski ile karşı karşıya kalınacağı tahmin edilmektedir. 1990 yılından itibaren tümüyle durdurulan yatırımlar ileriye yönelik yapılan tahminlerin sonucunda büyük bir açığın oluşacağı ortadadır.

Sonuç olarak Türkiye bir enerji dar boğazına girmektedir. Dolayısıyla bu olaydan en ağır darbeyi yiyecek olan da endüstriyel sanayi olacak ve maddi olarak astronomik rakamlarda kayıplar söz konusu olmaktadır. Enerji kesintisinden dolayı işletme üretiminin durmaması için işletmeler artık kendi tedbirlerini almaya başlamıştır. Bu da kojenerasyon ile sağlanmaktadır. Böylece herhangi bir elektrik kesintisi söz konusu olduğunda işletme üretimine devam edebilmektedir. Ayrıca işletme için gerekli olabilecek termal enerji de elde edilmektedir.

1.1 Dünya' da ve Türkiye' de enerji talebi, enerji üretimi ve sonuçları

Son yıllarda Dünyada gerçekleşen enerji kullanımı incelendiğinde; ortaya çıkan sonuçlar pek yakın bir gelecekte Dünya' yı enerji sıkıntısının beklediğidir. İstatistiklere göre 1996 yılında dünya enerji tüketimi % 3 artmıştır. Bu oran 1996 yılı öncesindeki son 10 yıl ortalamasının yaklaşık 2 katıdır. 1996 yılı için nükleer enerji dışında Dünya birincil enerji kaynakları talep, üretim ve tüketim değerlendirilmesi kısaca şöyle özetlenebilir. 1995 yılına göre Dünya petrol talebi % 2.4, petrol üretimi % 2.9, toplam ispatlanmış petrol rezervi ise % 2 oranında artmış olup, 1995 yılına göre genel olarak gaz tüketimindeki artış % 4.7 ile trendin üzerinde gerçekleşmiş, doğal gaz üretimi % 4.9 doğal gaz rezervleri ise % 1.2 oranında artmış, dünya toplamı içinde % 25.1 pay ile Rusya Federasyonu en büyük doğal gaz üreticisi olmuş. % 24.5 pay ile ABD ikinci sırada yer almıştır. Kömür talebi % 2.3 oranında artmış, rezervlerde bir değişiklik olmamış; hidroelektrik ise % 0.8 ile 1996 yılında en az artış gösteren enerji kaynağı olmuş. Hidroelektrik enerji tüketiminde % 13.9 pay ile Kanada, % 13.2 pay ile ABD, % 10.4 pay ile Brezilya ilk üç sırayı almıştır. [1]

Dünya' da 1996 yılında, 1995 yılına göre fosil yakıtların cinslerine göre tüketim oranlarının dağılımında önemli bir değişiklik görülmemiş, petrol % 43.9 kömür % 29.9 ve doğal gaz ise % 26.1 oranlarında tüketilmiştir. [1]

Mevcut enerji kaynakları “ BP Statistical Review of World Energy Report 1996 ” da yer alan verilere göre; Dünya fosil yakıt rezervleri 140.9 milyon ton (1036.9 milyar varil)

petrol, 141.33 trilyon m³ doğal gaz, 519.4 milyon ton taşkömürü ve 512.3 milyar ton linyittir.

Dünya genelinde 14.000 TWh (1 Terrawatt / saat = 10⁶ Megawatt / saat = 10¹² Watt / saat = 3.6 * Exajoule) değerlendirilebilecek hidrolik kapasitenin olduğu, Avrupa ve Kuzey Amerika' da bu kapasitenin % 60 civarında bir bölümünün kullanıldığı buna karşın Dünya' nın geri kalan kısmında ancak % 9 - 10 hidrolik potansiyel kullanıldığı belirlenmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biomas kökenli yakıtların (odun, hayvan ve bitki artıkları ve diğer bütün çeşitler) tüketim miktarı, birçok ülkede ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde kesin olarak tespit edilememektedir.

Biomasın sanayileşmiş ülkelerdeki birincil enerji tüketimindeki payı genel olarak % 3' ün altında olup 1990 yılında Dünya' nın birincil enerji kaynağının % 12' si biomas enerjiden karşılanmış, Nepal enerji ihtiyacının % 95' ini, Kenya % 75' ini, Hindistan % 52' sini, Çin % 33' ünü, Brezilya % 25' ini, Mısır ve Fas % 20' sini biomastan karşılanmaktadır.

Güneş enerjisinin 2020 yılında Dünya enerji tüketimindeki payının % 0.8 olması beklenmektedir. 1990 yılı itibarı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının Dünya enerji üretimindeki payı % 0.7 civarında gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yakın gelecekte Dünya enerji talebini karşılamasında önemli bir paya sahip olma olasılığı çok azdır.

Rüzgar ve gel-git enerjisinden 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.

Nükleer enerji ile Dünya' daki son gelişmeler ise; 1970 yılında nükleer enerjiden elektrik üretimi 75.4 TWh ile toplam elektrik üretimi içinde % 1.5' lik paya sahip iken 1994 yılında 2.130 TWh ile % 17' lik orana ulaşmıştır. [8] 1996 yılı içerisinde, Dünya nükleer enerji tüketimi % 3.9 oranında artmış olup, Fransa tek başına nükleer enerji tüketiminin % 16.5' ini karşılamış ve Dünya tüketiminde ABD' den sonra ikinci sırada yer almıştır. 1997 yılı içerisinde Dünya genelinde nükleer reaktörlerden üretilen toplam elektrik enerjisi ise 2.276 TWh olarak gerçekleşmiş olup bu değer yine Dünya elektrik üretiminin yaklaşık olarak % 17' sidir. [11] Kurulu nükleer güç kapasitesinde 1998 yılı mart ayı itibarı ile 107 nükleer

güç reaktörü ünitesi ve 99.188 GWe (1 gigawatt elektrik = 10^9 Watt elektrik) ile ABD, 59 ünite ve 62.853 GWe ile Fransa, 54 ünite 43.850 GWe ile Japonya ilk üç ülke konumundadır. [12]

Dünya enerji üretimi ile ilgili olarak; Son yıllarda artan sayılarda yürütülen enerji tahminleri, çok sayıda farklı varsayımlara ve yöntemlere dayanmakta olup bu varsayım ve yöntemler, karşılaştırmaları ve sentezleri çok zor hale getirmektedir. Tahmin sonuçlarındaki farklılıklar temelde:

- Dünya ve bölgesel ekonomik gelişme ve senaryoları,
- Ekonomik gelişme enerji tüketimi ilişkisi varsayımı,
- Enerji üretimi ve tüketimi üzerine uygulanan fiziksel, ekonomik politik sınırlama varsayımları ve
- Farklı enerji kaynaklarının gelecekteki fiyatlarının farklı tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır.

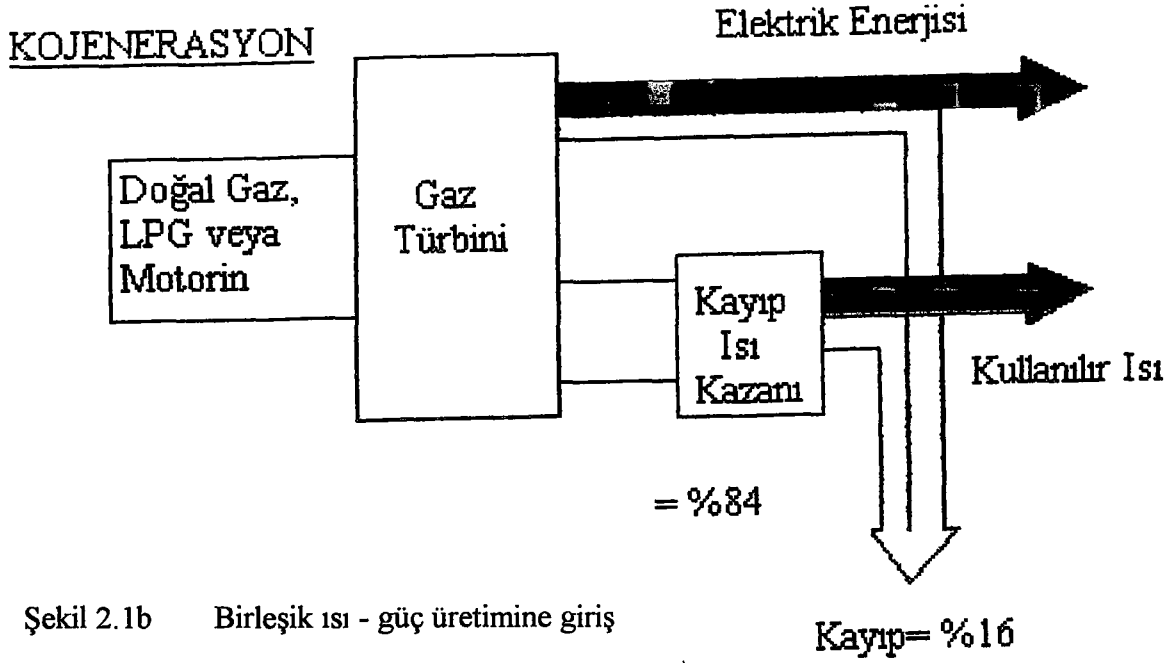
1996 yılında toplam enerji tüketiminde Kuzey Amerika ilk sırayı almakta, Uzak Doğu İkinci Batı Avrupa ise üçüncü sırayı almaktadır. Aynı yıl nükleer enerjini Batı Avrupa' da, ikinci sırada Kuzey Amerika' da ve üçüncü sırada Uzak Doğu' da tüketildiği görülmektedir. 1996 yılında Dünya genelinde elektrik üretimi için tüketilen birincil enerji toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak $1/3$ ' ü oranında iken bu oranın 2015 yılında % 39 - 41 olması beklenmektedir.

1996 yılında Dünya kişi başına elektrik tüketimi ortalaması 2.3 MWh / kişi' ye ulaşmıştır. Bölgelere göre kişi başına elektrik tüketiminde eşitsizlik görülmekte; bu Kuzey Amerika' da 13.6 MWh / kişi, Batı Avrupa' da 5.5 MWh / kişi iken Orta Doğu ve Güney Asya' da 0.6 MWh / kişi, Afrika' da 0.5 MWh / kişi' dir.

Dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerin kullanılabilir süreleri, 1996 yılı itibarı ile petrol için 42.3 yıl, doğal gaz için 66.2 yıl ve kömür için ise 224 yıl olarak öngörülmektedir. 1990 yılı itibarı ile Dünya enerji üretimindeki payı % 0.7 civarında gerçekleşen yenilenebilir enerji kaynaklarının, (hidrolik enerjisi istisnası dışında) yakın gelecekte Dünya enerji talebinin karşılanmasında önemli bir paya sahip olması olasılığı çok az görülmektedir.

Dünya’ da toplam elektrik üretimine nükleer enerjinin katkı payı 1970 yılında % 1.5 oranında iken, 1994 - 1998 yıllarında bu oran yaklaşık % 17’ ye ulaşmış, 2015 yılında ise % 12 - 15 olacağı tahmin edilmektedir. Toplam elektrik üretme kapasitesi sıralamasında 1996 yılı itibarı ile ikinci sırada bulunan Batı Avrupa’ nın yerini 2015 yılında Uzak Doğu’ ya bırakacağı, Uzak Doğu’ da nükleer enerji üretme kapasitesinin 2015 yılına kadar düzenli bir şekilde artacağı ve 2015 yılında toplam enerji tüketiminde Uzak Doğu’ nun Kuzey Amerika’ nın önüne geçerek ilk sırayı alabileceği tahmin edilmektedir. Bu değerlendirmelere göre, nükleer enerjinin yakın gelecekte önemini sürdürmeye devam etmesi beklenmektedir.





Şekil 2.1b Birleşik ısı - güç üretimine giriş

Kojenerasyonda elektrik enerjisi üretimi, kullanılan kimyasal yakıtın yanması ile önce mekanik enerjiye, ardından da bu enerjinin jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisine dönüşmesi ile elde edilir. Buhar üretimi ise yüksek sıcaklıktaki egzost gazının bir buhar kazanından geçirilmesiyle elde edilir. Bu kojenerasyon sisteminin toplam verimi % 80' in üzerindedir. Kojenerasyon sistemlerinin en önemli özelliklerinden biri de güç çıkışının ısı çıkışına oranının isteğe bağlı olarak değiştirilebilir olmasıdır. Sistem, doğal gazı önermektedir. Fizibilitenin yüksekliği doğal gaza bağlıdır. Ancak doğal gaz olmayan yörelerde sistemin kurulamaması söz konusu değildir ama sistem ekonomik olmaktan çıkabilir.

Kojenerasyon, gaz türbini veya gaz motoru ile yapılabilmektedir. Gaz türbinli sistemde; önce doğal gaz ile gaz türbini çevrilir. Türbinin ürettiği mekanik gücü bir şafta bağlı olarak jeneratörü ve elektrik üretimi gerçekleştiriyor. Yanma sonucu oluşan egzost gazı bir atık ısı kazanından geçirilerek buhar veya sıcak su elde ediliyor. Geriye kalan egzost gazı bacadan dış atmosfere bırakılıyor. Gaz motorlu sistemde de benzeri bir düzenek bulunmaktadır. Ancak gaz motorlarında ısı sadece egzosttan değil, çalışan içten yanmalı motorun soğutulması gereken gömleklerinden, karterindeki yağdan, turbo charger' dan bazen de manifoldundan toplanan ve egzosttan çıkan ısı ile birlikte kombine edilerek değerlendiriliyor. Küçük güç seviyelerinde gaz motorları gaz türbinlerine nazaran daha

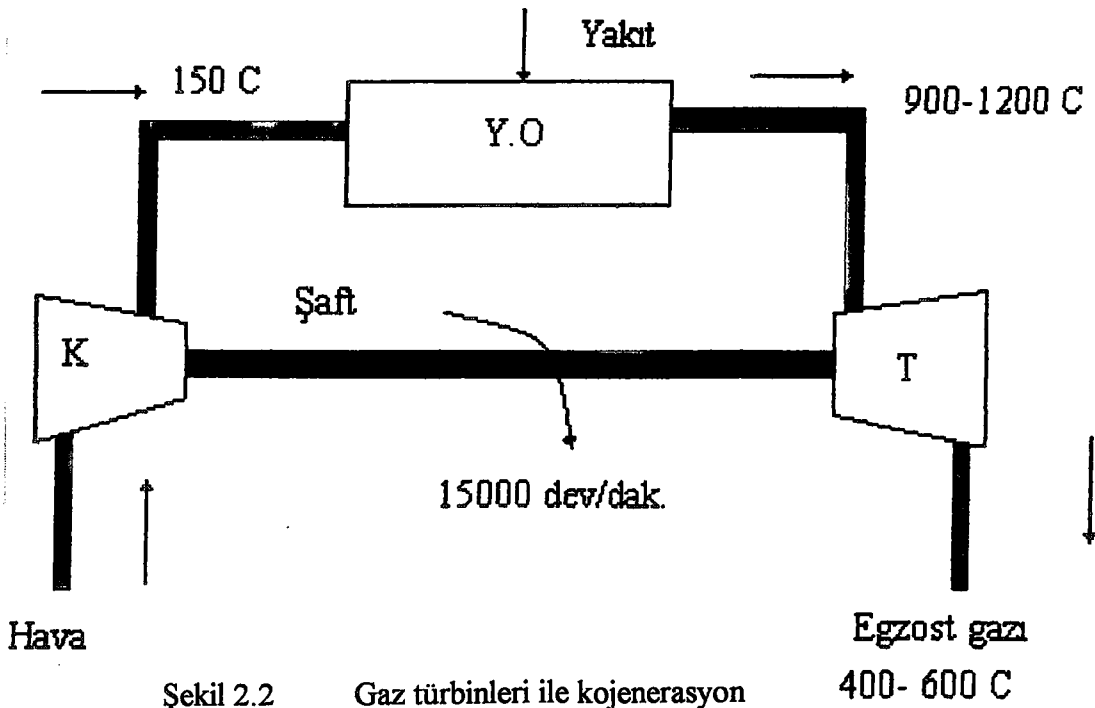
verimli bir çevrimle çalışmaktadır. Şimdi uygulamada sıkça karşımıza çıkan gaz türbinleri ile kojenerasyon sistemini inceleyelim.

2.1 Gaz türbinleri ile kojenerasyon:

Gaz türbinleri üç ana elemandan oluşur. Bunlar;

- Kompresör, K
- Yanma odası, Y.O
- Türbin, T

Kompresör tarafından emilen hava sıkıştırılır. Basıncı yaklaşık 12 kat artan havanın sıcaklığı da yükselir. 150°C civarındaki hava yanma odasına gelir. Diğer yandan yanma odasına yüksek basınçlı yakıt (doğal gaz, LPG, Motorin) püskürtülür. Havanın yakıt oranı yaklaşık 60' da biridir. Yani 60 birim hava ile 1 birim yakıt yanma odasında yüksek basınç altında yanar. Yanma sonucunda yüksek basınçlı ve 900°C ila 1200°C sıcaklığında egzost gazı açığa çıkar. Bu gaz, türbinden geçerek sistemi terk eder. Türbinin kanatçıkları çarpma etkisiyle dönecek şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla egzost gazı türbinden geçerken türbin döner. Böylece türbin ile kompresör arasında bulunan şaft da dönmeye başlar. Oluşan bu mekanik enerjiye karşılık egzost gazının sıcaklığı 400°C - 600°C ' ye düşer. Sıcaklığı ve basıncı azalmış olan ve yaklaşık % 15 O_2 içeren egzost gazı türbini terk ettikten sonra atık ısı kazanına gelir.



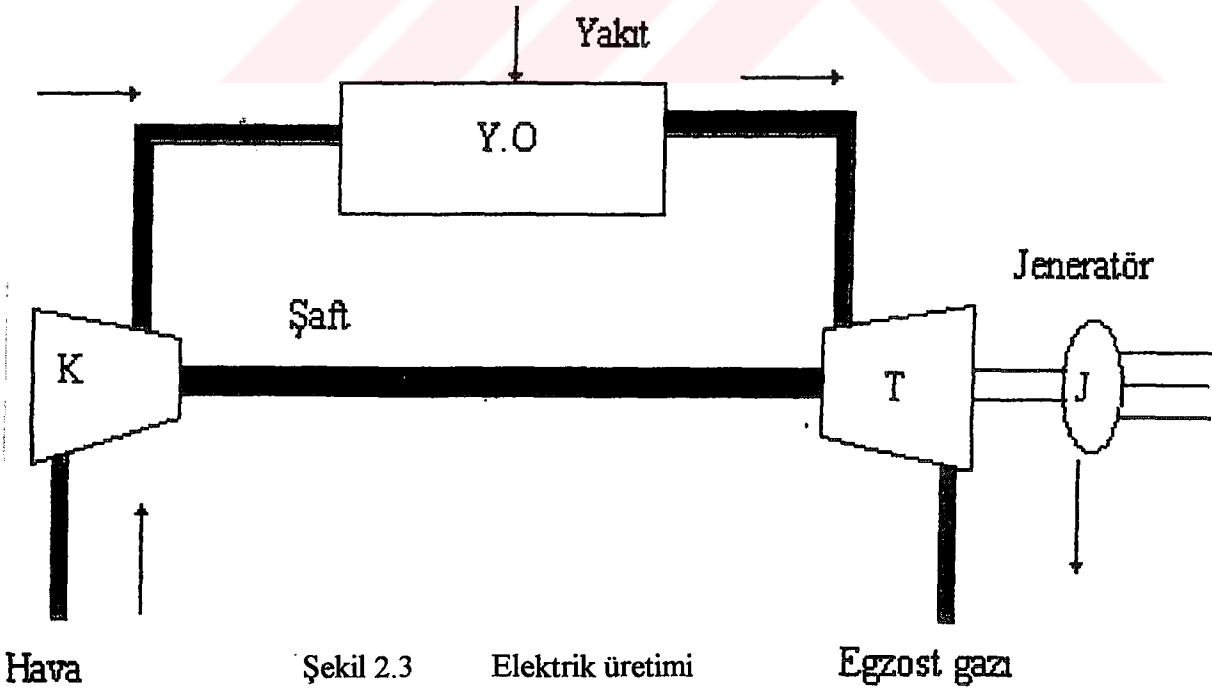
Gaz türbinlerinden maksimum verim elde edebilmek için sistem sürekli çalışmalıdır.

Sistemin avantajlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Sistem az yer kaplar. Paket halde bulunur. Dolayısıyla inşa giderleri çok azdır.
- Bilgisayar kontrollü olduğu için fazla eleman gerektirmez.
- 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 çabuktur.
- Farklı yakıt türleri kullanılabilir.
- Yüksek güvenilirlikte çalışırlar.
- Minimum çalışma bakımı gerektirirler.
- Soğutma suyu gerekmediğinden aşırı suya ihtiyacı yoktur. Bu sebeple su kaynakları yakınlarında bulunmaları gerekmez.

2.2 Elektrik üretimi

Kojenerasyon sisteminde elektrik jeneratör vasıtası ile üretilir. Türbine bağlı bulunan şaft aynı zamanda kompresöre de bağlıdır.



Şekil 2.3

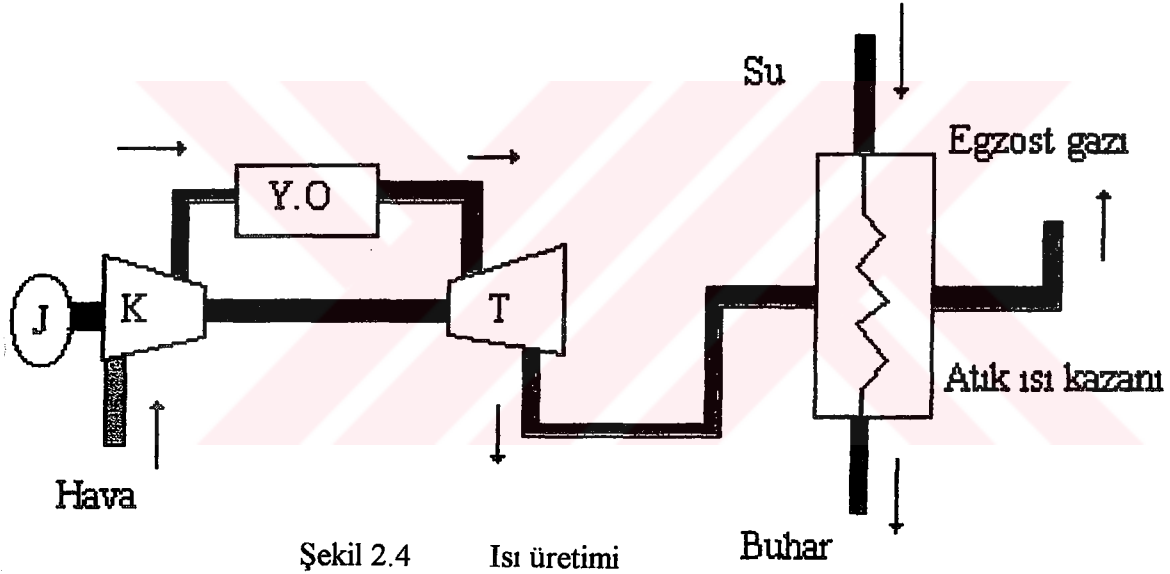
Elektrik üretimi

Egzost gazı

Şekilde de görüldüğü gibi kompresör ve türbin arasında bulunan şaft bir jeneratöre kadar uzatılır. Devir sayısı bir redüksiyon dişlisi ile ayarlanır. Şaft döndüğünde jeneratörün rotoru da döner ve sargılarda elektrik indüklenir. Bu elektrik bir yükseltici trafo vasıtası ile enerji taşıma hatlarına gider. Güç büyük olduğundan elektrik enerjisini kontrol için pratikte şalt tesisleri kullanılır. Sadece elektrik enerjisi üretimi için sistemin verimi % 30 dolayındadır.

2.3. Isı üretimi

Türbini terk eden egzost gazları atık ısı kazanından geçirilerek atılırsa buhar da üretilmiş olur. Bilindiği gibi egzost gazları $400 - 600^{\circ} \text{C}$ arasında bulunuyordu. Egzost gazlarının sahip olduğu bu ısı enerjisi, duman borulu bir atık ısı kazanında buhar enerjisine dönüşür. Buhar üretimi için sistem verimi % 45 - % 55 arasındadır.



Üretilen buhar miktarı kullanılan yakıt ve basınca bağlı olarak değişir. Buhar basıncı düştükçe kullanılan buhar miktarı da artar. Atık ısı kazanından atılan baca gazlarının sıcaklığı 200°C civarındadır. Atmosfere atılan bu enerjiden de faydalanmak mümkündür. Atık ısı kazanı ile baca arasına konan bir ekonomizör ile baca sıcaklığı 100°C ' ye kadar düşürülebilir. Genel olarak kazan sıcaklığını 20°C düşürmek kazan verimini % 1 artırma anlamına gelir. Ancak atık gazın su buharı ihtiva etmesi, bunun da korozyona sebep olması dolayısıyla baca sıcaklığı düşük tutulmaz.

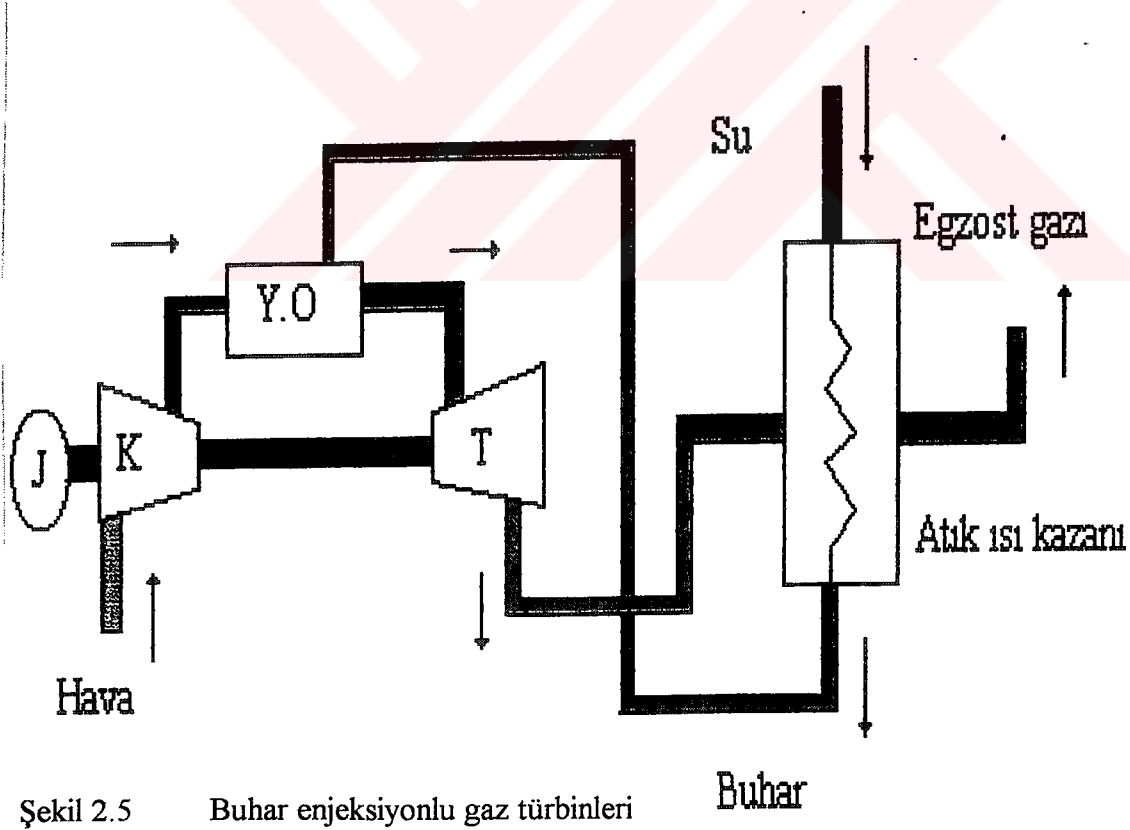
2.4 Sistemden daha fazla elektrik enerjisi almak

Kojenerasyon sisteminin avantajlarından biri de elektrik üretimi ile buhar üretiminin isteğe bağlı olarak değiştirilebilir olmasıdır. Ancak bunun için sisteme ek bir tesis gereklidir. Örneğin elektrik üretiminin daha fazla olmasını istiyorsak üretilen buharı kullanarak iki yolla elektrik üretimini artırabiliriz.

2.4.1 Buhar Enjeksiyonlu Gaz Türbinleri:

Atık ısı kazanından elde edilen buharın bir kısmı gaz türbininin yanma odasına enjekte edilebilir.

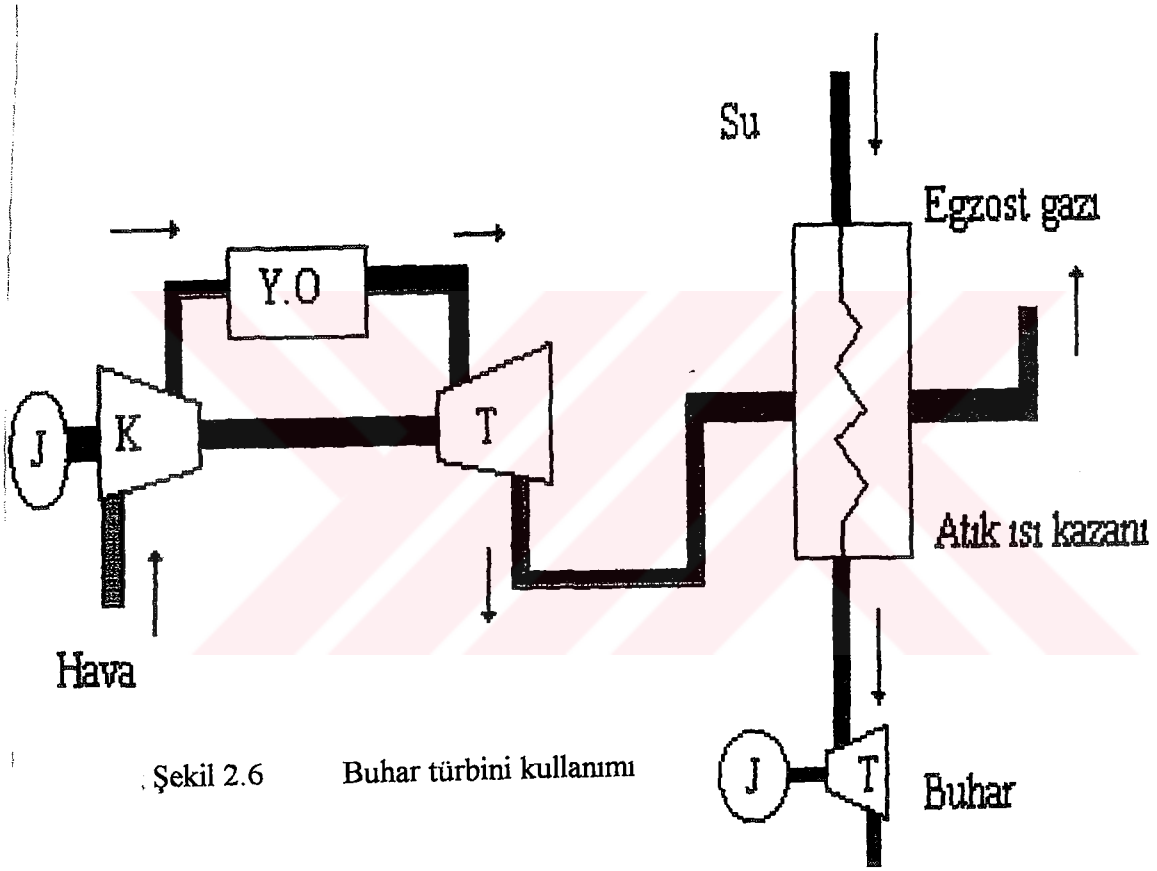
- Enjekte edilen buhar miktarı ayarlanabildiği için işletmenin ihtiyacına göre elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Burada kullanılan buhar miktarının kullanılan hava miktarına oranı % 15 dolayındadır.
- Bu ek sistem elektrik üretimini % 60 - % 80 oranında artırır.



Şekil 2.5 Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri

2.4.2 Buhar Türbini Kullanımı:

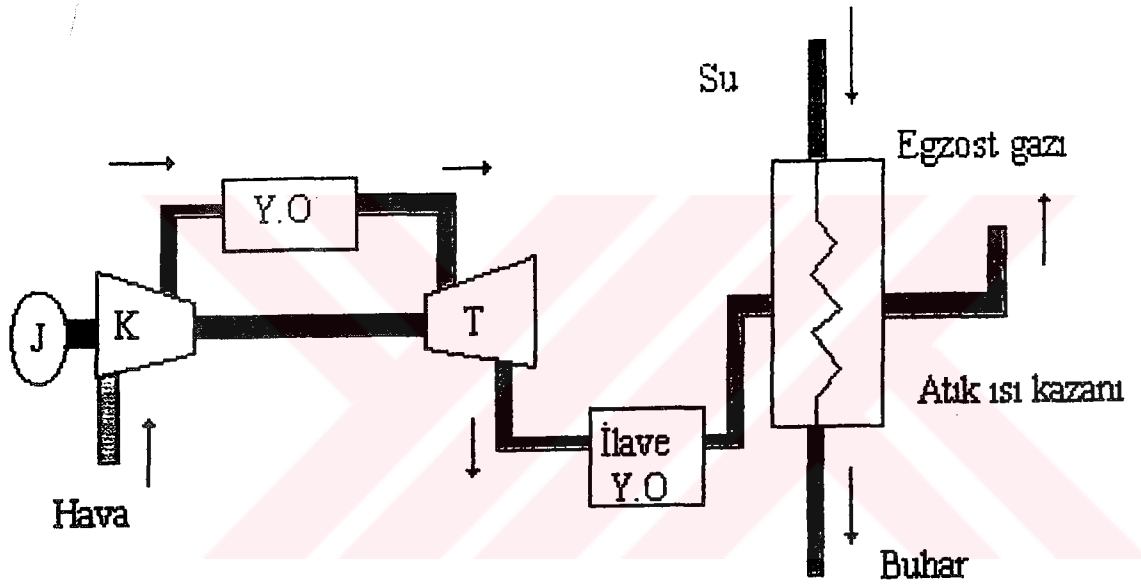
Sistemde gaz türbinin yanı sıra atık ısı kazanında üretilen buharı kullanan bir buhar türbini mevcuttur. Böylece atık ısı kazanında elde edilen buhar, bir buhar türbinine girerek elektrik enerjisine dönüşür. Bu şekilde buhar üretimi azalacak ancak elektrik üretimi artacaktır. Buhar türbininden çıkan buhar basıncı ve sıcaklığı düşmüş olacaktır.



Şekil 2.6 Buhar türbini kullanımı

2.5 Buhar üretiminin artırılması

İşletmenin buhar ihtiyacı üretilen buhardan fazla ise buhar üretimini artırmak için ilave bir yanma odası kullanılır. Gaz türbininin egzost gazları % 15 O_2 içeriyordu. Bu egzost gazları atık ısı kazanına girmeden ilave bir yanma odasında yakıtla yakılarak gazın sıcaklığı ve basıncı artırılabilir. Bu da daha fazla buhar üretimi demektir.



Şekil 2.7 Sistemden daha fazla buhar enerjisi almak

BÖLÜM 3

GAZ TÜRBİNLİ BİRLEŞİK ISI - GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ

3.1 Temel termodinamik yasa ve kavramları

Daha sonra yapacağımız hesaplarda kolaylık sağlaması ve konunun daha iyi anlaşılması amacıyla basit termodinamik kavramların verilmesi yararlı olacaktır.

Mekanik ve termal etkilerin bulunduğu mühendislik uygulamalarında kapalı sistemler için termodinamiğin birinci kanunu aşağıdaki şekilde formülle ifade edilebilir.

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = E_2 - E_1 \quad (3.1)$$

${}_1Q_2$ = 1. Durumdan 2. Duruma geçmek için ısı transferi

${}_1W_2$ = Yapılan iş

E_1 = Başlangıçtaki toplam enerji

E_2 = Son durumdaki toplam enerji

(3.1) nolu denklemde ısı ve işin aynı birimde olmasına dikkat edilmelidir. Toplam enerji, E , kinetik enerji, potansiyel enerji ve kimyasal enerji olarak birçok şekilde ortaya konulur. Kinetik ve potansiyel enerji aynı anda ele alınır. Sistemin geriye kalan enerjisi ise tek başına sistemin iç enerjisini, u , olarak isimlendirilir. O halde toplam enerji bu üçünün toplamı olarak,

$$E = \text{Kinetik enerji} + \text{Potansiyel Enerji} + \text{İç Enerji, şeklinde yazılabilir.}$$

Bu ayırımın nedeni kinetik enerji ve potansiyel enerji, kendi parametreleri olan hız, kütle ve yüksekliği değerlendirmesidir. İç enerji, u , sistem enerjisinin tüm formlarını içerir ve maddenin termodinamik özellikleri olarak düşünülür.

Elektrik santrali uygulamalarında, türbinin giriş ve çıkışlarındaki hızlar yaklaşık eşit, giriş ve çıkış arasındaki yükseklik farkının az olması nedeni ile kinetik ve potansiyel enerji değişimi sıfır kabul edilebilmektedir.

Entalpi ya da ısı miktarı, iş yapan bir akışkanın özelliği olup, $h = u + P.v$ olarak tanımlanır.

Burada,

u = iş yapan akışkanın iç enerjisini (kJ / kg),

P = iş yapan akışkanın basıncını (kpa),

v = özgül hacmini (m³ / kg)

göstermektedir. Buharın entalpi tabloları Termodinamik ile ilgili birçok kaynak kitapta bulunmakta ve “ ideal gaz ” olarak kabul edilen akışkanlar için entalpi değişimi hesabı :

$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT = C_p(T_2 - T_1) \quad (3.2)$$

biçiminde verilmektedir. Burada,

$C_p(T)$ = Gazın sabit basınçtaki özgül ısısı (kcal / kg⁰K),

T_1, T_2 = işlemden önceki ve sonraki sıcaklıklar (⁰K),

C_p = T_1, T_2 sıcaklık aralığında ortalama özgül ısı (kcal / kg⁰K)

olarak tanımlanmıştır. Pratikte, hava ve gaz türbini egzost gazı “ ideal gaz ” olarak kabul edilmektedir.

Akışkanın önemli olan bir diğer termodinamik özelliği de entropidir ve,

$$\Delta s = \int_{\text{durum 1}}^{\text{durum 2}} \frac{dq}{t} \quad (3.3)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada,

Δs = entropi değişimi (kcal / kg⁰K)

dq = durum 1’ den durum 2’ ye geçişte akışkana verilen ısı miktarı (kcal / kg),

T = mutlak sıcaklık (⁰K)

dır. Yukarıdaki ifadelerde birim olarak kcal yerine kJ’ de kullanılmaktadır.

İş yapan bir akışkanın anahtar özellikleri olan entalpi ve entropi, “ Molier diyagramı ” ya da “ entropi diyagramı ” olarak adlandırılan diyagramla verilmektedir. Şekil 3.1 ‘ de buhar için entropi diyagramının bir bölümü verilmiştir.

Buhar türbinlerinde buharın ısı enerjisinden ne ölçüde yararlanılabileceği, bu diyagramdan anlaşılmaktadır. Örnek olarak, basıncı 14 ata ve sıcaklığı 400⁰ C olan 1 kg buharın, kayıpsız çalışan bir buhar türbininde, basıncı 0.05 ata’ ya düşünceye kadar genişletilmesi

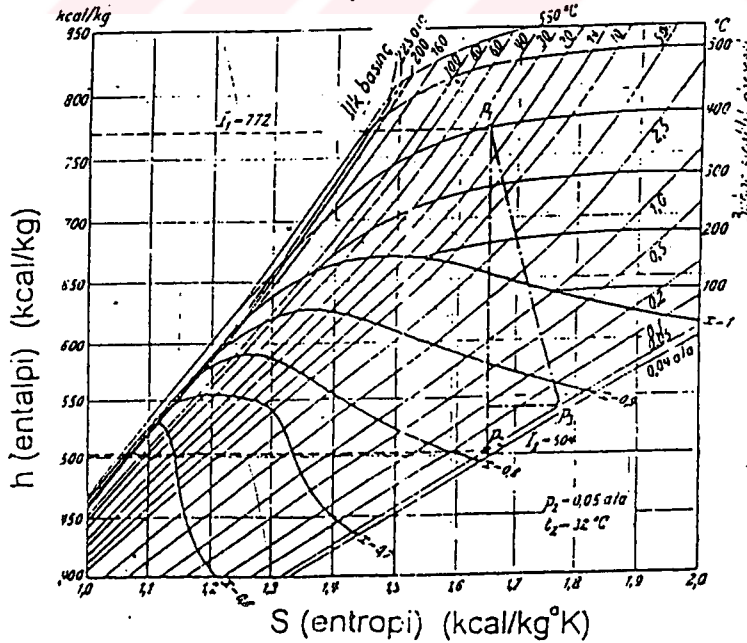
durumunda adyabatik hal değişiminde, buharın üretebileceği iş miktarı ideal olarak buhar adyabatik genişlemesinde, ısı alınıp verilmediği için, entropi artımı olmayacaktır yani ($\Delta s = 0$). Buna göre hal değişimi, diyagram üzerinde ($P_1 = 30$ ata, $T_1 = 400^\circ\text{C}$) noktasına birleştiren bir düşey çizgi ile gösterilebilir. Buharın P_1 noktasındaki entalpisi, $h_1 = 772$ kcal / kg, P_2 noktasında $h_2 = 504$ kcal / kg' dir. Mekanik işe çevrilen miktarı.

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 772 - 504 = 268 \text{ kcal / kg}$$

dır. Su - B = buhar tablosunda, P_2 noktasındaki 0,05 ata' lık doyma basıncına $T_2 = 32^\circ\text{C}$ sıcaklık karşılık düşmektedir. Türbini terk eden buhar 472 kcal / kg' lik ısıyı kondenserde soğutma suyuna verir ve yoğuşur. Yoğuşan bu buhar hala $504 - 472 = 32$ kcal / kg' lik ısıya sahip olup, bu 32 kcal / kg' lik enerji tekrar kazana gönderilmekte ve sonuç olarak çevrime $770 - 32 = 740$ kcal / kg enerji verilmekte ve bu çevrimin termik verimi

$$\eta_{th} = 268 / 740 = \% 36.2$$

olmaktadır. Görüldüğü gibi, kayıpsız bir türbinle bile, verilen ısının ancak % 36.2' si mekanik işe çevrilebilmektedir. Bu, termodinamiğin II. Yasası' nın doğal bir sonucudur. Bu yasaya göre yüksek sıcaklıklı bir kaynaktan alınan ısının tamamı işe çevrilemeyip, belli bir miktarı, düşük sıcaklıklı bir kaynağa atılmak zorundadır.



Şekil 3.1 Buharın entropi diyagramı

Fakat gerçekte, türbinin verimi de % 100 değil, daha düşüktür. Çünkü, buhar türbinin içinden geçerken iç enerji şeklinde ortaya çıkan bir sürtünme ve kısılma kaybı meydana gelir. Bu enerji her ne kadar buharın içinde kalırsa da, ısı düşmesini kötüleştirir, yani küçültülür. Bunun sonucu olarak, gerçekte entropi kayıplar nedeni ile artmakta ve yeni hal değişimi yaklaşık olarak P_1P_3 hattına göre gerçekleşmekte, entalpi farkı da doğal olarak küçülmektedir. Verilen örnekte faydalanılan miktar, teorik değer (P_1P_2 hattı) ancak % 85' kadar olup buna türbin iç verimi adı verilmektedir. Bu iç verimden dolayı faydalanılan enerji, $268 * 0.85 = 228$ kcal / kg olmaktadır.

Diğer taraftan türbinin mekanik verimi (yataklardaki sürtünmeden dolayı) yaklaşık % 98 alınabilmekte ve bu durumda mekanik iş üretiminde toplam verim;

$$\eta_{top} = 0.362 * 0.85 * 0.98 \cong \% 30 \text{ olmaktadır.}$$

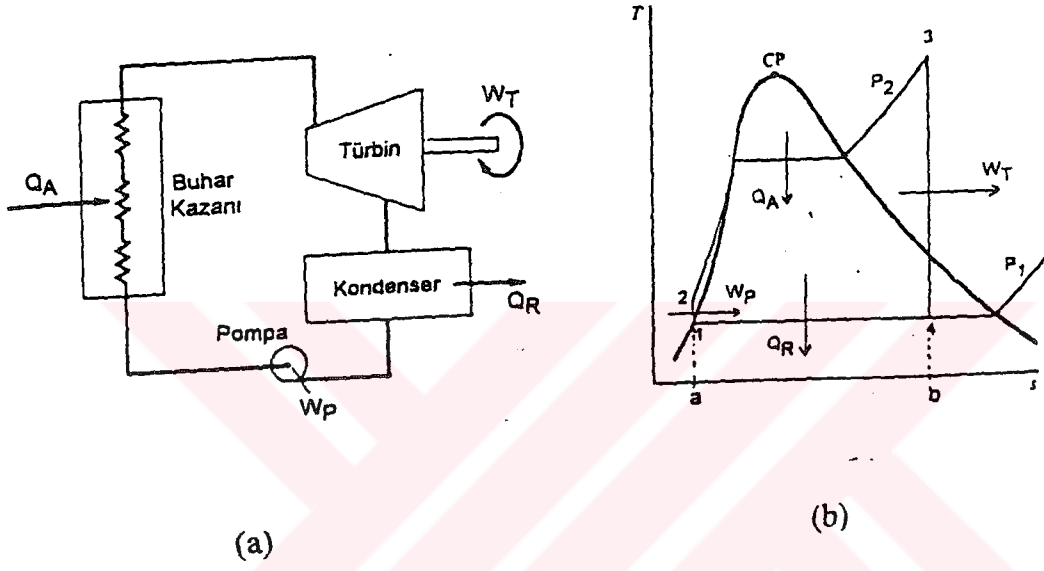
Görüldüğü gibi burada, % 70 gibi bir kayıp söz konusudur. Santrallerde üretilen enerjinin miktarı göz önüne alındığında, birincil enerji kaynağının bu düşük verimden dolayı oluşan ekonomik kaybı oldukça düşündürücüdür.

Termodinamik işlemler, bir termodinamik akışkanının ısıtılması, bir türbinde genişletilmesi, düşük kaliteli atık ısıyı atarak (veya endüstriyel işlem ısısı şeklinde kullanarak) soğutulması, sıkıştırılması ve tekrar kullanılmak üzere çevrimin başlangıca gönderilmesi biçiminde bir ısı çevrimi oluşturacak şekilde birbirleri ile bağlıdır. Bu işlemde akışkana bir ısı eklenmekte ve mekanik enerji üretilmektedir. Buhar türbinli çevrimlerde kullanılan basit bir Rankine çevrimi ve bu çevrime ait T - s (sıcaklık - entropi diyagramı) şekil 3.2 ' de gösterilmiştir.

Bu çevrimde yoğuşturucudan gelen doymuş su (1), bir pompa ile kazana basılarak, basıncı P_2 değerine çıkartır (2). Bu sıkıştırma işleminin ideal halde kayıpsız olduğu ve bu nedenle entropinin sabit kaldığı varsayılmakta olup, (2) ile (3) arasında, sabit basınçta kazandıktan ısı çekilerek suyun hal değiştirmesi ve kızgın buharın (aşırı ısıtılmış buhar) oluşturması sağlanır. (2) ile (3) arasındaki ısı girişi nedeni ile entropi artacak, (3) ile (4) arasında ise buhar kayıpsız kabul edilen türbinde P_2 basıncına kadar genişletilerek mekanik iş elde edilecektir. İdeal durumda türbin kayıpsız olduğundan, genişleme sabit entropide gerçekleşmekte, (4) ile (1) arasında ise atık buhardan ısı çekilerek yoğunlaştırılmakta ve

böylece, çevrimin başlangıç noktasına geri dönüş sağlanmış olmaktadır. Böylece bir çevrimin verimi ise.

$$\eta = \frac{ALAN(1234)}{ALAN(a23b)} \text{ olarak verilmektedir.}$$



Şekil 3.2 a)- İdeal bir Rankine çevrimi

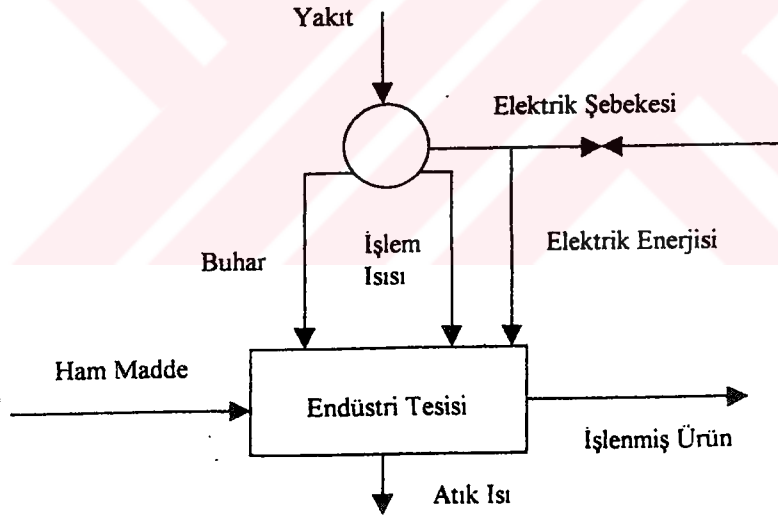
Şekil 3.2 b)- Bu çevrime ilişkin T-S diyagramı

3.2 Birleşik ısı-güç üretim türleri

Birleşik ısı-güç üretimi, çevriminin biçimine ve kullanılan güç ile ısı üretim elemanının cinsine göre iki gruba ayrılmaktadır.

Alt ve üst çevrimli türler

“ Üst Çevrim ” ve “ Alt Çevrim ” olarak ikiye ayrılan birleşik ısı - güç sistemi türlerinden, “Üst Çevrim ” de öncelikli amaç, talep edilen elektrik enerjisinin karşılanmasıdır. Burada, yakıt öncelikle elektrik ya da mil gücü üretmek amacı ile kullanılmakta, elektrik enerjisi üretiminden geri kalan atık ısı enerjisi ise ısı işlemlerde kullanılabilir kadar yeterli yüksek kalitede olduğundan (tipik olarak 3.5 bar ile 42 bar arasında doymuş veya aşırı ısıtılmış buhar) endüstriyel işleme gönderilerek endüstri tesisinin ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. Tesisin ısı ihtiyacının fazla olması durumunda yardımcı bir kazana ihtiyaç duyulabilir. Şekil 3.3’ de “Üst Çevrim ” şematik olarak gösterilmiştir.

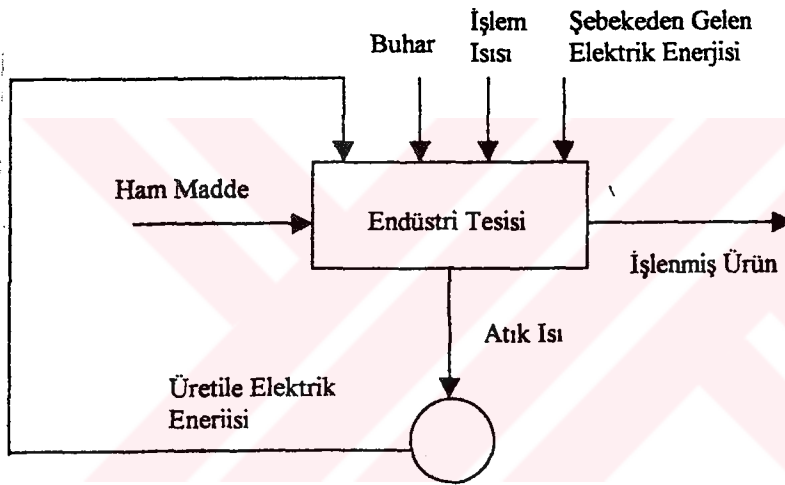


Şekil 3.3 Üst çevrim birleşik ısı - güç üretimi

Kağıt ve kimya endüstrisinde genellikle üst çevrim kullanılmaktadır. Buhar türbinli bir üst çevrimde endüstri tesisinin ihtiyaçlarına bağlı olarak işlem buharı, ya türbinin orta kısımlarından çekilmekte (ara buhar alınmasıyla kazan geri besleme suyunun ısıtılması gibi), ya da türbinin çıkışından alınmaktadır. (karşı basınç türbini)

“Alt çevrim ” de ise birincil olarak amaç tesisin ısı ihtiyacını karşılamaktır. Bu amaçla, yakılan yakıttan elde edilen ısı enerjisi tesiste kullanılmakta, kullanımdan arta kalan ısı ise, elektrik üretimi biçiminde değerlendirilmektedir. Bu çevrimde düşük verimde elektrik üretileceği açıktır. Çünkü elektrik üretmek amacıyla, şebeke termik santrallerinde olduğu gibi kondenserli bir buhar türbini kullanılacaktır. Buhar türbininden çıkan atık ısı kondanserde harcanacağından verim düşük olacaktır. Bu nedenle birleşik ısı - güç üretim sistemlerinde az olarak kullanılan alt çevrim, Şekil 3.4 ‘ de şematik olarak gösterilmiştir.

[11]

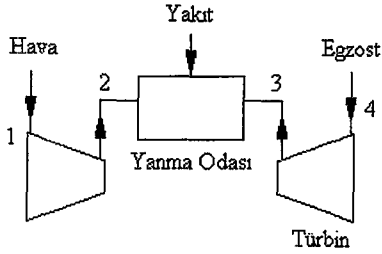


Şekil 3.4 Alt çevrim birleşik ısı - güç üretim sistemleri

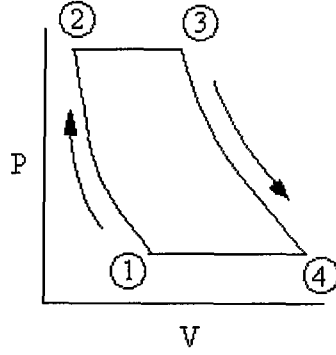
Alt çevrim uygulaması, yüksek sıcaklıklar gerektiren çimento fırınlarının kullanıldığı çimento endüstrisinde ve cam endüstrisinde görülmektedir. Ancak birçok endüstriyel tesiste nispeten daha düşük sıcaklık ve basınçta buhara gerek duyulduğundan üst çevrim uygulamaları daha yaygındır.

3.3 Gaz türbinli ve atık ısı kazanlı kojenerasyon sistemleri için temel prensipler

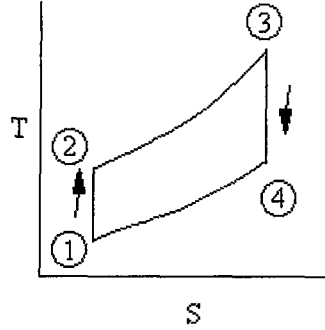
Açık çevrimli gaz türbinlerinde çevrim verimi, Brayton çevrimine göre;



Şekil 3.5 Brayton Çevrimi



Şekil 3.6



Şekil 3.7

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (\text{termodinamik verim}) \quad (3.4)$$

$$= 1 - \frac{\frac{T_3(T_4)}{T_3} - T_1}{T_3 - \frac{(T_2)T_1}{T_1}} \quad (\text{pay ve paydayı genişletirsek})$$

$$\text{Burada; } \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{(\gamma-1)/\gamma} = r^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\text{Burada Verim; } = 1 - \left(\frac{1}{r} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (3.5)$$

$$= 1 - \frac{T_4}{T_3} \quad (\text{r yerine yazılırsa}) \quad (3.6)$$

$$= 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{r yerine yazılırsa}) \quad (3.7)$$

r: Kompresör sıkıştırma oranı

γ : İzantropik sabit

Yukarıdaki (3.4), (3.5) ve (3.6) ifadelerine bakalım;

- Yüksek egzost sıcaklığı (T_4)’ nda Gaz Türbin verimi düşer
- Yanma odası sıcaklığı (T_3) ise verim artar
- Verim; maksimum noktaya; partikül yanma sıcaklığı (T_3) ile ulaşılır. Sonra basınç oranının yükselmesi ile düşer
- Verim; yüksek kompresör sıkıştırma oranı (P_2 / P_1) ile yükselir.
- Giriş sıcaklığı (T_1) düşük ve kompresör çıkış sıcaklığı (T_2) yüksek olursa verim artar

Ayrıca;

m_a : Hava kütlelerinin birim zamandaki akışı

m_f : Yakıtın birim zamandaki akış kütlesi

m : Egzost akışı kütlesi

ise;

$$m = m_a + m_f \quad (3.8)$$

Eğer sıkıştırılmış gaz ile ilgilenirsek (gaz veya sıvı yakıt) yamadan önce gaz veya yakıt hava karışım sıcaklığı : c (c sabit) ise,

Yanmadan sonra;

$$m = m.c (T_3 - T_2) \text{ olur.}$$

Gaz türbin tarafından yapılan iş = $m.c (T_3 - T_4)$ olur.

Burada egzost gazındaki ısı enerjisi : $EGIE = m.c (T_3 - T_2) - m.c (T_3 - T_4)$ ’ dür.

$$EGIE = m.c (T_4 - T_2) \quad (3.9)$$

Bu ısı; “Geri Kazanma” için mevcut olan ısıdır.

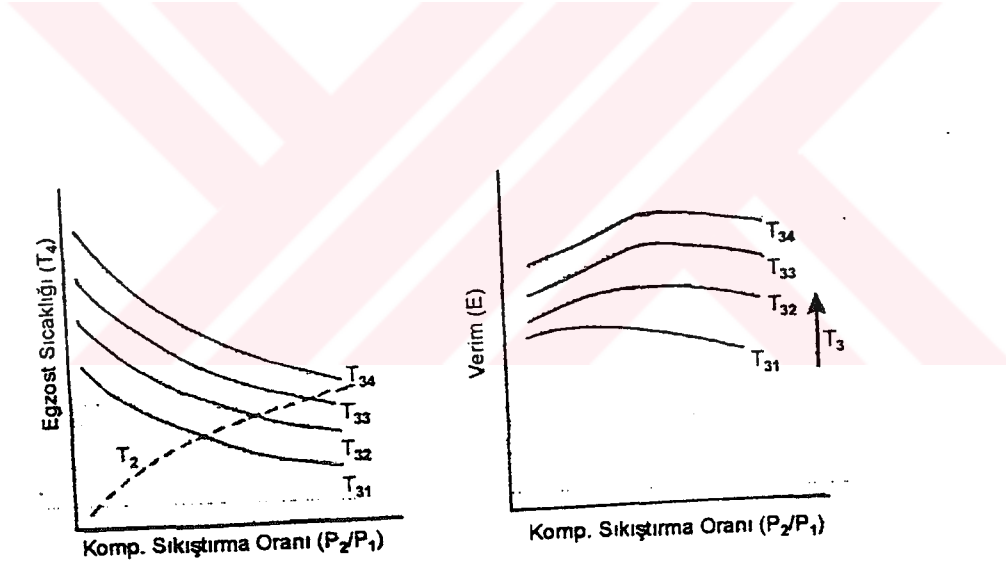
Kütleli akış oranı (m) artarsa, gaz artar. Verilen akış adımı kompresör m_a ’ sını artacaktır (hava kütlesi). Kompresör sıkıştırma oranı artarsa, kompresör üfleyicisinin kalınlığı artacak ve çok yüksek malzeme kalitesi ile dizayn değişikliği olacak.

Malzeme kalınlıkları ve streslere dayanıklılığı için özel malzeme kullanılacaktır. Bu da makina maliyetini yükseltecektir.

Sıkıştırma oranı azalır, hava kütlesi m_a akışı, arttırılabilir. Bu; hız sabit kalarak, diğer parametreler; mesela akış bölümü hacmi büyütülerek sağlanabilir.

Yanma sonucu meydana gelen özgül ısı; likit yakıt ile en yüksek derecede oluşur. Bu nedenle, egzost gazında (yakıtı göre değişen) artabilecek ısı enerjisi vardır.

Yüksek egzost gazı sıcaklığı (T_4) ve düşük kompresör çıkış sıcaklığı (T_2)' yi (Geri Kazanma Isısını) artırır. Şekil 3.8' te, kompresör sıkıştırma oranı (P_2 / P_1) ile türbin egzost sıcaklığı (T_4), yanma odası sıcaklığı (T_3) ve kompresör çıkış sıcaklığı arasında oynamalar görülmektedir. Aynı şekilde (P_2 / P_1) ile verime (η) göre (T_3) oynamaları ve birbirlerine etkileri görülmektedir. [7]



Şekil 3.8 Gaz türbinlerinde kompresör sıkıştırma oranı (P_2/P_1)'na karşılık, egzost sıcaklığı ve verim eğrileri

BÖLÜM 4

DÜNYA' DAN VE TÜRKİYE' DEN KOJENERASYON ÖRNEKLERİ

4.1 Dünyadan Kojenerasyon Örnekleri

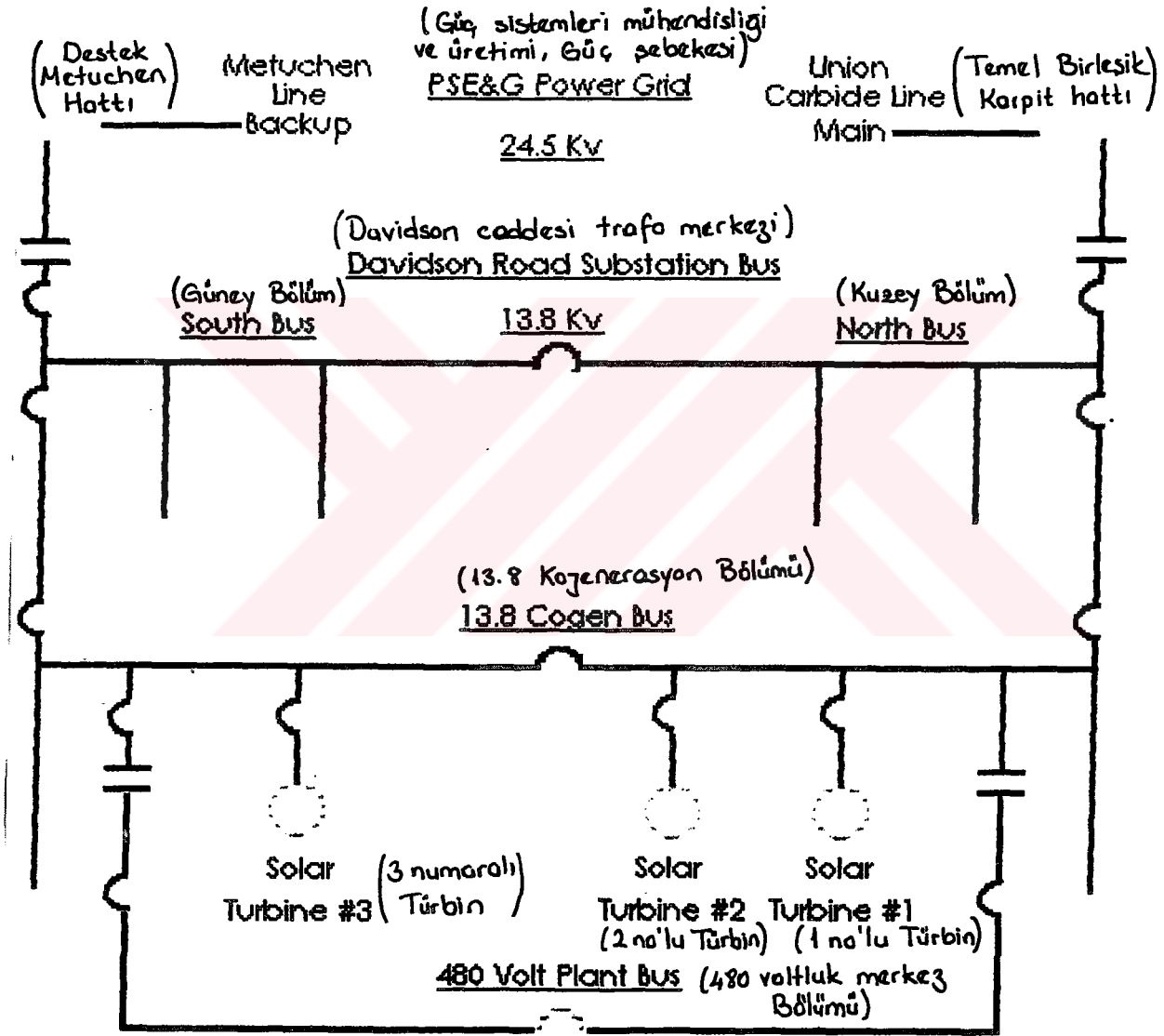
Mercy Hastanesi : Michigan, Mushegon' daki bu hastane termal ve elektrik enerjisi elde etmek için 1.23 milyon \$ değerinde bir sistem kurdu. Sistem hastanenin 802 kW' lık yükünü karşılamaktadır. Sonuç olarak hastanenin buhar ihtiyaçlarını karşılamakta ayrıca yıllık 7 milyon kWh elektrik üretmektedir. Sistem sadece ilk yılda 430.000 \$ kazandırmış olup yatırım maliyetini 3 senede geri ödemiştir.

Lorin Endüstrileri : Michigan, Mushgeon' da yer alan Lorin Endüstrileri, anotlanmış alüminyum folyo üzerinde 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 \$ bir yatırıma mal olup şirketin enerji maliyetini % 25 azaltmış olup ve 5 yıl içerisinde kendi maliyetini kapatacağı düşünülmektedir.

Bush Kojenerasyon Projesi Hakkında : 1995 Aralık' ında Rutgers Üniversitesi tarafından Bush kojenerasyon, elektriksel güç jenerasyonunu başlattı. New Brunswick NJ' de bulunan Rutgers üniversitesi kampüsünde bulunan bu tesisat Bush ve Livingston kampüslerinin her ikisine de elektrik ve termal enerjiyi sağlamaktadır. Buhar jenerasyonu, soğuk emilim ve ısıtma için yüksek sıcaklıkta su buharı üretilir ve 13 MW' tan fazla elektrik Rutgers Kampüsünde kullanılmak üzere üretilir.

Isı üretimi : 3 Gaz türbinin ve 3 tüp yakıcısından yüksek sıcaklıktaki egzosttan faydalanarak elde edilmiştir. Bu gaz türbinleri Solar Türbinleri AŞ, tüp yakıcılar ise Forney Corporation tarafından üretilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz tüketilir; gerektiğinde dizel yakıt destek yakıt olarak kullanılabilir. Jenere edilen 13.5 MW' lık elektrik gücü kampüsün % 90' lık ihtiyacını karşılamaktadır.

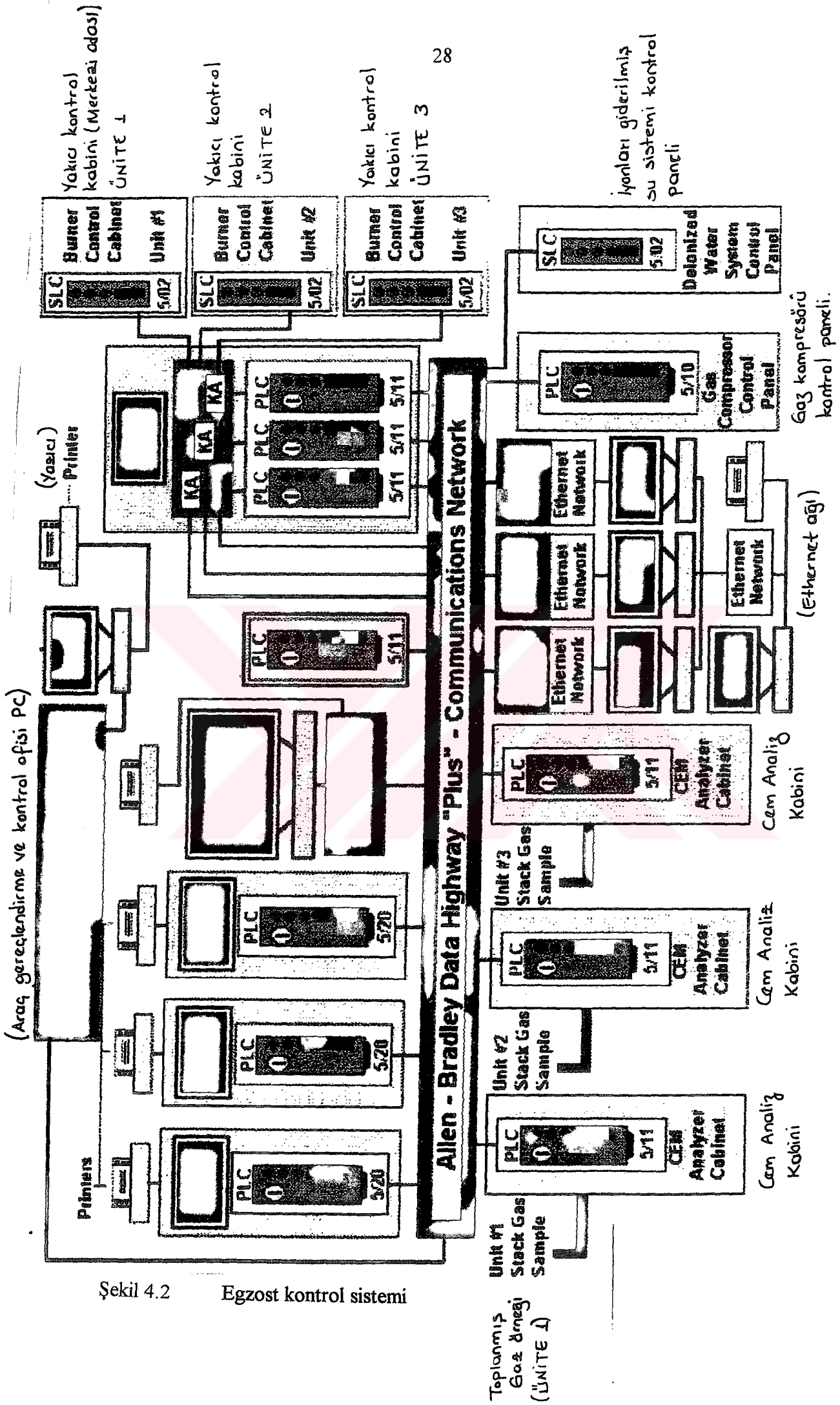
Elektrik dağıtım sistemi: Busch kojenerasyon tesisi 13.8 kV ve 60 Hz' de Busch ve Livigston kampüslerinin elektrik ihtiyacının % 90' ından fazlasını sağlar. Tesis 13.5 MW gücünü standart üretir, kampüs şebekesi iki transformatör yolu ile, yerel kamu hizmetleri bir trafoya bağlıdır. Trafo 24.5 kV' luk bir elektrik gücü üretir ve bu güç daha sonra transformatörlerde 13.8 kV' a indirgenir.



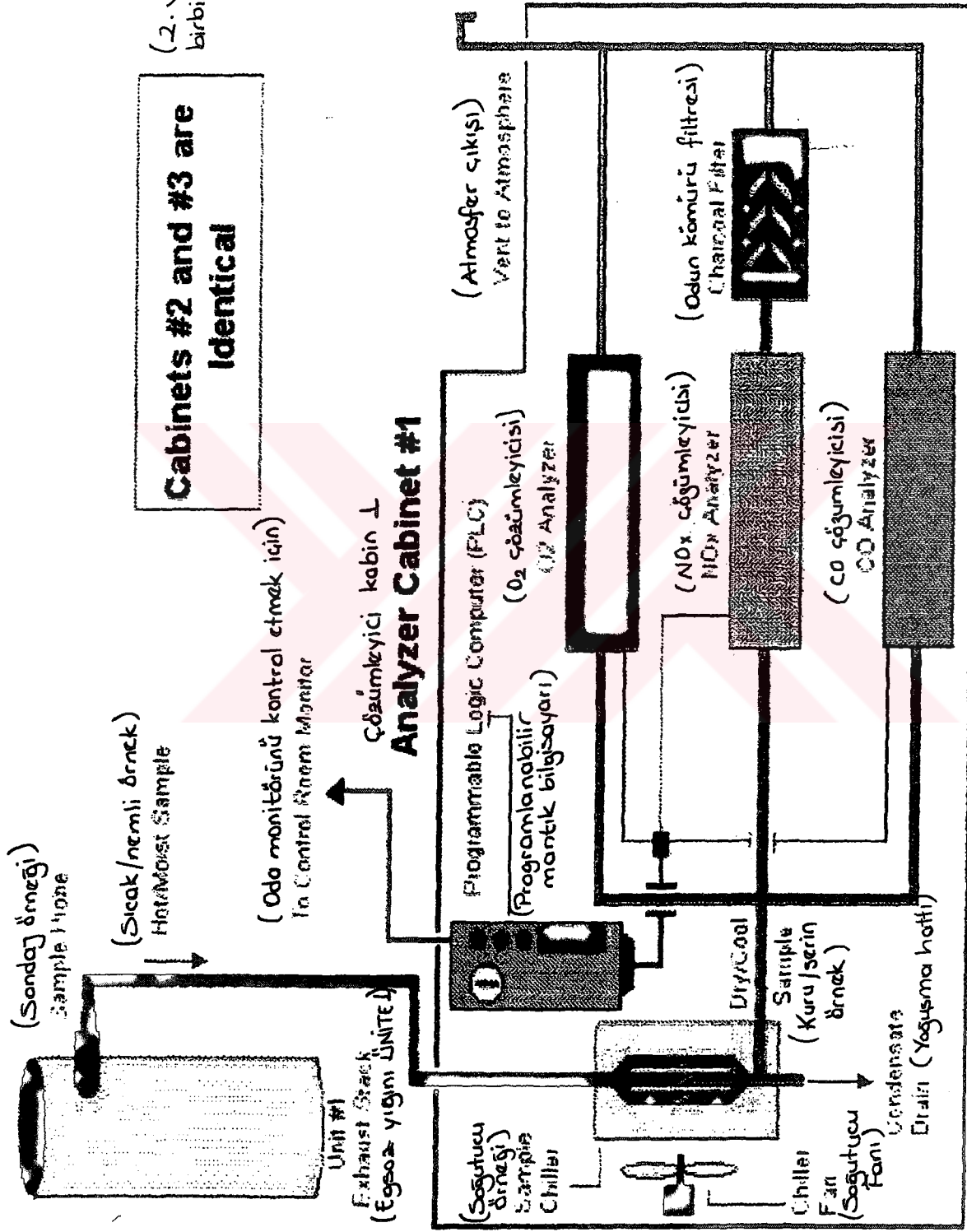
Şekil 4.1 Elektrik Dağıtım Sistemi

Egzost kontrol sistemi : Rutgers Kamu Hizmetleri çevreyi korumak amacıyla Busch kojenerasyon sistemi için bir egzost kontrol sistemi belirlemiştir. California, Santa Barbara' da Anarad AŞ tarafından üretilmiş olan bu sistemle devamlı karbon monoksit, nitrojen oksitlerini (NO_x) ve diğer gazların oksijen konsantrasyonları kontrol edilebilir ev böylece merkez için en verimli ve temiz olarak çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Bir egzost gazı örneği analizör kabinlerine alınır. Bu analizör kabinlerinde ilk olarak gaz sıcaklığını 410^0 C ' ye kadar indirecek olan bir soğutucudan geçirilir. Gaz örneği 3 analizörden geçirilir. Bunlar, oksijen, karbon monoksit ve azot oksitleridir.





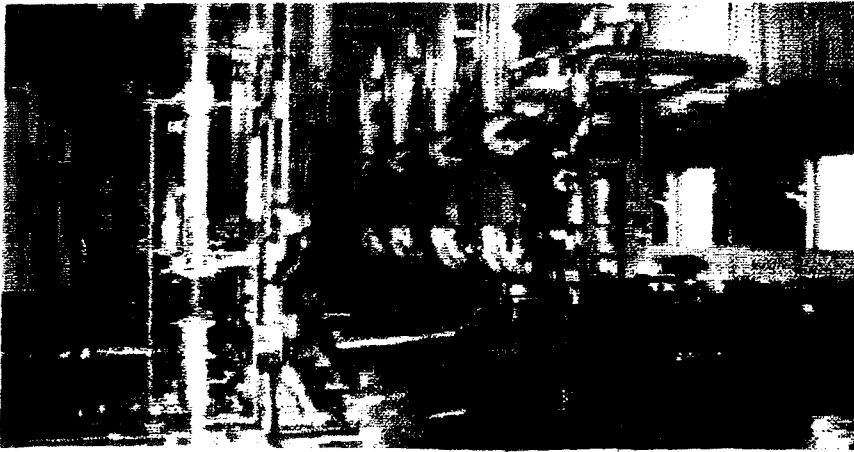
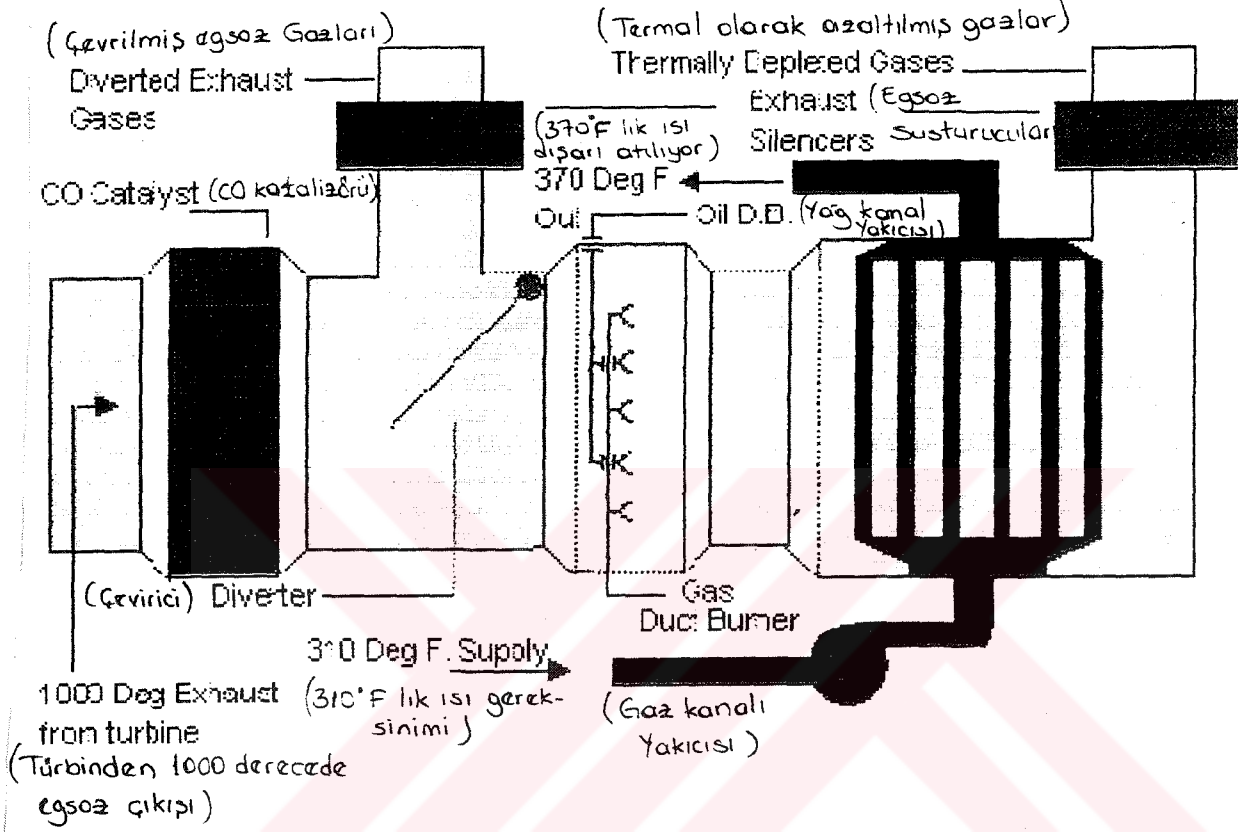
Şekil 4.2 Egzost kontrol sistemi



Şekil 4.3

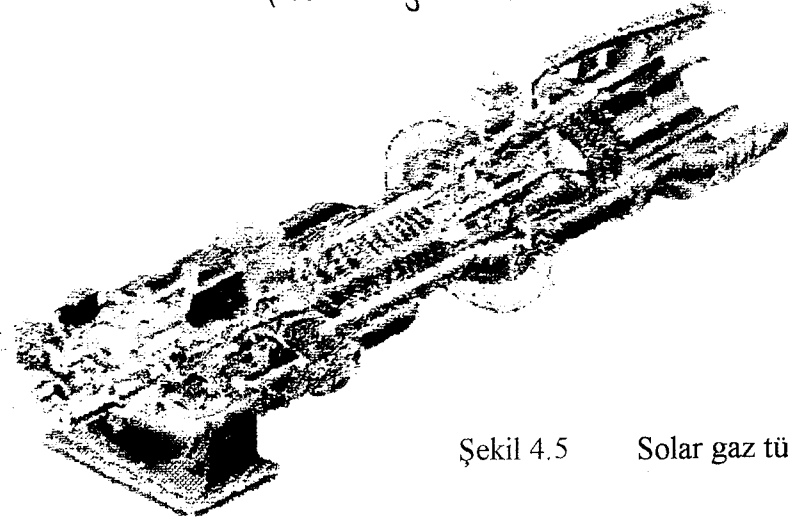
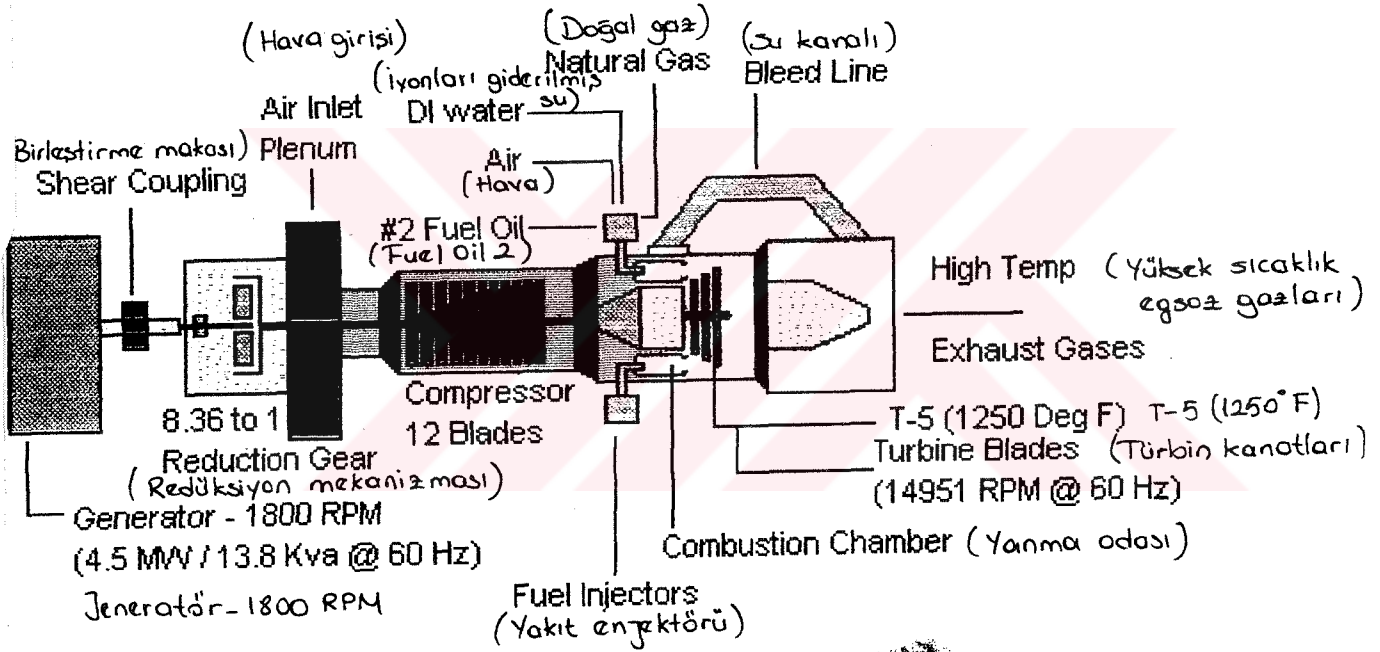
Egzost kontrol sistemi

Isı Üretim Sistemi : Türbin egzostundaki sıcaklık su ısıtıcılarına doğru yönlendirilir. Üç tane mevcut olan solar türbinlerinin egzost gazları tarafından taşınan termal enerjiyi kullanabilmek için su ısıtıcılarına gereksinim doğar. Su ısıtıcıları sayesinde 370⁰ C' deki sıcak su kampüse dağıtılır. Su ısıtıcıları sayesinde türbin egzostundan 25 milyon Btu / hr toplam ısı elde edilir.



Şekil 4.4 Isı üretim sistemi

Solar Gaz Türbinleri : Busch Kojenerasyon projesinde 3 tane solar çift yakıtlı türbin kullanılmaktadır. Bu türbinler doğal gazdan kimyasal enerji elde etmek ya da dizel yakıtı mekanik enerjiye çevirmek için kullanılır. Solar türbinlerde, yakıt 12 enjektör tarafından enjekte edilir. Bu enjektörler yanma odasının etrafında simetrik olarak sıralanmıştır. Yakıtın yanması sonucu oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar türbin milini 14.951 rpm gibi bir hızla döndürmektedir. Üretilen enerjinin 2/3' ü havayı sıkıştırmak için, kullanılan kompresöre, 1/3' ü ise elektrik enerjisine dönüştürülür. Ayrıca yanma esnasında yakıt ve havaya ek olarak iyonları giderilmiş su ile yanma odası beslenir. Böylece yanma alevinin sıcaklığı düşürülmüş olunur. Alevin sıcaklığının düşürülmesi NO_x kayıplarını azaltır.



Şekil 4.5 Solar gaz türbinleri

4.2 Türkiye' de Kojenerasyon Örnekleri

Yalova Elyaf ve İplik Sanayi AŞ : Akrilik elyaf ve ip üretiminde Türkiye' nin iki kuruluşundan biri olan Yalova Elyaf ve İplik Sanayi AŞ, enerji giderlerinde tasarruf sağlamak ve enerji temin güvencesini artırmak amacıyla, tesisin elektrik enerjisi ve proses buharı ihtiyaçlarını bir arada karşılayacak bir gaz türbini santralının yatırım etütleri ve projelendirilmesine 1990 yılı ortalarında başlayarak 1991 yılının ilk yarısında bu çalışmayı tamamlamıştır.

Yapılan ayrıntılı etütlerde öncelikle santralin, 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 bir üçüncü ünitenin eklenerek üç üniteden oluşturulması düşünülmüştür.

Santral ana hatları ile, iki adet gaz türbini, bunların egzost gazları ile beslenecek iki adet ilave ateşlemesiz duman borulu atık ısı kazanı ve ekonomizör, 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 teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

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 |
| Egzost gazı debisi | 17,08 kg / s |
| Egzost gazı sıcaklığı | 498 ⁰ C |

Atık Isı 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 net kapasitesi, 7524 kW güç ve 20 t / h, 16 bar, doymuş buhar üretimini sağlayacak boyutta olmaktadır.

Yalova Elyaf, mevcut durumda elektrik enerjisini 34.5 kV' lik TEK şebekesinden temin etmektedir. Santralde de, 11 kV' ye yükseltilerek TEK şebekesi ile 34.5 kV' lik ana barada paralel geçilecek, fabrika buradan TEK' e paralel olarak veya yalnız santral tarafından TEK' ten bağımsız bir şekilde beslenebilecektir. TEK şebekesi ile paralel çalışma durumu ve istenildiğinde TEK' e enerji aktarımı göz önüne alınarak, 34.5 kV' lik şalt tesisinde bulunan sayaç gurubu enerji alım ve satımına imkan tanıyacak şekilde çift taraflı olarak tesis edilmiştir.

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

Ekonomizör çıkışında 170⁰ C olan egzost gazı sıcaklığı, baca içinde 165⁰ C' ye düşmektedir. Baca içine yerleştirilecek ilave bir ısı eşanjörü ile baca gazı sıcaklığının 100-

120⁰ C düzeyinde düşürülerek sıcak su üretimi ve bir absorpsiyon soğutucu vasıtası ile soğutma yapılması da ayrıca incelenmiş, ileride bu şekilde santral toplam çevrim veriminin artırılması mümkün olduğu görülmüştür.

Santral kumanda kontrol merkezi, aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır.

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

Altıyıldız Konfeksiyon AŞ : Altıyıldız kumaş fabrikalarında Ekim ayında (1997) faaliyete geçmiş olan proje ile kendi elektriğini kendi üretecek. Geri ödeme süresi yaklaşık 2 - 3 yıl olan bu proje ile TEK' e bir kWh için 0.07 \$ öderken doğal gaz yakarak maliyet 0.04 \$ indirilecek. Proje sadece elektrik üretmek amacıyla değil, ayrıca saatte 11.5 ton buhar üretilen. Buhar da üretim ve sıcak su araçlarında kullanılarak projenin verimliliği % 29 elektrik % 46 ısı enerjisi olup toplam verim yaklaşık olarak % 75' tir. Proje Gürdel Mühendislik tarafından üstlenilmiştir. Türbin İsviçre' den Tuma Turbomachsa tarafından alınıyor.

BÖLÜM 5

BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE OPTİMUM SİSTEM KAPASİTESİ VE TÜRÜNÜN SAPTANMASI

Burada, elektrik ve ısı enerjisi gereksinimlerini karşılamak üzere bir B.I.G.Ü. tesisinin ekonomik olup olmayacağını, hangi güçte ve türde bir çevrim seçmesinin daha ekonomik olacağını tespiti ele alınmıştır.

5.1 Enerji Üretiminde Seçenekler

Enerji üretiminde beş tür çevrim seçeneği var olup, bunlar;

1. : Buhar gereksiniminin bir buhar kazanından, elektrik enerjisi gereksiniminin ise elektrik şebekesinden elde edilmesi biçiminde olan klasik sistem,
2. : Buhar türbinli sistem
3. : Ateşlemesiz veya ilave ateşlemeli atık ısı kazanı ve gaz türbininden oluşan bir sistem,
4. : Ateşlemesiz veya ilave ateşlemeli atık ısı kazanı, gaz türbini ve buhar türbininden oluşan bir kombine çevrim sistemi, olarak verilebilmektedir.

Aşağı da, bu beş farklı çevrimin ekonomik durumunu belirleyecek denklemler oluşturulacak ve bunların çözümü sonucunda en uygun seçenek ortaya çıkarılacaktır.

Burada, ele alınan sanayi tesisinin buhar gereksinimi ve elektrik güçlerinin zamanla değiştiğini göstermek üzere, ele alınan bir günlük sürenin, daha küçük zaman dilimlerine bölüdüğü ve her dilim boyunca ihtiyacın sabit kaldığı, ancak her bir ayrı dilimdeki değer, günlük yük değişiminin gereği olarak birbirinden farklı olduğu kabul edilmiştir (sürekli değişimin basamaklı bir değişime dönüştürülmesi). Tesisin , yıl boyunca günlük yük karakteristiklerinin aynı kaldığı varsayılarak (ortalama günlük yük eğrisi kabulü), çözüm basitleştirilmiştir. Ancak, bu varsayımın, çözümün doğruluk derecesini azalttığı bir gerçektir. Böyle bir varsayımın yapılması, denklemlerdeki bilinmeyen sayısını azaltacağı için, çözüm daha basit olacaktır. Ayrıca, bir günlük süre içindeki zaman dilimlerinin

sayısının artırılması da doğruluğu pozitif yönde etkilemekle beraber, bilinmeyen sayısını çoğaltması nedeniyle karmaşıklığın artmasına yol açacaktır [11].

Bu incelemede ele alınan endüstri tesisiyle ilgili olarak, aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

Bunlar,

N : bir gün içindeki zaman dilimlerinin sayısı,

j : zaman diliminin numarası,

t : bir zaman diliminin süresi (saat),

k : bir yıl boyunca tesisin işletmede kaldığı gün sayısı,

P_j : tesisin j . Dilimindeki elektrik gücü gereksinimi (kW),

m_j : tesisin j . Dilimindeki buhar gereksinimi (ton/saat),

p_g, T_g, h_g : ihtiyaç duyulan buhar basıncı, sıcaklığı ve entalpisi (bar, °C, kJ/kg),

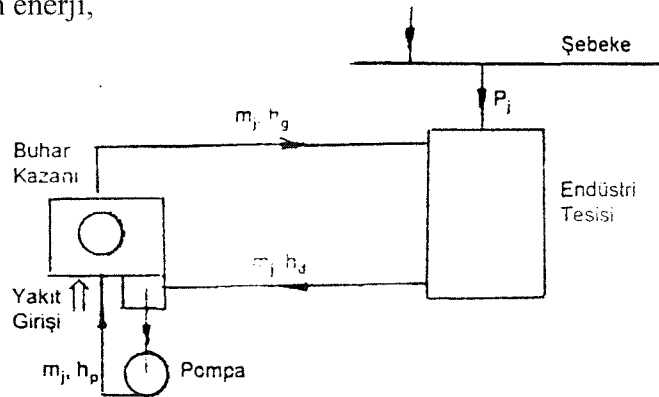
p_d, T_d, h_d : tesiste işlemde geçtikten sonra çevrime geri dönen su yada buhar

basıncı, sıcaklığı ve entalpisi (bar, °C, kJ/kg),

Buna göre, seçenekler sırayla ele alınıp, gerekli incelemeler yapılacaktır.

1.Seçenek: Buhar gereksiniminin bir buhar kazanından, elektrik enerjisi gereksiniminin ise elektrik şebekesinden elde edilmesi

Burada, ilk adımda h_g ve h_d parametreleri gidiş ve dönüş buhar koşullarına göre termodinamik tablolardan bulunmaktadır. Kolaylık açısından, geri besleme suyu pompasını n, entalpide yapacağı değişiklik ihmal edilerek $h_p = h_d$ alınırsa, kazan tarafından buharın birim kütesine verilen enerji,



$$\Delta h = h_g - h_d$$

(5.1)

biçiminde ifade edilebilir.

Endüstri tesisinin yıllık enerji maliyeti,

Şekil 5.1 Klasik sistemin şematik gösterilimi

$$A = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N P_j \cdot f \quad (5.2)$$

Buhar kazanında kullandığı yıllık yakıt maliyeti,

$$Y = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N m_j \cdot \Delta h \cdot y / \eta_k \quad (5.3)$$

Buhar kazanından yıllık işletme bakım maliyeti,

$$I = \text{Max}(m_1, m_2, \dots, m_N) \cdot \Delta h \cdot (i + b) \quad (5.4)$$

Bir yıllık toplam maliyet,

$$C = A + Y + I \quad (\$/\text{yıl}) \quad (5.1)$$

Burada ,

f : elektrik enerjisi satan kuruluşun enerji birim satış fiyatı (\$/kWh),

y : birim yakıt fiyatı (\$/milyon kJ),

η_k : buhar kazanının verimi,

$\text{Max}(m_1, m_2, \dots, m_N)$: m_1, m_2, \dots, m_N içinde en büyük değerde olanı,

$i + b$: buhar kazanının yıllık birim işletme ve bakım masrafı [(\$/yıl) / (kJ/h)]

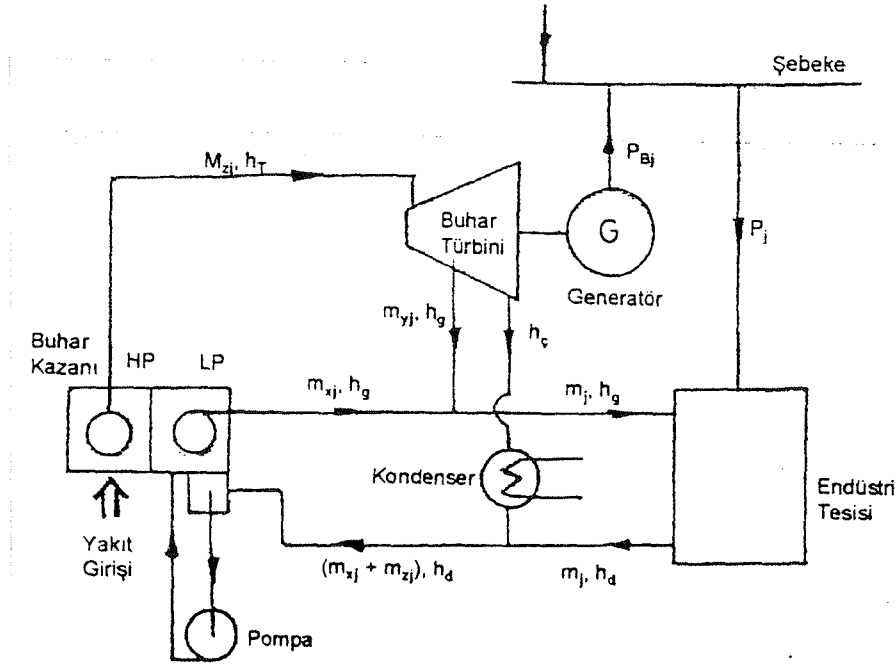
Buhar kazanının tesis maliyeti,

$$A = a \cdot \text{Max}(m_1, m_2, \dots, m_N) \cdot \Delta h \quad (\$) \quad (5.6)$$

biçiminde olup, burada,

a : birim tesis maliyeti (\$/kJ/h)' dir.

2.Seçenek: Buhar türbinli sistem



Şekil 5.2 . Buhar türbinli bir çevrimin şematik gösterilimi

Buhar türbininin j. dilimde ürettiği mekanik güç,

$$P_{BTj} = [m_{zj} \cdot (h_T - h_g) + (m_{zj} - m_{yj}) \cdot (h_g - h_c)] \cdot 1/3600 \text{ (kW)} \quad (5.7)$$

dır. Elektriksel güç ise, geri besleme suyu pompasının çektiği gücün iç ihtiyaç gücü olarak düşünülmesi ve bunun üretilen elektriksel gücün yaklaşık %4' ü olduğu kabulü ile,

$$P_{Bj} = P_{BTj} \cdot \eta_g \cdot 0,96 \text{ (kW)} \quad (5.8)$$

biçiminde hesaplanacaktır. Burada,

h_T : kazandan çıkıp türbine giren buharın entalpisi (kJ/kg),

h_c : türbinden çıkıp kondensere giren buharın entalpisi (kJ/kg),

m_{zj} : j. dilimde, kazanın yüksek basınçlı bölümden çıkan buharın debisi (ton/saat),

m_{xj} : j. dilimde, kazanın düşük basınçlı bölümden çıkan buharın debisi (ton/saat),

m_{yj} : j. dilimde, türbinin ara buhar alma noktasından çekilen yada bu noktadan türbine giren çıkan buharın debisi (ton/saat),

η_g : jeneratör verimi,

olarak tanımlanmıştır.

j. dilimde gerekli birim yakıt miktarı,

$$Y_{Bj} = [m_{xj} \cdot h_g + m_{zj} \cdot h_T - (m_{xj} + m_{zj}) \cdot h_d] \cdot \eta_k \text{ (kJ/h)} \quad (5.9)$$

Bu çevrimde, şebekeden alınan yıllık elektrik enerjisinin maliyeti,

$$A_B = k \cdot t \cdot \sum_{j=1} \text{Max}[(P_j - P_{Bj}), 0] \cdot f \quad (5.10)$$

Şebekeye elektrik enerjisi satışından yıllık elde edilecek gelir,

$$S_B = k \cdot t \cdot \sum_{j=1} \text{Max}[(P_{Bj} - P_j), 0] \cdot g \quad (5.11)$$

Yıllık yakıt masrafı ise,

$$Y_B = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N Y_{Bj} \cdot f \quad (5.12)$$

Biçiminde hesaplanacaktır. Burada,

g : elektriğin şebekeye satışındaki birim fiyatı (\$/kWh)

dır. $\text{Max} [(P_{Bj} - P_j), 0]$ ifadesi, $(P_{Bj} - P_j)$ ' nin kontrolünü yapıp, bu değerın sıfırdan büyük olduğu durumlarda $(P_{Bj} - P_j)$ değerinin alınacağını, sıfırdan küçük olduğundaysa sıfır olarak alınacağını göstermektedir [12].

Bu çevrimde, bakım ve işletme masrafı dahil yıllık üretim masrafı,

$$C_B = A_B - S_B + Y_B + \text{Max}(P_{BT1}, P_{BT2}, \dots, P_{BTN}) \cdot (i_B + b_B) \text{ (\$/yıl)} \quad (5.13)$$

Tesisin maliyeti,

$$M_B = a_B \cdot \text{Max}(P_{BT1}, P_{BT2}, \dots, P_{BTN}) \text{ (\$)} \quad (5.14)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada ,

- i_B, b_B : buhar türbinli çevrimin yıllık bakım ve işletme masrafları (\$/yıl/kW),
 a_B : buhar türbinli çevrimin birim tesis maliyeti (\$/kW),

olup, bu değerler çevrimin gücüne göre değişmektedir. Değişik güçlerdeki buhar türbinli çevrimlerin maliyetleri ve yıllık işletme masrafları kullanılarak, a_B ve i_B ' nin değerleri için bazı ampirik formüller (P_{BT} ' ye bağlı), eğri uydurma yöntemiyle bulunabilmekte, bu işlemler için mevcut bir takım paket programlardan faydalanılabilir. Genellikle, birim bakım masrafı (b_B), birim tesis masrafının (a_B) %3' ü mertebesinde dir. Bu genellemenin yapılması büyük bir hata getirmemektedir.

Bu matematiksel modellerin amacı, klasik bir sistem olan 1.seçeneğe göre yapılan yatırım farkının, klasik sisteme göre elde edilen yıllık üretim masrafı farkı (avantajı) ile geri ödendiği düşünülürse, bu geri ödeme süresini minimum yapan buhar türbini gücü, bu minimum geri ödeme süresini ve buhar kazanı kapasitesini bulmaktadır. Burada amaç fonksiyonu için,

Geri Ödeme Süresi,

$$H(m_{xj}, m_{yj}, m_{zj}, h_T) = (M_B - M) / (C - C_B) \quad (5.15)$$

ve sınır koşulları ise,

$$m_j = m_{xj} + m_{yj} \quad (5.16)$$

$$m_{xj}, m_{zj}, h_T \geq 0 \quad (5.17)$$

$$P_{BTj} \geq P_{BTmin} \quad (5.18)$$

ifadeleri yazılabilecektir. Burada, P_{BTmin} imal edilen en küçük buhar türbini gücüdür.

Sınır koşulları ve amaç fonksiyonları biçiminde verilen bu denklemlerin, matematiksel programlama teknikleri ile çözümü sonucunda, buhar kazanı kapasitesi ve buhar türbini gücü belirlenmiş olmakla kalmayıp, ayrıca bunların gün içindeki çalışma programları da elde edilebilmektedir.

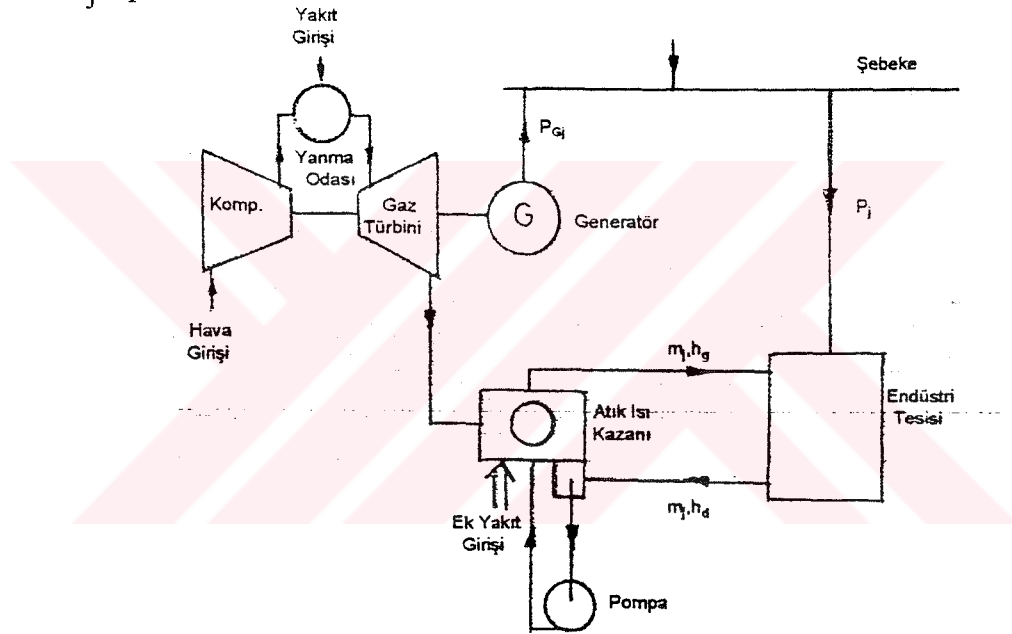
3.Seçenek: Ateşlemesiz veya ilave ateşlemeli atık ısı kazanı ve gaz türbininden oluşan bir sistem

Sadece atık ısı kazanı ve gaz türbininden oluşan bu çevrimde ,
Şebekeden elektrik enerjisi alım masrafı,

$$A_G = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(P_j - P_{Gj}), 0] \cdot f \quad (5-19)$$

Şebekeye elektrik enerjisi satışında elde edilen gelir

$$S_G = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(P_{Gj} - P_j), 0] \cdot g \quad (5-20)$$



Şekil 5.3 . Gaz türbinli basit çevrimin şematik gösterilimi

Gaz türbininde kullanılan yakıtın masrafı,

$$Y_G = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N P_{Gj} \cdot d \cdot y \quad (5-21)$$

Artık ısı kazanında kullanılan ek yakıtın masrafı ise,

$$K_G = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(M_j \cdot \Delta h - 1 / s \cdot P_{Gj}), 0] \cdot y \quad (5-22)$$

biçiminde bulunabilir. Burada,

- P_{Gj} : gaz türbini tarafından j. dilimde üretilen elektriksel güç (kW)
 d : gaz türbininde 1 kW'lık elektriksel güç üretmek için gerekli olan yakıt miktarı (kJ/h/kW),
 s : gaz türbinli çevrimin ısı güç oranı (kW / kJ / h), dır.

Buna göre, bu çevrimin işletme ve bakım masrafları dahil,

Yıllık üretim masrafı,

$$C_G = A_G - S_G + Y_G + K_G + \text{Max}(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}) \cdot (i_G + b_G) \quad (5-23)$$

İfadesi verilebilir. Burada,

- i_G, b_G : gaz türbinli basit çevrimin yıllık birim bakım ve işletme masrafları (\$/yıl/kW) nı göstermektedir. Bu çevrimin tesis maliyeti ise,

$$M_G = a_G \cdot \text{Max}(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}) \quad (5-24)$$

burada,

- a_G : birim tesis masrafı (\$/kW)

dır. Daha önceki seçeneklerde olduğu gibi, burada da i_G ve a_G için ampirik bir formül, b_G 'nin değeri için ise %3 . a_G bağıntısı kullanılabilir. Bu durum için amaç fonksiyonu, Geri ödeme süresi,

$$H(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}) = (M_G - M) / (C - C_G) \quad (5-25)$$

olup, sınır koşulu ise,

$$P_{Gj} \geq P_{Gmin} \quad (5-26)$$

şeklindedir. H' ı minimum yapan $P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}$ değerlerinin bulunmasıyla atık ısı kazanı kapasitesi, gaz türbini gücü ve çevrimin günlük çalışma programı saptanmış olacaktır.

4. Seçenek: Ateşlemesiz veya ilave ateşlemeli atık ısı kazanı, gaz türbini ve buhar türbininden oluşan bir kombine çevrim sistemi

Söz konusu bu çevrimin incelenmesi, 2. ve 3. seçeneklerdeki incelemelerin birleştirilmesiyle gerçekleştirilecek olup, buna göre,

Bu çevrimden elde edilecek elektriksel güç,

$$P_{Kj} = P_{Bj} + P_{Gj} \quad (5-27)$$

Bu çevrime ilişkin, elektrik enerjisinin şebekeden alım masrafı,

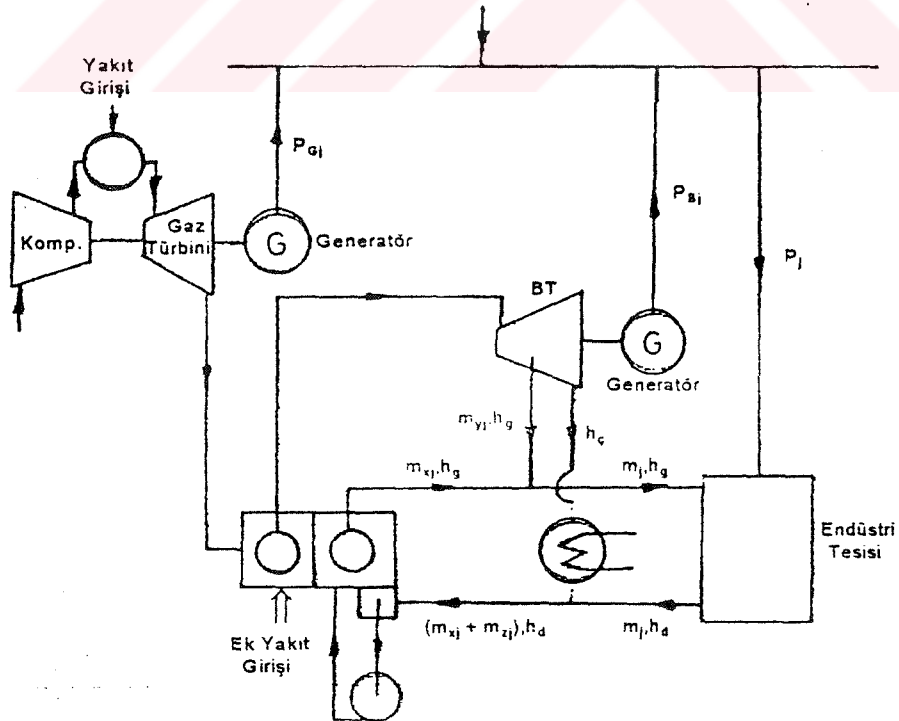
$$A_K = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(P_j - P_{Kj}), 0] \cdot f \quad (5-28)$$

Şebekeye elektrik enerjisi satışından elde edilecek gelir,

$$S_K = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(P_{Kj} - P_j), 0] \cdot g \quad (5-29)$$

Gaz türbininde kullanılan yakıt masrafı,

$$Y_K = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N P_{Gj} \cdot d \cdot y \quad (5-30)$$



Şekil 5.4 Kombine çevrimin şematik gösterilimi

Atık ısı kazanında kullanılan ek yakıtın masrafı,

$$K_K = k \cdot t \cdot \sum_{j=1}^N \text{Max}[(Y_{Bj} \cdot \eta_k - 1 / s \cdot P_{Gj}), 0] \cdot y \quad (5-31)$$

işletme ve bakımı da içeren yıllık toplam üretim masrafı,

$$C_K = A_K - S_K + Y_K + K_K + \text{Max}(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}) \cdot (i_G + b_G) + \text{Max}(P_{BT1}, P_{BT2}, \dots, P_{BTN}) \cdot (i_B + b_B) \quad (5-32)$$

Tesis maliyeti ise,

$$M_K = M_B + M_G \quad (5-33)$$

ifadesine göre hesaplanacaktır.

Burada amaç fonksiyonu,

$$H(P_{Gj}, m_{xj}, m_{yj}, m_{zj}, h_T) = (M_K - M) / (C - C_K) \quad (5-34)$$

ve sınır koşulları,

$$m_j = m_{xj} + m_{yj} \quad (5-35)$$

$$m_{xj}, m_{zj}, h_T \geq 0 \quad (5-36)$$

$$P_{Bj} \geq P_{Bmin} \quad (5-37)$$

$$P_{Gj} \geq P_{Gmin} \quad (5-38)$$

biçiminde olup, H' yı minimum yapan P_{Gj} , m_{xj} , m_{yj} , m_{zj} , h_T değerleri bulunacaktır.

BÖLÜM 6

EKONOMİK İNCELEME.

6.1 Geri ödeme süresi yöntemi

Yapılan yatırımın, kaç sene içinde geri alınabileceğini gösteren rakama geri ödeme süresi denilmekte, bu sürenin kısa olması yapılan yatırımın iyiliğini göstermektedir. Bu yöntemin, geri ödeme süresinin bitiminden sonra projenin sağlayacağı kazançları hesaba katmaması ve geri ödeme süresi içinde, hangi yıl ne kadar kazanç olduğunu göz önünde bulundurmaması gibi iki sakıncası vardır. Oysa paranın zamana göre değeri değişmektedir.

6.2 Ortalama karlılık oranı yöntemi

Ortalama kar, projenin ömrü boyunca elde edilen toplam karın, geçen toplam yıl sayısına bölümü olarak tanımlanıp, bu değer ne kadar yüksek olursa, yapılan yatırım da o kadar iyi olacaktır. Fakat bu yöntemin sakıncası da, hangi yıl ne kadar kar edildiğini, başka bir deyişle paranın güncel değerini göz önünde bulundurmamasıdır.

6.3 Güncelleştirilmiş net değer yöntemi

Bu yöntemde, belirli bir faiz oranına göre her yıl elde edilen kazançlar, bu günkü değere çevrilip toplanmakta ve yatırım maliyetinin bu günkü değerinden çıkarılmaktadır. Ortaya çıkan farkın sıfırdan büyük olması, yatırımın kabul edilebilirliğini gösterir. Alternatif yatırımla arasında en büyük pozitif farka sahip olanı en iyisidir. Güncelleştirilmiş net değer kavramı

$$GND = \sum_{j=1}^N C_t / (1+i)^t - I_0 \quad (6.1)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Burada :

C_t = t yılındaki kazancı

i = faiz oranını

I_0 = projenin yatırım maliyetinin bu günkü değerini

göstermektedir. Burada $GND \geq 0$ olması yatırımın kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

6.4 İç verim oranı yöntemi

Bu yöntemde her yıl için kazanç hesaplanmakta ve bu kazanç bir faiz oranı (indirgeme oranı) kullanılarak, yatırımın yapıldığı yıla (bu güne) indirgenmektedir. Bu işlem, birkaç indirgeme oranı kullanılarak tekrarlanmaktadır. Yıllık kazançların güncel değerlerinin toplamının başlangıç yatırımına eşit olduğu indirgeme oranı, iç verim oranı (İVO) olarak tanımlanır. Bu :

$$\sum C_t / (1 + IVO)^t = I_0 \quad (6.2)$$

şeklinde ifade edilir. İVO' nun banka faizinden yüksek olması halinde yatırım kabul edilebilir. Banka faizine eşit İVO' da yatırımcı bir proje gerçekleştirerek elde edebileceği kazancı bankaya yatırarak da elde edebileceği için proje yatırımını yapmakta kararsız kalacaktır. İVO, banka faizinden en kadar büyükse yapılacak yatırım da o kadar karlı bir yatırım olacaktır

Yukarıda anlatılan ilk iki yöntem sakıncalarına rağmen, pratik oldukları için çok kullanılmakta fakat uzmanca ve doğru bir ekonomik değerlendirme için güncelleştirmenin uygulandığı GND ve İVO yöntemlerinin kullanılması tercih edilmelidir. [11]

7. BÖLÜM

4 MW' LIK BİR KOJENERASYON TESİSİNİN İNCELENMESİ

7.1 Turbojeneratör Grubu

7.1.1 Şasi donanımı

Turbojeneratör grubu ve yardımcıları ses zayıflatıcı bir kaporta içine ve kendinden destekli bir şasi üzerine tespit edilir. Bu şasinin ortasına yaklaşık 1000 lt kapasiteli bir yağlama yağı tankı yerleştirilir. Kaporta, aydınlatma, ısıtma ve havalandırma ile birlikte komplemdir. Jeneratör grubunun bakımı için kaportanın her iki tarafındaki kapaklar açılabilir.

Dişli kutusu ve jeneratörle birlikte türbin, işlenmiş bir yüzey üzerine monte edilir. Bir elektrik motoru, hidrolik pompa ve hidrolik motordan oluşan marş sistemi, üniteye, dişli kutusu ile jeneratör arasında takılır.

Sol tarafa gaz yakıt sistemi ile birkaç gösterge, sağ tarafta ise (hava akışına ters yönde bakarken) sıvı yakıt sistemleri ile yağlama yağı sistemi bulunur. LPG yüksek basınç pompası dış taraftadır.

Yüksek voltaj jeneratörü çıkış kabloları, jeneratörün üst tarafında, tahriksiz uçta bulunur. Kumanda kabloları sağ üst tarafta bulunur.

Turbojeneratör odası, bir yangın detektörleri ve söndürme sistemi ile gazla korunur.

Turbojeneratör grubu mahfazasının tam boyutları:

| | |
|-----------|---------------|
| Uzunluk | : 9 m |
| Genişlik | : 2.2 m |
| Yükseklik | : \cong 3 m |
| Ağırlık | : 35.000 kg |

7.1.2 Türbin

Enerji Santrali :TAURUS 60 türbinli enerji santrali tek milli ve eksenel akış tasarımlı olup, yardımcı tahrik ucuyla marş adaptörü bulunan bir redüktör dişlisi, hava emme

donanımı, sabit ve değişken kanatçık donanımlı 12 kademeli kompresör, kompresör difüzör donanımı, dairevi yanma odalı yakma donanımı, 3 kademeli türbin donanımı, türbin egzost difüzörü ve egzost sistemi konnektöründen oluşur. Bu ana elemanlar karşılıklı flanşlar vasıtası ile pilot yüzeylere hassas şekilde hizalı ve birbirine cıvatalıdır. Türbin, motor çıkış mili olarak kompresör rotorundan yararlanarak kompresörü, dişli ünitesini ve motorun ön tarafından tahrik edilen ekipmanı tahrik eder. Kompresörün ön ucundaki konik göbek, hassas şekilde hizalanarak dişli ünitesi giriş tahrik pinyonuna bağlanır. Mahfaza, motor hava emiş mahfazasına sıkı şekilde cıvatalanarak sabit bir donanım oluşturur.

Kompresör Donanımı : Kompresör donanımı 12 kademeli ve eksenel akışlı tipte olup, bir hava emiş donanımı, kompresör değişken kanatçık donanımı, kompresör mahfaza donanımı, difüzör donanımı, kompresör yatak destek mahfazası ve kompresör rotor donanımından oluşur. Hava emiş donanımında, motor hava emişine büyük cisimlerin girmesini önlemek için eleklerle kapatılmış yuvarlak bir açıklık vardır.

Not : Elek, bir hava filtrasyon cihazı olarak düşünölmeyecektir. Hava emiş mahfazası, kompresör rotor mili ön yatağını destekler ve redüksiyon dişli ünitesi mahfazasına cıvatalanır. Kompresör değişken kanatçık donanımı, giriş kılavuzu, kanatçık donanımı, ilk iki stator donanımı ve elektrikli kumandalı ve hidrolik kumandalı değişken kanatçık kumanda tahriğinden oluşur. Giriş kılavuzu kanatçık donanımının ön ucu hava emiş mahfazasına cıvatalanır. İkinci kademe stator donanımının arka ucu kompresör mahfazasına monte edilir. Kompresör mahfazası difüzör donanımına bağlanır. Kompresör yatak destek mahfazası (difüzörün arkasındadır ve difüzörün içine girer) kompresör rotor mili arka yatağını destekler. Kompresör rotor milinin ön ucu, redüksiyon dişli ünitesi giriş miline bağlanır ve arka ucu türbin rotor miline sabit olarak bağlanır. Kompresör rotor mili ön ve arka eğilimli uç yatakları ile desteklenir.

Türbin ve Yakma Donanımı :Türbin ve yakma donanımı, türbin rotor yatağı destek mahfazasını, yakma donanımını, kompresör ile harici yükü tahrik eden 3 kademeli türbin rotor donanımını, türbin egzost difüzörünü ve egzost konnektörünü içerir.

Yakma mahfazası, motorun dış zarfının bir parçasıdır. Mahfaza, türbin rotor yatağı destek mahfazasının arka flanşına ve türbin egzost difüzörünün ön flanşına cıvatalanır. 12 yakıt

enjektörü yakma mahfazasının çevresine monte edilir ve yanma odasındaki yakma devresi donanımı içine girer. Yanma odası sürekli akışlı yuvarlak tiptir.

Türbin rotor donanımı, türbin rotor mili ile 3 türbin rotor diskinden oluşur. Diskler, torqu iletmenin yanı sıra disklere mille eşmerkezli olarak muhafaza eden ve aynı zamanda radyal olarak genleşebilen radyal yüzey pürüzleri vasıtası ile (kavisli kaplinler) birbirine ve milin arak ucuna geçer. Tüm donanım, termik gerilimli cıvata vasıtası ile birbirine sıkıca tespit edilir.

Birinci kademe türbin kanatları, yatak destek donanımından, döner kanat dipleri üzerine açılan bir yuvarlak yarığa kontrollü hızda beslenen kompresör havası ile soğutulur. Hava, her bir kanattaki dahili pasajdan iki geçiş yapar ve arka kenardaki bir dizi delikten boşaltılır.

Kompresör havası ile dahili olarak soğutulan birinci kademe türbin nozulları, kompresör difüzöründen arkaya doğru uzanan silindirik bir iç mahfaza üzerinde taşınan türbin yatak destek donanımı ile iç çaplarından bölümlere ayrılır ve desteklenir. İkinci ve üçüncü kademe türbin nozulları, yakma mahfazasının arka flanşından öne doğru tek taraftan destekli bir nozul mahfazası içinde bölümlere ayrılır.

8 radyal ve aerodinamik boğazla birleştirilmiş bir iç ve dış mahfazadan oluşan türbin egzost difüzörü, yakma mahfazasına arka flanşına cıvatalanır.

Türbin egzost difüzör donanımına standart bir özellik olarak esnek bir körük kısım dahil edilmiştir. Bir egzost susturucusu, ısı geri kazanım sistemi veya başka bir egzost kanal sistemi gibi opsiyonel bir ekipman kullanıldığında motor termik büyümesini ve harici termik büyümeyi karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Egzost körüğü ile harici kanal arasına, ağır plaka flanşta sona eren standart bir çember parçası takılır.

Çember parçasının ön ucu egzost körüğüne tespit edilir ve plaka flanş, büyük bakım sırasında motorun kolay sökülmesi için egzost kanalına cıvatalanır. Çok yüksek sıcaklıklı harici alanlar, personelin korunması ve yangının önlenmesi için paslanmaz çelikten bir izolasyon tabakası ile örtülür.

Enerji Santral Destekleri : Türbin motoru, redüksiyon dişli ünitesine cıvatalanmış hava emiş mahfazasının ön flanşından arkaya doğru tek taraftan desteklenmiştir. İlave arka destek, yakma mahfazası arka flanşına takılı bir çelik kaide ile sağlanır. Kaidenin tabanı yakma mahfazasının altındaki grup tabanı üzerinde bulunan bir titreşim izolasyon bloğu üzerine oturur ve eksenel termik büyüme temin eder.

Titreşim bloğu, yük yayları ile, ayar cıvataları ile ve mesafe parçaları ile donatılmış olup, esnek bir arka montaj sağlamasının yanı sıra hizalama amacı ile motorun düşey ve yatay ayarlarına da izin verir.

Teknik veriler : Deniz seviyesinde, 15⁰ C' de, 50 mm H₂O egzost kayıplarıyla, sıfır yatak, jeneratör, ve transformatör kayıpları ile, % 100 motor devri ve nominal tam yük için verirler.

| | |
|-----------------|--|
| Tip | SOLAR Tip TAURUS 60 |
| Motor devri | 14.944 rpm |
| Hava kompresörü | 12 kademeli, eksenel akışlı |
| Kompresör oranı | 11.7:1 |
| Yanma odası | Tekli, 12 yakıt enjektörlü, yuvarlak |
| Motor donanımı | 3 kademeli, eksenel akışlı |
| Yatak | 3 radyal eğimli - blok 1 sabit baskı |
| Yakıt | Doğal gaz / sıvı yakıt / LPG |
| Çıkış gücü | 4833 kW (Gaz yakıt) 4727 kW (Sıvı yakıt) 4744 kW (LPG) |

7.1.3 Dişli kutusu :

Redüksiyon dişli ünitesi motor hava emiş mahfazasına cıvatalanır ve taban şasisi üzerindeki yağ tankının çıkıntılı yüzeyine takılır. Ünite yüksek hızlı, iki kademeli, yıldız gruplu, episiklik tasarımı, 1500 rpm çıkış devirlidir. Ünite, normal nominal işletim torkunun yaklaşık 8 katına kadar anlık aşırı yükleri taşıyabilecek kapasitede tek helisel, setleştirilmiş ve taşlanmış yatak kullanılır.

Mil üzerindeki hidrodinamik baskı yatağı ile karşı miller üzerindeki manşon yataklar cebri yağla yağlanır. İlave yağ jetleri, yardımcı pinyon dişlilerini, çıkış bilyalı yatağını ve marş mili üzerindeki tek yönlü kavrama yatağını soğutur ve yağlar. Bütün diğer yardımcı dişliler ve yataklar hava - yağ buğusu ile yağlanır.

Yataklar ve dişli grupları için kullanılan yağlama yağı, türbin motoru yağlama sisteminden beslenir. Yatak yağ contaları, motor hava sisteminden gelen sızdırmazlık havasıyla bastırılır.

Teknik Veriler :

| | |
|--|--|
| İmalatçı | SOLAR TURBINE |
| Tip | Yüksek hızlı, iki kademeli, yıldız gruplu, episiklik |
| Nominal çıkış devri | 1500 rpm |
| Yardımcılar ve yataklarla birlikte genel verim | % 98 |

7.1.4 Jeneratör :

Fırçasız, üç fazlı, orta voltajlı, çıkıntılı kutuplu, senkronize jeneratör.

| | |
|----------|--------------|
| İmalatçı | GEC ALSTHOM |
| Tip | AA 56 BVL 85 |

Değerler

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| ◆ 40 ⁰ C' de çıkış | 6500 KVA |
| ◆ Güç faktörü | 0,8 |
| ◆ Voltaj / frekans | 6300 V / 50 Hz |
| ◆ Akım | 595.7 A |
| ◆ Devir | 1500 rpm |
| ◆ İzolasyon sınıfı / sıcaklık artışı | F / F |
| ◆ Montaj | IM 1001 |
| ◆ Ağırlık | 13.100 kg |
| ◆ Standartlar | IEC 34 |

Reaktanslar :

- Senkronize xd % 304
- Geçici xd % 36.6
- Altgeçici xd % 20.3

Verim :

| | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Yük | %110 | % 100 | % 75 | % 50 | %25 |
| Cos ϕ 0.8 | % 98.8 | % 98.8 | % 96.5 | % 95.7 | % 92.7 |
| Cos ϕ 1 | % 97.5 | % 97.4 | % 97.0 | % 96.1 | % 93.0 |

Konstrüksiyon : Stator şasisi, uç sipareleri ve ana terminal kutuları mamul çeliktir.

Jeneratör, iki cebri yağlamalı manşon yatak ve silindirik mil uzantısı ile donatılmıştır. Stator göbek plakası yüksek kaliteli, inorganik izolasyonlu, düşük kayıplı silikonlu çeliktendir. Kutu çarkı, puntolu ve istifli plakalardan oluşur. Rotorda komple damper sargısı vardır. Bütün sargılar vakumla emprenye edilmiştir ve bütün beklenen mekanik ve elektrikli şoklarla ve titreşimlere dayanıklı çok güçlü bir bağlantıya sahiptir.

Dönme yönü : Tahrik ucundan bakıldığında ters saat yönündedir.

Soğutma : Jeneratörde, kanallardan soğutma havası alan ve bir mil üzerinde monte edilmiş fan vardır.

Terminaler : Ana terminal kutusu jeneratörün üstüne monte edilmiştir ve kablolar alttan içeri girer. Yardımcı ünitelerin ve detektörlerin kabloları ayrı bir terminal kutusuna gider. Jeneratörün nötr noktası vardır. Ölçüm, koruma ve kontrol için üç adet tek fazlı voltaj transformatörü (iki sekonder sargılı) ve üç adet tek fazlı akım transformatörü (üç göbekli) vardır. AVR için ilave bir tek fazlı akım transformatörü tesis edilir. (Cos ϕ kontrol ve buster)

İkazlama ve voltaj regülasyonu : Jeneratör fırçasız tiptir ve ikazlama gücü, mile monte edilen bir ikazlayıcı ile diyot köprüsü tarafından temin edilir. İkazlayıcı için gerekli ikazlama gücü, akım transformatörleri ile reaktörden oluşan bir transformatör tarafından

ayrı bir elektronik voltaj regülatörü vasıtasıyla temin edilir. Regülatör, paralel işletimde reaktif güç paylaşımı için voltaj düşüşüne sahiptir.

Regülatör statik hassasiyeti bütün simetrik yüklerde $\pm \% 1$ ' den daha iyidir.

Kademesiz voltaj ayar aralığı $\pm \% 10$ ' dur.

Voltaj regülatörü tipi : R630

Regülatör, jeneratör kabini içine monte edilir.

7.1.5 Elektrohidrolik marş sistemi

Fonksiyonel tarif : Elektrohidrolik marş sistemi, geri basınç dengeleme kumandasına (Mahfazasının 504) sahip, külbütör eksantriği kumandalı, değişken deplasmanlı, yüksek basınçlı, aksenal pistonlu tip bir marş motorundan, entegre alçak basınçlı dişli tipi şarj pompası ve alçak basınçlı, servo deplasmanlı pompa kumandasına (P 505) sahip, külbütör eksantriği kumandalı, değişken deplasmanlı, yüksek basınçlı, aksenal pistonlu tip bir hidrolik pompasından, bir hidrolik yağ filtresinden ve hidrolik pompası için ana tahrik elemanı olarak görev yapan bir AC elektrik tahrikli motordan oluşur.

Elektrohidrolik marş sistemi, ana tahrik elemanının işletimi için AC güç beslemesi gerektirir. Bu elektrik gücü motor kumanda merkezi tarafından temin edilir. Ana tahrik elemanı, DC elektrik kumanda sisteminden gelen bir marş sinyali ile tahrik edilen bir selenoid işletimli starter kontaktörü ile enerjilenir.

Hidrolik transmisyon marş sisteminin işletimi için 10 mikrona kadar filtre edilen yağ, grup yağlama yağı tankından ayrı bir harici boru devresi vasıtası ile beslenir.

Hidrolik pompada ve motorda, ünitenin her iki tarafında birer adet olmak üzere iki entegre kanatçık tahriği tarafından pozisyonu ayarlanan bir külbütör eksantrik donanımı içerir. Pompanın ve motor pistonlarının kursu, külbütör eksantrik donanımının açılışları pompa ve motor servo kumandalarından gelen basınç sinyallerine göre değiştirilerek kontrol edilir. Pistonların kursu sistemin talep ettiği akışa göre artırılarak veya azaltılarak hidrolik devredeki basınç tüm marş çevriminde işletim gereksinimlerini karşılayacak şekilde yakından kontrol edilir.

Hızlanma sırasında, akış talep edildiğinde pompa ve motor pistonlarından pozitif bir basınç elde etmek için hidrolik pompa içindeki alçak basınçlı, dişli tip yardımcı pompa, sistem transmisyon hatlarını doldurmaya başlar.

Teknik Veriler :

Elektrik tahrikli motor :

| | |
|---------------|----------------|
| Güç | 90 kW |
| Voltaj | 400 V - 3 faz |
| Bağlantı | Yıldız / Üçgen |
| Nominal devir | 3000 rpm |

7.1.6 Yakıt Sistemi

Yakıt sistemi basıncı kontrol eder ve yakıt akışını, işletim gereksinimlerine göre otomatik olarak düzenler.

Grup, tam donanımlı bir sıvı fuel oil sistemi, tam donanımlı bir doğal gaz sistemi ve bir LPG yakıt sisteminden oluşur.

Gaz yakıt elemanları 100 - 199 arasında numaralıdır.

Sıvı yakıt elemanları 200 - 299 arasında numaralıdır.

Yakıt seçimi, marş çevrimi öncesinde veya sırasında nominal hızın % 15' ine ulaşılmadan önce veya "yüklemeye hazır" sinyali aktif olduktan sonra yapılabilir.

Türbin gaz veya sıvı yakıtla çalıştırılabilir.

Gaz Yakıt Sistemi :Gaz yakıt sistemi temelde bir gaz yakıt girişinden ve 7 bar giriş basıncına sahip selenoid tahrikli pilot valflerinin işletimi için bir pilot havası devresinden oluşur.

Gaz Yakıt Sistemi Ana Elemanları :

| | | |
|------------------------|----|-----|
| ◆ Süzgeç | FS | 102 |
| ◆ Ana kesme valfi | V | 117 |
| ◆ Yardımcı kesme valfi | V | 110 |

| | | |
|-----------------------------------|-----|-----|
| ◆ Gaz çıkış valfi | MV | 129 |
| ◆ Ateşleme gaz basıncı regülatörü | PS | 124 |
| ◆ Ateşleme gaz valfi | MV | 127 |
| ◆ Filtre | FS | 103 |
| ◆ Dozlama valfi | FCV | 116 |
| ◆ 12 enjektörlü gaz manifoldu | | |

Gaz Yakıt Sistemi Kumanda Elemanları :

| | | |
|---|------|-----------|
| ◆ Alçak gaz basıncı kapatma valfi | PS | 105 |
| ◆ Yüksek gaz basıncı kapatma valfi | PS | 107 |
| ◆ Gaz basıncı vericisi | PT | 143 |
| ◆ Gaz basıncı diferansiyel basıncı | PDSI | 125 |
| ◆ Kapatma valflerinin testi | PS | 121 / 130 |
| ◆ Maksimum enjektör gaz basıncı (ateşleme sırasında) | PS | 128 |

Kumanda Hava Sistemi Elemanları :

| | | |
|---------------------------------|----|-----------|
| ◆ Filtre | FS | 014 |
| ◆ Pilot hava basıncı regülatörü | PS | 118 |
| ◆ Alçak hava basıncı kumandası | PS | 017 |
| ◆ Yardımcı valfler | MV | 111 / 122 |

Gaz Sisteminin Fonksiyonel Tarifi :

“Marş” komutuyla, türbin mahfaza havalandırması başlar ön yağlama pompası 30 sn sonra çalışır 5 dk sonra yağlama yağı basıncı ve sıcaklığı test edilir. Elektrikli marş motoru çalışır ve yardımcı hidrolik pompa basıncı kontrol edilir. Bundan sonra yardımcı hidrolik pompa şarj yapmaya başlar. Yüksek basınç 400 bar’ a kadar çıkar ve türbin hızlanmaya başlar.

Gaz türbini nominal hızının (ateşleme hızı) yaklaşık % 25’ ine ulaşır. Bu süre içinde ana ve yardımcı kesme valfleri kontrol edilir. Pilot valf selenoidi (MV 122) enerjilenir. Pilot

gazı, 3 sn süre ile ana yakıt kesme valfini (V 117) açar ve gaz yakıt basınçlı şalterleri (PS 121 ve PS 130) ile yardımcı yakıt kesme valfine (V 110) yakıt girişine izin verir. Yardımcı yakıt kesme valfi, enerjisi kesilmiş yardımcı gaz yakıt pilot valfinden (MV 111) gelen pilot basıncı ile kapalı tutulur. Gaz yakıt basınçlı şalterleri (PS 121 ve PS 130) basıncı algılar. Bu, ana gaz yakıt kesme valfinin ve V 110 valfinin açılmasını teyid eder ve 20 sn sonra marş prosedürünün devam etmesini sağlar. Aksi taktirde bir hatalı çalışma gösterilir ve motor durdurulur.

Daha sonra yardımcı gaz yakıt pilot valfi selenoidi (MV 111) enerjilenir. Pilot basıncı uygulanır ve yardımcı gaz yakıt kesme valfi açılır. Ana gaz yakıt kesme valfi kapandığında, sıkışan gazın yakıt sistemine kaçmasına izin verilir. Ana gaz yakıt kesme valfinin tamamen kapandığını ve yardımcı gaz yakıt kesme valfinin açıldığını göstermek için yukarıda sözü edilen basınçlı şalterler kullanılır. Aksi taktirde, hatalı çalışma gösterilir ve motor durdurulur.

Egzost gazı kanal temizliğinden sonra yakıt ateşleme prosedürü başlar. Ana ve yardımcı gaz yakıt valfleri (V 117 ve V 110) ile ateşleme valfi (MV 127) açılır ve buji ikazlanır. Türbin regülatörü (digicon) dozlama valfinin (FCV 116) lineer açılmasını sağlar. Ateşleme bölmesi, optimum noktaya ulaşılan kadar hava yakıt karışımını ateşler. Ateşleme 204⁰ C' lik bir gaz türbini sıcaklığında elde edilir ve 14 sn içinde elde edilmelidir. Sonra ateşleme valfi ve bujinin enerjisi kesilir. Türbin regülatörü (DİGİCON), dozlama valflerinin kontrolünü alır ve lineer bir hızlanmaya izin verir. Gaz yakıt kumanda valfi, kompresör deşarj basıncına (PCD) bağlı olarak gaz basıncını düzenler. % 66 motor devrinde marş sistemi devreden çıkar ve starter kavraması ayrılır. Bütün işletme koşullarında ani sıcaklık artışını önlemek ve yakıt talebini mahfaza etmek amacıyla kompresör deşarj basıncının bir fonksiyonu olarak maksimum bir yakıt akış planı temin etmek için gaz yakıt kumandası bu modu destekler. Türbin kumanda ünitesi (DİGİCON) motora önceden belirlenmiş nominal hız ayarında kontrol etmek için dozlama valfine (FCV 116) analog sinyal göndererek yakıt kontrolünü sağlar. Marş sırasında nominal değerlerin dışında bulunan motor sıcaklı ayar noktaları (T5) % 95 devirde normal işletim sıcaklığı ayar noktalarına döner.

Durdurma Sırası : Türbini durdurmak için iki yöntem vardır. Normal ve acil durdurma.

Acil Durdurma : Acil durdurma, grubun anormal işletimi durumunda - ki bu durumda makina hasarı veya personel yaralanması meydana gelebilir - devreye alınır. Bu durumda türbin hemen durdurulur, yakıt valfleri kapatılır ve yakıt pompaları durdurulur. Bu prosedür sadece tehlike durumunda uygulanır ve normal bir durdurma değildir.

Normal Durdurma : Bir durdurma komutu verildiğinde elektronik kumanda türbin gücünü kademe kademe sıfıra düşürür. Jeneratör devre kesicisi açıldıktan sonra, türbin, durmadan önce soğuması için birkaç dk süre ile yüksüz durumda çalışır halde kalır.

7.1.7 Yağlama Yağı Sistemi

Genel Tarif : Yağ sistemleri yağlama yağı sistemlerini ve servo yağı sistemini içerir. Her bir sistem ayrı ve farklı bir görevi yerine getirmesine rağmen sistemler birbiri ile yakından ilişkilidir ve her ikisi de şemada gösterilen ana yağlama yağı pompasından beslenir. Sistemin tarifi ve tipik bir sistemin ana elemanları aşağıdaki paragraflarda yer alır. Motor tahrikli yağ pompası, dişli kutusuna monte edilir. Bütün diğer sistem elemanları kızak üzerine monte edilir.

Yağlama Devresi Ana Elemanları :

| | | |
|--|----|-------------|
| ■ Yağlama yağı tankı | B | 353 |
| ■ Mekanik yağlama yağı ana pompası | P | 311 |
| ■ Ön / son yağlama yağı pompası | P | 302 |
| ■ Ön / son yağlama yağı motoru (24 V DC) | M | 301 |
| ■ Yağlama yağı ısıtıcısı | W | 307 |
| ■ Yağlama yağı ısıtıcı termostatu | TC | 307 - 1 / 2 |
| ■ Yağlama yağı soğutucusu | W | 308 |
| ■ Yağlama yağı soğutma fanları | V | 340 - 1 / 2 |
| ■ Yağlama yağı dublex filtresi | FS | 305 |
| ■ Yağlama yağı by-pass valfi | TC | 327 |
| ■ Basınç regülatörleri | PC | 312 / 336 |
| ■ Elektrostatik yağ filtresi | FS | 338 |

Yağ Devresi Kumanda Elemanları :

| | | |
|--|------|-----|
| ■ Yağlama yağı tankı yüksek basıncı | PS | 326 |
| ■ Yağlama yağı tankı seviye göstergesi | LSI | 310 |
| ■ Yağlama yağı alçak basıncı (kapatma) | PS | 316 |
| ■ Yağlama yağı yüksek sıcaklığı | TS | 318 |
| ■ Yağ filtresi yüksek diferansiyel basıncı | PDSI | 322 |
| ■ Yağlama yağı basınç vericisi | PT | 365 |
| ■ Yağ sıcaklığı vericisi | TT | 325 |

Fonksiyonel Tarif : Sistem, türbin, redüksiyon dişlisi ve jeneratör yatakları için yağlama yağı temin eder. Ayrıca değişken kanatçık kumanda tahriğine regüle motor giriş basıncında yağ besler. Sistemde bir yağ yankı, elektrik motoru tahrikli bir ön / son yağlama yağı pompası, motordan tahrikli ana yağlama ve servo yağ pompası, termik by-pass valfli ve boşaltma valfli yağlama yağı manifoldu donanımı, yağ filtresi ve yağ soğutucuları bulunur.

Çalıştırma düğmesine basıldığında ön / son yağlama yağı pompası, kumanda sistemi tarafından otomatik devreye alınır. Pompa, yağlama yağı tankından yağı çeker ve yağ filtresi üzerinden redüksiyon dişli ünitesi yataklarına türbin rotoru yataklarına, servo tahriklerine ve jeneratör yataklarına basar.

Türbinin döndürülmesi için minimum 0,4 bar basınç gereklidir.

Marş sırasında motor devri arttıkça motor tahrikli ana yağlama ve servo yağ pompasından gelen yağ basıncı önceden ayarlanan değerlere ulaşır. % 66 devirde ön / son yağlama pompası otomatik olarak kapanır. Yağ, motor tahrikli yağ pompası tarafından yağlama yağı manifolduna ve regülatör donanımına basılır. Regülatör, yaklaşık 4 bar'lık nominal motor giriş basıncında tutar.

Yağ soğutucusuna da az miktarda yağ akar. Ancak, termik by-pass valfli, yağ sıcaklığı önceden belirlenen ayara ulaşana kadar yağın çoğunu soğutucudan saptırır. Valf, yağ sıcaklığı ile orantılı olarak soğutuculara yağ beslemek için kademe kademe kapanır.

Yağ, yağ soğutucularından yağ filtresi üzerinden yağ besleme manifolduna ve oradan da çeşitli devreler üzerinden yağlama noktalarına akar. Bu devreler, yağı, redüksiyon dişli ünitesi üzerindeki bir giriş portuna, kompresör yatak destek mahfazası üzerindeki bir yağ girişine, kompresör değişken kanatçık kumanda tahriği girişlerine ve jeneratör yataklarına yönlendirilir.

Redüksiyon dişli ünitesine giden yağ, mahfazasının sağındaki bir porta girer. Dahili pasajlar vasıtası ile, yağı kompresör rotoru ön yatağına yönlendiren borulu yağ transfer donanımına akar. Yağ transfer başlığı içindeki küçük bir borudan gelen yağ jeti, kompresör ön konik göbeği üzerindeki yivli manşon kaplinini yağlar. Güç grubundaki ve redüksiyon dişli ünitesi yardımcı tahrik bölümlerindeki diğer dişliler ve yataklar için kullanılan yağlama yağı, dişli ünitesi mahfazasında ve bunun alt donanımlarında açılmış pasajlar vasıtasıyla istenilen noktalara yönlendirilir. Yağ redüksiyon dişli ünitesi mahfazasından seviye farkıyla yağ tankına boşaltılır.

Kompresör yatak destek mahfazası üzerindeki bir porta beslenen yağ, kompresör rotoru arka jurnalı ile baskı yataklarına ve dahili pasajlar vasıtasıyla da türbin rotoru yatağına basılır. Türbin rotoru ve kompresör ara yataklarından gelen yağ, kompresör yatak destek mahfazasındaki iki boşaltma deliği vasıtasıyla seviye farkı ile yağlama yağı tankına boşalır.

Son yağlama motor durdurulduktan sonra ön / son yağlama pompası ile yerine getirilir. Durdurma düğmesine basıldığında veya bir hatalı çalışma motorun durmasına sebep olduğunda kumanda sistemi pompayı otomatik olarak devreye sokar. Ön / son yağlama pompası son yağlama çevriminde ön görülen süre ile motordaki ve redüksiyon dişli ünitesindeki yatakların soğutulmasını sağlar. Pompa sisteminde, basınç regülatörü vasıtasıyla tanka geri dönen yağ miktarı ile gösterilen bir kapasite aşımı vardır.

7.1.8 Yanma ve soğutma havası sistemi

Yanma havası sistemi :

Yanma havası sistemi ana elemanları :

| | | |
|----------------------------------|----|-----|
| ■ Türbin emme havası filtresi | FS | 601 |
| ■ Türbin emme havası susturucusu | B | 604 |
| ■ Türbin kompresörü | | |
| ■ Türbin yanma odası | | |
| ■ Türbin güç kademesi | | |
| ■ Türbin egzostu çember parçası | | |
| ■ Türbin egzostu kompresörü | | |

Yanma havası sistemi ana kumanda elemanları :

| | | |
|---|-----|-----|
| ■ Emme havası sıcaklığı | TT | 629 |
| ■ Emme havası filtresi diferansiyel basıncı | PDT | 621 |

Fonksiyonel tarif : Türbin girişindeki kendinden temizlenir hava filtresi 54 adet DELBAK kartuştan oluşur. Kartuş sıraları, filtresi temizleme valfleri tarafından nominal akışa ters yönde verilen basınçlı hava impulsu ile venturi vasıtası ile temizlenir.

Filtredeki basınç önceden ayarlanan değeri (80 mm H₂O) aşar aşmaz ve türbin dönerken, başlangıç değeri (60 mm H₂O) tekrar elde edilene kadar her bir filtre sırasıyla bir basınçlı hava karşı akışına maruz kalır.

Her bir marş prosedüründen önce otomatik olarak komple bir temizlik prosedürü uygulanır.

Teknik veriler :

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Filtrasyon sisteminde basınç düşmesi | 20 - 30 mmSS |
| Kirli kartuşla | 60 mmSS |
| Filtre diferansiyel basınç alarmı | 80 mmSS |
| Kartuş başına hava kütlesi akışı | 1100 m ³ / h |
| Kartuş adedi | 54 |
| Kartuş sırası | 9 |
| Verim | > % 99,6 |

Partikül ebadının bir fonksiyonu olarak gravimetrik verim :

| <u>Ebat</u> | <u>Verim</u> |
|-------------|--------------|
| 0,5 mikron | % 99,4 |
| 1,5 mikron | % 99,6 |
| 3,0 mikron | % 99,9 |
| 5,0 mikron | % 99,97 |

Muhafaza Soğutma Havası Sistemi :

Muhafaza soğutma sistemi ana elemanları :

| | | |
|--|----|-------------|
| ■ Konteyner giriş soğutma havası filtresi | FS | 602 |
| ■ Konteyner giriş soğutma havası susturucusu | B | 606 |
| ■ Konteyner giriş soğutma havası fanları | V | 607 - 3 / 4 |
| ■ Konteyner giriş soğutma havası damperi | K | 608 - 2 |
| ■ Konteyner çıkış soğutma havası damperi | K | 608 - 1 |
| ■ Konteyner çıkış soğutma havası fanları | V | 607 - 1 / 2 |
| ■ Konteyner çıkış soğutma havası susturucusu | B | 605 |

Fonksiyonel tarif : Filtrede, cam elyaftan yapılmış ve kolay değiştirilebilen 8 adet torba filtre bulunur. 4 havalandırma fanı (2 giriş ve 2 çıkış) türbin odasından soğutma havası akışını sağlar. Marştan önce havalandırma fanları ile giriş ve çıkış damperlerinin her ikisi açılır. Bir yangın alarmı verilirse fanlar hemen durdurulur ve her iki damper kapanarak mahfazanın yangın söndürme gazı ile doldurulmasına izin verir.

7.1.9 Konteyner Kutusu

Ana dijital ve analog sinyaller bu kutudan kumanda sistemine bağlanır. Kutuda aşağıdakiler bulunur :

- Türbin sıcaklık konvertörleri
- RS 485 vasıtası ile analog ölçüm konvertörleri
- Yedek devir monitörü
- Bağlantı terminalleri
- Bağlantı uçları (kumanda sistemine giden sistem kabloları için)

Yedek devir monitörü : Türbin kumanda sistemine paralel olarak tamamen bağımsız bir devir monitörü takılır. Bu monitör, devreye alındığında motoru derhal durduracak, kablo bağlantılı destek sistemi için bir dijital aşırı devir sinyali temin eder.

Türbin devri, ikinci kompresör rotor kademesine monte edilen bağımsız bir manyetik sensör tarafından algılanır.

Alarm eşikleri % 90 (minimum devir) ve % 110 (maksimum destek aşırı devri) dir.

7.1.10 Konteyner içindeki turbojeneratör grubu göstergeleri

Aşağıda listelenen göstergeler türbin konteyner alanında bulunur.

Kumanda sistemine bağlı dijital ve analog sinyaller :

| | | | |
|------|---------|---|------------|
| PS | 017 | Basınçlı hava, alçak | 5.5 bar |
| PDSI | 125 | Gaz yakıt filtre diferansiyel basıncı, yüksek | 1.5 bar |
| PS | 105 | Gaz yakıt basıncı, alçak | 10 bar |
| PS | 107 | Gaz yakıt basıncı, yüksek | 15.5bar |
| PS | 121 | Kesme valfleri testi | 3 bar |
| PS | 128 - 1 | Maksimum enjeksiyon gaz basıncı (ana) | 0.7 bar |
| PS | 130 | Kesme valfleri testi | 11 bar |
| PT | 143 | Gaz yakıt basıncı ölçümü | 0 - 25 bar |
| LS | 233 | Sıvı yakıt boşaltma tankı seviyesi, alçak | |
| PDS | 206 | Sıvı yakıt filtre diferansiyel basıncı, yüksek (alarm) | 1.5 bar |
| PS | 209 | Buster, sıvı yakıt basıncı, alçak | 0.5 bar |
| PS | 215 | Ana sıvı yakıt basıncı, alçak | 10 bar |
| LS | 310 | Yağlama yağı tankı seviyesi, alçak (alarm) | 700 lt |
| PDS | 322 | Yağlama yağı filtre diferansiyel basıncı, yüksek (alarm) | 1.5 bar |

| | | | |
|-----|---------|--|---------------------------|
| PS | 316 | Yağlama yağı basıncı, alçak | 1.7 bar |
| PS | 326 | Yağlama yağı tankı basıncı, yüksek (alarm) | 215 mm H ₂ O |
| PT | 365 | Yağlama yağı basıncı | 0 - 6 bar |
| TS | 318 | Yağlama yağı sıcaklığı, yüksek | 80 °C |
| TT | 325 | Yağlama yağı sıcaklığı | 0-150 °C |
| PS | 512 | Marş motoru yağ basıncı, alçak | 10 bar |
| DT | 639 | Gaz kaçağı | |
| PDT | 621 | Hava filtresi diferansiyel basıncı | 0-200 mm H ₂ O |
| PS | 684 | egzost gazı basıncı | 450 mm H ₂ O |
| RT | 637 | Yangın detektörü | |
| SB | 635 | Acil durdurma | |
| ST | 616 - 1 | Türbin devri | 0-120 % |
| ST | 616 - 2 | Türbin devri | 0-120 % |
| ST | 617 | Türbin devri (yedek koruma) | 1-120 % |
| ST | 618 | Türbin titreşimi | 0-20 mm / s |
| ST | 619 | Dişli kutusu titreşimi | 0-50 G |
| ST | 620 | Jeneratör titreşimi | 0 - 20 mm / s |
| TT | 615 - 1 | Sıcaklık, jeneratör yatağı A | 0 - 150 °C |
| TT | 615 - 2 | Sıcaklık, jeneratör yatağı B | 0 - 150 °C |
| TT | 624 | Türbin sıcaklığı (6 ölçüm) | 0 - 900 °C |
| TT | 625 | Jeneratör sargı sıcaklığı L1 | 0 - 150 °C |
| TT | 626 | Jeneratör sargı sıcaklığı L2 | 0 - 150 °C |
| TT | 627 | Jeneratör sargı sıcaklığı L3 | 0 - 150 °C |
| TT | 629 | Türbin emme havası sıcaklığı | -40/60 °C |
| TT | 633 | Sıcaklık, türbin yatağı 2 | |
| TT | 679 | Kaporta sıcaklığı | -20/80 °C |
| TT | 676 | Egzost gazı sıcaklığı | |

Lokal göstergeler : Aşağıdaki göstergeler, kumanda sistemi için transdüser olmadan kaporta içine monte edilir :

PI 028 Kompresör yıkama sistemi hava basıncı

| | | |
|-----|-----|--|
| PI | 126 | Ateşleme gaz basıncı |
| LI | 278 | Sıvı yakıt boşaltma tankı seviyesi |
| PDI | 206 | Sıvı fuel oil filtresi diferansiyel basıncı (alçak taraf) |
| PDI | 241 | Sıvı fuel oil filtresi diferansiyel basıncı (yüksek taraf) |
| LI | 310 | Yağlama yağı tankı seviyesi |
| PDI | 322 | Yağlama yağı filtresi diferansiyel basıncı. |

7.2 Buhar ünitesi

Desa atık ısı kazanı

Dizayn değerleri :

| | | |
|------------------------------|--------|----------------|
| ■ Çevre sıcaklığı | : 15 | ⁰ C |
| ■ Egzost gazı kütleli debisi | : 20.7 | kg / s |
| ■ Egzost gazı sıcaklığı | : 485 | ⁰ C |

Kazan değerleri :

| | | |
|-------------------------|-----------|----------------|
| ■ Çalışma basıncı | : 8 | bar |
| ■ Dizayn basıncı | : 10 | bar |
| ■ Buhar debisi | : 11.000 | kg / h |
| ■ Isıtma alanı | : 1033 | m ² |
| ■ Isıl kapasite | : 7150 | kW |
| ■ Boru sayısı | : 1450 | ad |
| ■ Boru malzemesi | : St 35.8 | (DIN 17175) |
| ■ Boru çapı | : 42.4 | mm |
| ■ Boru et kalınlığı | : 2.9 | mm |
| ■ Kazan gövde çapı | : 3250 | mm |
| ■ Kazan gövde uzunluğu | : 6200 | mm |
| ■ Kazan gövde malzemesi | : 17 Mn 4 | (DIN 17155) |

Ekonomizer :

| | | |
|------------------------------|-------|----------------|
| ■ Duman gazı giriş sıcaklığı | : 201 | ⁰ C |
| ■ Duman gazı çıkış sıcaklığı | : 161 | ⁰ C |
| ■ Besi suyu giriş sıcaklığı | : 105 | ⁰ C |
| ■ Besi suyu çıkış sıcaklığı | : 169 | ⁰ C |
| ■ Isıl kapasite | : 878 | kW |

By-pass bacası :

| | | |
|-------------|----------|----|
| ■ çap | : 1.400 | mm |
| ■ Yükseklik | : 19.000 | mm |

Ana baca :

| | | |
|---------------------|----------|-----|
| ■ çap | : 1.500 | mm |
| ■ Yükseklik | : 19.000 | mm |
| Sistem basınç kaybı | : 20 | mb |
| Test basıncı | : 13 | bar |

Kazan sicil kartı :

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| TİP | : ATIK ISI KAZANI |
| YAKIT TİPİ | : TÜRBİN EGZOST GAZI |
| AKIşKANIN CİNSİ | : DOYMUş BUHAR |
| PROJE NO | : 5292.121 |
| SERİ NO | : 0012218 |
| RESİM NO | : 5292.121.01 |
| PROJE ONAY TARİHİ | : 14.10.1996 |
| TASARIM KODU | : TRD |
| ISI KAPASİTESİ (MW) | : 6390 |
| BUHAR KAPASİTESİ (kg / h) | : 11.000 |
| İşLETME BASINCI (bar) | : 8 |
| TASARIM BASINCI (bar) | : 10 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| TEST BASINCI (bar) | : 13 |
| İŞLETME SICAKLIĞI (°C) | : 175.4 |
| TASARIM SICAKLIĞI (°C) | : 184 |
| TEST SICAKLIĞI (°C) | : 20 |
| TEST TARİHİ | : 20.11.1996 |
| SİLİNDİRİK GÖVDE BOYUNA RÖNTGEN | : 100 % |
| SİLİNDİRİK GÖVDE ÇEVRESEL RÖNTGEN | : 10 % |
| BORULAR ÇEVRESEL RÖNTGEN | : 100 % |
| YALITIM | : 100 mm TAŞ YÜNÜ + 1 mm ALÜMİNYUM SAC İLE |
| KONTROL | : TÜRK LOYDU |
| SIVI GERİNİM TESTİ | : NOZZLE KAYNAKLARINDA $d < 100$ mm için 100 % |
| | ÇATLAK KONTROLÜ |

Kazan tağdiye cihazı (MOBREY) :

Kazan su seviyesinin minimum alt seviyeye inmesi durumunda kazanı devre dışı bırakan elemandır.

Cihazda mevcut olan kontak ile kazan giriş klapesi kapatılarak atık gaz girişı kesilmiş olur. Kazan tağdiye cihazının şamandıra bölümü birer vana ile birlikte kazanın buhar ve su tarafına ayrı ayrı bağlıdır. Şamandıra bölümünde, kazan içindeki suyun seviye değişmelerine bağlı olarak bir şamandıra aşığı - yukarı hareket eder bir çubuk vasıtası ile kontaklara mekanik olarak bağlanmıştır. Kontak alt seviye için ayarlanmıştır ve şamandıra çubuğu aracılığı ile devreye sokulur. Kontak ayrı bir hücre içindedir ve buradaki elektrikli kısım ayrıca korunmuştur.

Su seviye limitörü (GESTRA) :

Kazan işletmesinin ilk şartı, kazan su seviyesinin çok dikkatli ve itinalı kontrol edilmesidir. Kazan besı suyu, pnömatrik kontrol edilen BESİ SUYU VANASI (C11) ile oransal olarak beslenir. BESİ SUYU VANASI, SEVİYE TRANSMİTTERİ (C08)' nden alınan 4 - 20 mA sinyal ile çalışır.

Kazan üzerinde 3 kontaklı SU SEVİYE ELEKTRODU (GESTRA ER 56 - 2) (C04) mevcuttur.

- Üst kontak besi suyu pompalarını durdurur
- Orta kontak besi suyu pompalarını tekrar çalıştırır
- Alt kontak kazan su seviyesinin düştüğünü sesli olarak bildirir.

Su seviye elektrodu, kazan tağdiye cihazından ayrı bir su seviye emniyetidir. Kazan suyu minimum su seviye işaretinin altına düştüğünde ve çamurlanma veya diğer başka bir nedenle kazan tağdiye cihazı görevini yapamaz ise su seviye elektrodu devreye girerek, kazanın susuz kalarak zarar görmesini önlemek için by-pass damperini açar ve kazan damperini kapatır. Böylece atık ısı kazana girmeden atmosfere atılır. Işıklı ve sesli alarm düzeni devreye girerek su azlığını ve kazanın devre dışı kaldığını haber verir.

Akış transmitteri (FT = Flow Transmitter) (C10) :

İşletmeye gönderilen buharın miktarını tespit etmek amacı ile kullanılır. Çalışma prensibi çok basittir. Ana buhar hattı üzerine konan Orifis tipi akış transmitterinde bir fark basıncı ile 4 - 20 mA' e göre ölçüm yapılır. 4 mA' de minimum akışın olacağı, 20 mA' de ise maksimum akış olacağı düşünülmüştür. Elde edilen değer bir Flow kompitüründe değerlendirilir ve buhar ölçümü yapılır.

Basınç transmitteri (PT = Pressure Transmitter) (C09) :

Kazan basıncının ayarlanan değeri aşmadan çalışması amacı ile kullanılır. Basınç transmitteri kazan üzerinden alınan bir çıkışla kollektör üzerine bağlanır ve buradan kazan basıncı sürekli olarak izlenir. Kazan basıncı, buhar çekişi nedeni ile sürekli olarak değişken olacağı için kazana giren atık gazın da sürekli olarak kontrol altında tutulması gerekmektedir. Kazan basıncının istenen değerde tutulabilmesi için PICA (Prussure Indicator Conroller Alarm) ile kazan basıncı düştüğünde kazan klapesi tam açık konuma ve by-pass klapesi tam kapalı konuma getirilir. Kazan basıncı yükseldiğinde (buhar çekişi düştüğünde) kazana daha fazla enerji vermemek için kazan klapesi kısılır ve by-pass bacası açılır.

Basınç transmitterinin istenilen basınca ayarlanması bir kere yapılır.

Seviye transmitteri (LT = Level Transmitter) (C08) :

Kullanım amacı, kazanın çalışması sırasında oransal olarak beslenmesini kontrol etmektir. Seviye transmitteri 0 - 400 mmSS arasında çalışmak üzere kazan üzerinde hazırlanmış olan çıkışlara bağlanır. Bu aralık çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilir. 0 - 400 mm arasındaki mesafe içinde 0 (sıfır) noktası alt, 400 noktası ise üst limiti belirtir. Kazan üzerinden alınmış olan çıkışlara bağlanan seviye transmitterinin çalışması için bu kolların su ile dolu olması gerekir. Böylece fark basıncı elde edilir. Kolların su ile dolu olması için üst kol üzerinde bir pot depo bulunur. İlk çalışma anında bu deponun içine su konur ve havası alınır. Seviye transmitteri 3 yollu manifolda bağlanmıştır. İlk çalışmanın ardından bu kolların havası alınmalıdır.

Çalışma anında ortadaki kol daima kapalı olmalıdır. Yandaki kolların ise daima birbirlerine benzer konumda olması gerekir. Aksi halde 400 mm' lik basınç farkı oluşmayacak, kazan basıncı doğrudan tek bir kola gelecektir. Bu durumda da basıncın yüksek olmasından dolayı manifold diyaframı patlayacaktır. Eğer üç yollu manifold ile ilgili bir işlem yapılacaksa önce ortadaki kolun açılarak basıncın dengelenmesi gerekmektedir. Seviye transmitterinin yapmış olduğu seviye ölçümü LICA (Level Indicator Controller Alarm) ile besli suyu kontrol vanasına kumanda eder ve su seviyesinin çalışma noktasında kalması için kısılıp açılır.

Presostat (ve Termostat) (C15) :

Presostat (Basınç Regülatörü) veya termostat (sıcaklık Regülatörü) normal olarak kazan manometresinin yanına kazanın alın kısmına yerleştirilmişlerdir.

Kazandaki buhar basıncının (veya kaynar su sıcaklığının) otomatik olarak ayarlanmasında kullanılırlar. Sağdaki presostat (veya termostat) ayarlayıcı organ olarak bağlanmıştır, yani ayarlanmış olan değere göre kademeli ateşlemelerde büyük kademeyi devreye sokar ve çıkarır. Soldaki presostat (veya termostat) güvenlik elemanıdır. Kazan basınç veya sıcaklığı en fazla kabul edilebilir sınıra ulaştığında kazan klapesini kapar ve by-pass

klapesini açarak kazana atık ısı girişini engeller. Basınç veya sıcaklık ayarlanmış olan noktaya düştüğünde çalıştırılır.

Emniyet ventili :

Emniyet ventilleri hassas armatürlerdir. Nakliyeleri ve montajları itina ile yapılmalıdır. Ventil siti ve diskinin (baskı parçası) yüzeyleri arasına girebilecek yabancı bir parça, sızdırmazlığa mani olabilir.

Emniyet ventilleri, ventil mili ekseni düşey olacak vaziyette monte edilmelidir. Kazan ve basınçlı kaplara direkt olarak bağlanmalı ve araya başka bir vana kesinlikle konulmamalıdır. Etrafında kolayca dolaşılması, havalandırılması ve ayarının yapılması mümkün olmalıdır. Emniyet ventilinin çıkış borusu, en kısa yoldan çatıya veya dışarıya verilmelidir.

7.3 Otomatik kontrol sistemi

1. Kazan Yük Kontrolü
2. Kazan Su Seviye Kontrolü
3. Kazan İletkenlik Kontrolü

Ayrıca kazan kontrolü ile ilgili uyarılar bilgisayarda izlenebilmelidir.

Kazan yük kontrolü :Buhar ihtiyacına bağlı olarak, damperi kontrol eden sistemdir. Enerji kesilmesi veya basınçlı havanın kesilmesine karşı pnömatik geri yay dönüşlüdür. Zira iç kısımda bulunan yayın geri getirme kuvveti ile by-pass "AÇIK", kazan damperi "KAPALI" konuma döner.

Ekipmanları :

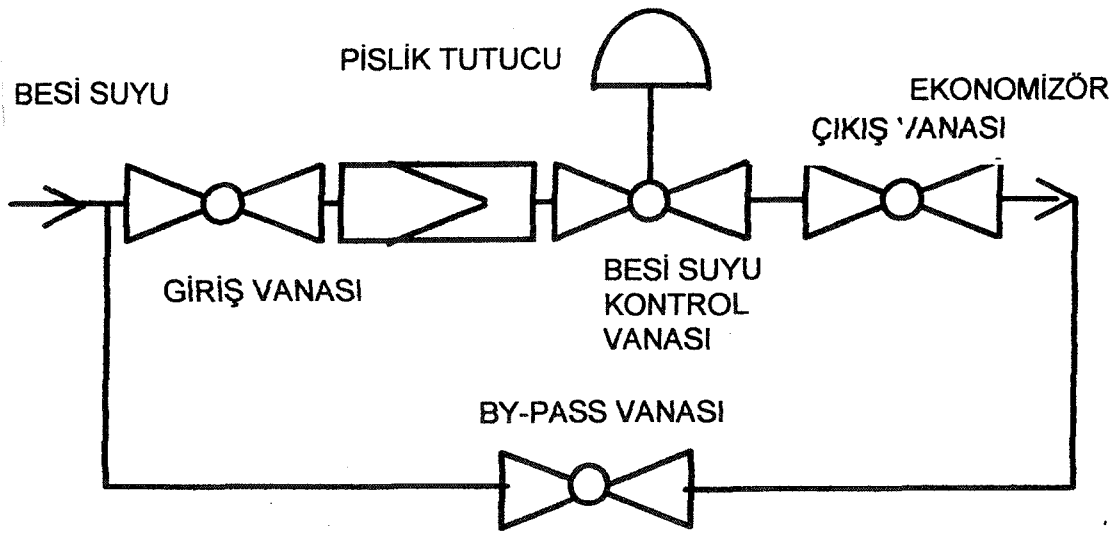
- a) Basınç Transmitteri : Buhar basıncını algılayacak ve 4 - 20 mA çıkış verecek.
1 adet
- b) Basınç Kontrol Cihazı : Transmitterden gelen sinyal ile ayarlanan değer arasındaki farka göre damperi kontrol eder. 1 adet
- c) Servomotor : Basınç kontrol cihazından gelen sinyale göre damperi açıp kapar. 1 adet

- d) Presostat : Ayarlanan basınç değeri aşıldığında kazan girişi ve çıkışındaki klapelerin selenoid vanalarına kumanda eder. 2 adet
- e) Servomotor : Gelen sinyallere göre kazan girişi çiftli klapesini açıp kapayacaktır. 1 adet
- f) Açık - Kapalı Şalter : Klapelerin açık - kapalı konumda olup olmadıklarını kontrol etmek için kullanılır.

Kazan su seviye kontrolü :Buhar ihtiyacına bağlı olarak, kazan su seviyesinin sabit tutulması, oransal çalışan bir pnömatik besi suyu kontrol vanası temin eder.

Ekipmanları :

- a) Fark Basınç Transmitteri : Dram su seviyesini algılayacak ve 4 - 20 mA çıkış verebilecek transmitter.
- b) Kontrol Cihazı : Transmitterden gelen 4 -20 mA sinyal ile ayarlanan değer arasındaki farka göre kontrol vanasını açıp kapamaya çalışır.
- c) Besi Suyu Kontrol Vanası : Kontrol cihazından gelen sinyal bir I / P konverterden geçerek pnömatik vananın tahrik sistemini çalıştırır. Sinyalin değeri kadar vana açıp kapar



Şekil 7.1 Kazan su seviye kontrolü

d) Seviye Elektrodu : Kazan üzerine konacak seviye elektrodu aşağıdaki sinyalleri verir.

LL : su seviyesi çok düşük

L : su seviyesi düşük

H : su seviyesi yüksek

e) Tağdiye Cihazı : Tek kontaklı olup sadece “LL” alarmı alır. Dampere kumanda eder. by-pass klapesini % 100 açar, kazan giriş klapesini % 100 kapatır.

Kazan iletkenlik kontrolü : Bir adet iletkenlik ölçüm elektrodu ile ölçülen kazan suyu iletkenliği, kontrol cihazı ve kontrol vanası vasıtasıyla istenen değerde kontrol altında tutulacaktır.

Ekipmanları :

- a) İletkenlik Ölçüm Elektrodu : Kazan üzerine konacak elektrod ile kazan suyu iletkenliği ölçülecek, bu değer panoda bulunan kontrol cihazına gönderilecektir.
- b) İletkenlik Kontrol Cihazı : Elektrottan gelen değer ile ayarlanan değer arasındaki farklılığa göre otomatik kontrol vanası çalıştırılacaktır.
- c) Otomatik Köpük Atma Vanası : Kontrol cihazından gelen komutlara göre açılıp kapanarak kazan suyu iletkenliğini ayarlanan değerde tutacaktır.

7.4 Doğal gaz sistemi

Gaz yakıt sistemi, temelde bir gaz yakıt girişinden ve 7 bar gaz giriş basıncına sahip selenoid tahrikli pilot valflerinin işletimi için bir pilot havası devresinden oluşur.

Marş komutuyla, türbin mahfaza havalandırması başlar. Ön yağlama pompası 30 sn sonra çalışır. 5 dk sonra yağlama yağı basıncı ve sıcaklığı test edilir. Bundan sonra yardımcı hidrolik pompa şarj yapmaya başlar, yüksek basınç 400 bar' a kadar çıkar ve türbin hızlanmaya başlar.

Gaz türbini, nominal hızının (ateşleme hızı) yaklaşık % 25' ine ulaşır. Egzost gazı kanalını temizlemek için türbin 5 dk süre ile bu hızda çalışır. Bu süre içinde an ve yardımcı kesme valfleri kontrol edilir. Pilot valf selenoidi (MV 122) enerjilenir. Pilot gazı 3 sn süre ile ana yakıt kesme valfini (V 177) açar ve gaz yakıt basınçlı şalterleri (PS 121 ve PS130) ile yardımcı yakıt kesme valfine (V 110) yakıt girişine izin verir.

Yardımcı yakıt kesme valfi, enerjisi kesilmiş yardımcı gaz yakıt valfinden (MV 111) gelen pilot basıncı ile kapalı tutulur. Gaz yakıt basınçlı şalterleri (PS 121 ve PS 130) basıncı algılar. Bu, ana gaz yakıt kesme valfinin ve V 110 valfinin açılmasını teyid eder ve 20 sn sonra marş prosedürünün devam etmesini sağlar. Aksi takdirde bir çalışma gösterilir ve motor durdurulur.

Daha sonra, yardımcı gaz yakıt pilot valfi selenoidi (MV 111) enerjilenir. Pilot basıncı uygulanır ve yardımcı gaz yakıt kesme valfi açılır. Ana gaz yakıt kesme valfi kapandığında, sıkışan gazın yakıt sistemine kaçmasına izin verilir. Ana gaz yakıt kesme valfinin tamamen kapandığını ve yardımcı gaz yakıt kesme valfinin açıldığını göstermek için yukarıda sözü edilen basınçlı şalterler kullanılır. Aksi takdirde hatalı çalışma gösterilir ve motor durdurulur.

Egzost gazı kanal temizliğinden sonra yakıt ateşleme prosedürü başlar. Ana ve yardımcı gaz yakıt valfleri (V 117 ve V 110) ile ateşleme valfi (MV 117) açılır ve buji ikazlanır. Türbin regülatörü (DIGICON) dozlama valfinin (FCV 116) lineer açılmasını sağlar. Ateşleme bölmesi optimum noktaya ulaşana kadar hava yakıt karışımını ateşler.

Ateşleme 204⁰ C' lik bir gaz türbini sıcaklığında elde edilir ve 14 sn içinde elde edilmelidir.

Sonra ateşleme valfi ve bujinin enerjisi kesilir. Türbin regülatörü (DIGICON) dozlama valflerinin kontrolünü alır ve lineer bir hızlanmaya izin verir. Gaz yakıt kumanda valfi, kompresör deşarj basıncına (PCD) bağlı olarak gaz basıncını düzenler.

% 66 motor devrinde marş sistemi devreden çıkar ve starter kavraması ayrılır. Bütün işletim koşullarında ani sıcaklık artışını önlemek ve yakıt talebini muhafaza etmek amacıyla kompresör deşarj basıncının bir fonksiyonu olarak maksimum bir yakıt akış planı temin etmek için gaz yakıt kumandası bu modu destekler.

Türbin kumanda ünitesi (DIGICON) motoru önceden belirlenmiş nominal hız ayarında kontrol etmek için dozlama valfine (FC 116) analog sinyal göndererek yakıt kontrolünü sağlar. Marş sırasında nominal değerlerin dışında bulunan motor sıcaklık ayar noktaları (T 5) % 95 devirde normal işletim sıcaklığı ayar noktalarına döner.



7.5 Kazan malzeme listesi

KAZAN MALZEME LİSTESİ

| NO. | EKİPMAN | DN | PN | MODEL | ÖLÇME SAHASI | MIKTAR |
|-------|--------------------------------|------|----|----------------------|--|--------|
| 1. | BESİ SUYU POMPASİ | | | KSB, WKL 40/8 | 14,5 m ³ /h, 17 bar, 2900 rpm | 2 |
| 2. | PISLİK TUTUCU | 80 | 16 | KLINGER | | 2 |
| 3. | BESLEME SUYU GİRİŞ VANASI | 80 | 16 | KLINGER, BALL VALVE | | 2 |
| 4. | RESİRKÜLASYON VANASI | 40 | 40 | SCHROEDAHL | | 2 |
| 5. | BESLEME SUYU ÇIKIŞ VANASI | 40 | 40 | KLINGER | | 2 |
| 6. | ÇEK VALF | 15 | 40 | KLINGER | | 2 |
| 7. | STOP VALF | 15 | 40 | KLINGER | | 2 |
| 8. | TERMOMETRE | 1/2" | 40 | PAKKENS | 0 - 120 °C, ÇAP 100 mm | 1 |
| 9. | MANOMETRE | 1/2" | 40 | PAKKENS | 0 - 25 bar, ÇAP 100 mm | 1 |
| 10. | BESLEME SUYU KONTROL VANASI | 40 | 40 | HONEYWELL | | 2 |
| 11. | BESİ SUYU GİRİŞ - ÇIKIŞ VANASI | 50 | 40 | KLINGER | | 1 |
| 12. | PISLİK TUTUCU | 50 | 40 | KLINGER | | 1 |
| 13. | BY-PASS VANASI | 32 | 40 | KLINGER | | 1 |
| 14. | MANOMETRE | 1/2" | 40 | PAKKENS | 0-25 barg, ÇAP 100 mm | 1 |
| 15. | EKO GİRİŞ VANASI | 50 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 16. | ÇEK VALF | 50 | 16 | KLINGER | | 1 |
| 17. | EKO DRENAJ VANASI | 25 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 2 |
| 18. | EKO HAVALANDIRMA VANASI | 20 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 2 |
| 19. | EKONOMİZER | | | DESA | | 1 |
| 20. | TERMOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 200 °C, ÇAP 100 mm | 1 |
| 21. | ATIK ISI KAZANI | | | DESA | | 1 |
| 22. | HAVALANDIRMA VANASI | 20 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 23. | AĞIRLIKLI EMNİYET VANASI | 80 | 16 | TERMO | SET DEĞERİ : 8,5 ve 9 bar | 2 |
| 24. | BY-PASS VANASI | 20 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 25. | ANA BUHAR ÇIKIŞ VANASI | 200 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 26. | SEVİYE ANAHTARI | | | MOBREY | | 1 |
| 27. | DAİMİ BLÖF VANASI | 20 | 40 | GESTRA | BAE-36 | 1 |
| 27.1. | KONDÜKTİVİTE ELEKTRODU | 50 | 40 | GESTRA | ERL 16-2 | 1 |
| 27.2. | KONDÜKTİVİTE KONTROL CİHAZI | | | GESTRA | LRR 1-5b | 1 |
| 27.3. | MAX-MIN ANAHTARI | | | GESTRA | URS 2-b | 1 |

| NO | EKİPMAN | DN | PN | MODEL | ÖLÇME SAHASI | MİKTAR |
|-----|-------------------------------|------|----|----------------------|------------------------|--------|
| 28. | DURDURMA VANASI | 20 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 29. | DRENAJ VANASI | 50 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 30. | DRENAJ VANASI | 50 | 16 | KLINGER, BALL VALVE | | 1 |
| 31. | SU SEVİYE ELEKTRODU | 100 | 40 | GESTRA | ERL 56-2, NRL1-1b | 1 |
| 32. | SEVİYE GÖSTERGESİ | 100 | 40 | PBR VII | 0-400 mm WC | 1 |
| 33. | SEVİYE TRANSMİTTERİ | 1/2" | | HONEYWELL | 0-400 mm WC | 1 |
| 34. | MANOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0-16 barg, ÇAP 160 mm | 2 |
| 35. | BASINÇ SIVİCİ | | | HONEYWELL | 0-10 barg | 2 |
| 36. | BASINÇ TRANSMİTTERİ | | | HONEYWELL | 0-10 barg | 1 |
| 37. | PT - 100 | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 500 °C | 1 |
| 38. | TERMOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 500 °C, ÇAP 160 mm | 1 |
| 39. | DEMINERALİZASYON VANASI | 20 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 40. | TERMOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 250 °C, ÇAP 100 mm | 1 |
| 41. | PT - 100 | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 250 °C | 1 |
| 42. | TERMOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 250 °C | 1 |
| 43. | TERMOMETRE | 1/2" | | PAKKENS | 0 - 250 °C | 1 |
| 44. | SU NUMUNE SOĞUTUCUSU | | | DESA | | 1 |
| 45. | SOĞUK SU GİRİŞİ | 1/2" | | ECA, BALL VALVE | | 1 |
| 46. | DURDURMA VANASI | 15 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 47. | DURDURMA VANASI | 15 | 16 | KLINGER, GLOBE VALVE | | 1 |
| 48. | DRENAJ VANASI | 1/2" | | ECA, BALL VALVE | | 1 |
| 49. | BUHAR ÖLÇME ELEMANI | 200 | 40 | GSD | 13 t/h, 8 bar | 1 |
| 50. | BUHAR AKIŞ TRANSMİTTERİ | 1/2" | | HONEYWELL | 0-2500 mmWC | 1 |
| 51. | DOZAJ TANKI | | | DESA | | 1 |
| 52. | DOZAJ POMPASI | | | SCREWED | | 1 |
| 53. | CEK VALF | 15 | | SCREWED | | 1 |
| 54. | DOZAJ POM. GİRİŞ-ÇIKIŞ VANASI | 15 | | SCREWED | | 1 |
| 55. | HAVA FANI | | | SIEMENS | | 1 |
| 56. | DAMPİR POZİSYON SIVİCİ | | | ENA | | 1 |
| 57. | KAZAN DAMPERİ | | | ENA | | 1 |
| 58. | BY-PASS BACA DAMPERİ | | | | BALL VALVE | 1 |
| 59. | I - P DEĞİŞTİRİCİ | | | | 3 kW | 1 |

BÖLÜM 8

BİRLEŞİK ISI GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN PLANLAMA KRİTERLERİ

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

8.1 Güç kapasitesinin belirlenmesi

Elektrik ve termik güçlerin belirlenmesinde ve hatta bu güçlerin kullanım periyotlarına göre kademelendirilip ilerideki kapasite arttırmalarını olanaklı hale getirebilmesinde tesisin yıllık maksimum çalışma saatinin dikkate alınması gereklidir. Yani birleşik ısı - güç sisteminin kapasitesi öyle seçilmelidir ki tesis atıl kalmamalı ve yıllık çalışma kapasitesi de 5000 saatin altına inmemelidir. Bunu sağlamak için puant elektrik enerjisi talebinin şebekeden satın alınması, puant ısı talebinin ise yedek bir kazan ve ısı depolarından karşılanması yoluna gidilmelidir. Yedek kazan ve ısı depolarının kapasiteleri ise ısı yük eğrisinden bulunabilir.

Her tesisin günlük enerji talepleri kullanılarak oluşturulmuş yıllık ısı ve elektrik kullanım eğrileri vardır. Bu eğrilerden hareketle kurulacak ısı güç sisteminin güç kapasitesi ve ısı güç oranı belirlenmektedir. Bu belirlemede üretilen ısı ve elektrik enerjilerinin hangi oranlarda kullanılabilirdiğini gösteren yararlanma oranı, dikkate alınmalıdır. Sistemin ürettiği elektrik ve ısı enerjisinden yararlanma oranının yüksek olması sistemin kendisini kısa sürede amorti edeceği anlamına gelmektedir.

Bunlardan başka aşağıdaki sınır koşullarına 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 birleşik ısı - güç sisteminin gücünü belirlerken ısı ihtiyacı dikkate alındığı durumlarda pik yüklerin giderilmesinde ısı yükleri dikkate alınmalıdır.

Birleşik ısı - güç sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde önemli noktalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

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

Birleşik ısı - güç sisteminin planlanmasına etki eden aşağıdaki faktörler ayrıca dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir.

- Elektrik enerjisi ihtiyacındaki pik yüklerinde birleşik ısı - güç sistemi ile karşılanmasının ekonomik olup olmadığı,
- İşletmeye hazır olma durumunun 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 dikkate alınmalıdır. Örnek olarak, tesis şebeke elektriğinin kesilmesinde acil durum jeneratörü olarak çalışıp çalışmayacağı gibi.

8.2 Elektrik / ısı 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 ya da birbirine çok yakın olmalıdır.

$$\frac{\text{İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerjisi}}{\text{İhtiyaç Duyulan Isı Enerjisi}} = \frac{\text{Üretilen Elektrik Enerjisi}}{\text{Üretilen Isı Enerjisi}}$$

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

8.3 İstenen ısınn sıcaklığı

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 karlılık 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 100 - 200⁰ C karşı basınçlı sistem, daha da yüksek sıcaklıklar için gaz türbinli sistem kullanılması uygun olacaktır.

Gaz modüllü bir birleşik ısı - güç sisteminde ortaya çıkan sıcaklık seviyeleri şu şekildedir.
[12]

- Egzost gazı makinayı 400 - 500⁰ C sıcaklıkta terk eder.
- Çeşitli egzost kaskatları ile sıcaklık seviyesi 200⁰ C sıcaklıkta ki proses buharına dönüşebilir.
- Eğer egzost gazı eşanjörü ısıtma çevrimine yönelik çalıştırılırsa 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' lik sıcaklık elde edilir.

| Mutlak Basınç (Bar) | Sıcaklık (C) | Kullanım Alanı |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 0.6 | 86 | Isıtma |
| 1 | 100 | Malt |
| 2.5 | 128 | Kaynatma |
| 3.6 | 140 | Kağıt |
| 5 | 152 | Tekstil, Maya |
| 10 | 180 | Selüloz |
| 19, 40, 80 | 210, 250 295 > 1000 | Petrol Ürünleri Cam Eritme |

- 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.

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 büyüklüğü 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.

8.4 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 tasviye cihazları, inşai işler, proje ve müşavirlik işleri ile ek yakıt stoğu unutulmamalıdır. Birleşik ısı - güç 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.

8.5 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 nedeni ile, 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 nedeni ile tercih edilmez. Bu nedenle ikinci seçenek daha fazla kullanılmaktadır.

Birleşik ısı - güç sisteminin gerçekleşmesinin doğru olup olmayacağına ve gerçekleştirildiği takdirde, bunun kapasitesinin ve donanımının ne olacağı, yukarıda anlatılan tüm kriterler göz önünde bulundurularak karar verilmelidir.

9. 4MW' LİK BİR MAYA ÜRETİM TESİSİNDE GAZ TÜRBİN BAZLI KOJENERASYON SANTRALİ VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

9.1 Proje Tanımı : Bu ön fizibilite çalışmasının içeriği Bir Maya fabrikasının elektrik ve proses buhar ihtiyacını bir gaz türbini ve atık ısı kazanı ile tamamen ya da kısmen karşılayacak doğal gaz yakıtlı kojenerasyon santralinin teknik ve ekonomik yönden incelenmesidir.

9.2 Mevcut durum : Bir Maya fabrikası tesisin kurulduğu yıla ait olarak 307 gün çalışmış, aynı yıla ait elektrik ve fuel oil tüketim miktarları ve biogaz tüketim miktarı aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir.

1. Elektrik Tüketimi : 33.389.031 kWh
2. Fuel Oil Tüketimi : 5.514.464 kg
3. Biogaz Tüketimi : 2.958.602 m³ / yıl

MAN firmasının Türkiye temsilcisi ILTENKO firması tarafından yapılan fizibilite çalışmasında ki dolar bazlı fiyatlar aşağıdaki gibidir

Varsayımlar :

| | | |
|---|--|----------------------------|
| Doğal gaz fiyatı | ≡ 0.135 \$ / m ³ | |
| (Elektrik Üretimi için 5 - 15 milyon m ³ arası) | | |
| Doğal gaz fiyatı | ≡ 0.13 \$ / m ³ | |
| (Buhar Üretimi için 5 - 15 milyon m ³ arası) | | |
| Doğal gaz alt ısıl değeri | : 8.050 kcal / m ³ | |
| Elektrik fiyatı | ≡ 0.089 \$ / kWh | |
| Fuel Oil fiyatı | ≡ 0.151 \$ / kg | |
| Ortam sıcaklığı | : - 15 ⁰ C, 35 ⁰ C | Ortalama 25 ⁰ C |
| Yıllık çalışma | : 307 gün | |

9.3 "4MW" Kojenerasyon Santrali :

I. Gaz türbin verileri : Amerikan Solar firmasının, TAURUS 60 tipi gaz türbini baz alınmıştır. ISO şartlarında 4875 kW gücündeki TAURUS 60 gaz türbini 25⁰ C hava

şartlarında 4485 kWh elektrik üretmektedir. Gaz türbininin 25 kWh' lik kendi iç tüketimi mevcuttur.

| | |
|---|------------------------------|
| Net elektrik tüketimi | : 4.460 kWh |
| Doğal gaz tüketimi (12304 kJ / kW _s | : 2.943 kcal / kWh |
| Doğal gaz eşdeğeri (8050 kcal / m ³) | : 0.366 m ³ / kWh |
| Atık ısı debisi (68.4 ton / h) | : 19 kg / sn |
| Atık ısı sıcaklığı | : 489 ⁰ C |

bu debi ve sıcaklıkta atık ısı kazanından 8 bar' da 12 ton / h buhar enerjisi üretmek mümkündür. Aynı kazanda yakıt ilavesi ile 24 ton / h buhar üretimine ulaşmak mümkündür.

| | |
|---|--------------|
| Buhar üretimi | : 12 ton / h |
| Yıllık çalışma süresi (7368 saat / yıl) | : 307 gün |

II. Kojenerasyon sisteminin enerji giderimi :

| | |
|---|-----------------------------------|
| Doğal gaz tüketimi | : 12.094.645 m ³ / yıl |
| (4.485 kW * 0.366 m ³ / kWh * 7368 h / yıl) | |
| Doğal gaz gideri | : 1.632.777 \$ / yıl |
| (12.094.645 m ³ / yıl * 0.135 \$ / m ³) | |

III. Kojenerasyon sisteminin enerji gelirleri :

a. Elektrik :

| | |
|---|------------------------|
| Elektrik üretimi | : 32.861.280 kWh / yıl |
| (4.460 kwh * 7.368 h / yıl) | |
| Elektrik geliri | : 2.924.654 \$ / yıl |
| (32.861.280 kWh / yıl * 0.089 \$ / kwh) | |

b. Buhar :

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Buhar üretimi | : 88.416.000 kg / yıl |
| (12.000 kg / h * 7.368 h / yıl) | |

Buhar geliri : Atık ısı kazanının sağladığı 12 ton / saat buhar enerjisi yaklaşık 8 ay boyunca üretimin enerjisini fazlasıyla karşılamaktadır. Kalan 4

ayda ise çok az buhar enerjisine ihtiyaç olmaktadır. Bu uygulama ile 1993 yılı fuel oil tüketimi 81.835 kg olarak gerçekleşti.

Net Fuel Oil kullanımı (5.514.464 - 81.835) : 5.432.624 kg / yıl
 (5.432.624 kg / yıl * 0.151 \$ / kg) : 820.326 \$ / yıl

9.4 Toplam Bilanço :

a. Gelirler:

| | |
|--------------------|----------------------|
| 1. Elektrik geliri | : 2.924.654 \$ / yıl |
| 2. Buhar geliri | : 820.326 \$ / yıl |
| TOPLAM | : 3.744.980 \$ / yıl |

b. Giderler :

| | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Doğal gaz tüketimi | : 1.632.777 \$ / yıl |
| 2. Bakım masrafları * | : 69.000 \$ / yıl |
| 3. Plansız duruş** | : 104.000 \$ / yıl |
| TOPLAM | : 1.805.777 \$ / yıl |

c. Net gelir : 1.939.203 \$ / yıl

(*) : Gaz türbini yatırım maliyetinin % 3' ü

(**) : Yılda % 4' lük plansız duruş

9.5 Fizibilite tablosu :

Yatırım değerleri .

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Gaz türbini ve jeneratör | : 2.300.000 \$ / yıl |
| Atık ısı kazanı, by-pass bacası vs | : 1.200.000 \$ / yıl |
| Şalt tesisi | : 150.000 \$ / yıl |
| Navlun, Montaj, İşletmeye alma | : 350.000 \$ / yıl |
| TOPLAM YATIRIM | : 4.000.0000 \$ / yıl |
| TOPLAM GELİR | : 1.939.203 \$ / yıl |

Geri ödeme süresi yıl : 4.000.000 / 1.939.203 = 2.06

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya enerji kaynaklarının ve şu an itibari ile toplam üretim miktarının tüketim miktarına olan oranı ile alakalı olarak istatistiki değerlerin enerji açığını net olarak ortaya koyduğunu geçmiş bölümlerde incelemiştik. Alınacak tedbirler açısından ortaya çıkan gerçek üç kaynak üzerinde toplanmaktadır. Hidrolik Güç, Nükleer Güç, Lokal Enerji Üretme Yöntemleri (Kojenerasyon).

Hidrolik ve Nükleer Gücü incelediğimizde projelendirilmesi, çok büyük finansal kaynaklar ayrılması, yakın gelecekte devreye girerek enerji açığını kapaması ihtimalinin düşük ve kararlı enerji politikaları sayesinde devlet öncülüğünde yapılması zaruretleri nedeni ile çözümden uzak gözükmektedir.

Lokal enerji üretme yolu olan yüksek verimli kojenerasyon tesisleri ise başta Türkiye ve Dünya' daki örnekleri açısından çok kullanışlı ve gerekli gözükmektedir. Bu tesislerin tercih sebepleri ise aşağıdaki maddeler olabilir.

- Hem ısı ve hem de elektrik enerjisi ihtiyacı olan yeni endüstriyel tesislerin kurulması
- Konvansiyonel buhar üretim tesislerinden, (mevcut endüstriyel tesisinin ihtiyacının artması – yenileme gibi sebepler) modern ısı – güç tesislerine geçilmek istenmesi.
- Endüstriyel tesislerde, atık ısının, gazların, yakıtların değerlendirilmesi istekleri.
- Elektrik enerjisi maliyetlerinde, önemli değişiklikler veya darboğazların oluşması.
- Şebekeye elektrik – ısı enerjisi (buhar, sıcak su) satış fırsatının doğması.
- Kurulacak Kojenerasyon tesisinin çok kısa bir zamanda kendisini amorti edebiliyor olması.

Bu tezde, geleceğin enerji sistemini düzenlemede kullanılacak seçeneklerden biri olan “ Birleşik ısı – güç üretim sistemleri ” incelenmiştir. Bu sistemlerin kendine özgü işletim ve donanım zorlukları olacağı, bütün bunlar için ise optimum tesis seçimi gerekliliği, mühendislik tecrübe ve kararlarından yararlanılması zorunluluğu olacağı açıktır. Özellikle ısı

enerjisini, elektrik enerjisi yanında kullanan firmalar Kojenerasyon alternatifini kesinlikle gözden geçirmeli, Ön Fizibilite çalışmalarını vakit kaybetmeden yapmalıdırlar.



KAYNAKLAR

- [1] 1996 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Ankara Kasım 1997
- [2] ALBOYACI, B. 1998 Birleşik Isı – Güç Üretim Sistemlerinin Optimizasyonu, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi Kocaeli
- [3] BAUGHMANN, M.L. EISNER, N.A., MERRIL, p 5, 1989 Storage Systems, An Engineering Economics Approach, IEEE Trans. On Power Syst. No: 3 p: 974 - 950
- [4] Çeşitli internet Dosyaları
- gas-turbines.com natural-gas.com
 - gsparks@gas-turbines.com
 - <http://www.co-generation.com/cogeneration.htm>
 - http://www.rci.rutgers.edu/~niuman/bcg_hp.htm
 - <http://www.energy.rochester.edu/cogen/>
 - <http://www.gatopwr.che.ufl.edu/cogen/data.html>
 - <http://www.nadlitho.com/alcogen.html>
- [5] Durmayaz, A. Nükleer Güç Reaktörleri : Dünya Panoraması Mühendis ve Makina, TMMOB, Ankara 1998 Baskıda
- [6] FISK R.W. KOVACIK J.M. PALMER W.B. 1993 Cogeneration Application Considerations 37 th GE Turbine State Art Technology Seminar GER 34300 Schenectady, N.Y.
- [7] GAUTAM K.R. March 1993 Selecting Gas Turbines For Power Cogeneration Hydrocarbon Processing, Gulf Publishing Company p: 115 - 118
- [8] IAEA Bulletin, Vol. 38, No: 1 1996

[9] IAEA Bulletin, Vol 40 No: 1 1998

[10] KATIRCIOĞLU, A. 1997 Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi Kocaeli

[11] Ocakçıoğlu A.B. 1978 Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi Ak Yayınları İSTANBUL

[12] TÜRKER, E., 1996 Birleşik Isı – Güç Üretim Sistemleri İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul



ÖZGEÇMİŞ

Fatih BAŞOL, 1970 yılında İzmit' te doğdu ilk orta ve endüstri meslek lisesini İzmit' te tamamladı Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1994 yılında mezun oldu. Askerlik öncesinde MAS POMPA Sanayi AŞ' de 1995 – 1996 yılları arasında üretim planlama sorumlusu olarak çalıştı. Askerlik sonrası 1997 – 1998 Türk Pirelli AŞ' de işletme mühendisi olarak 1998 Temmuz ayından itibaren ise DAF Döküm ve Armatür Sanayi AŞ' de fabrika müdürlüğü yapmaktadır.



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**