

47007.



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK VE ISI ENERJİSİ ÜRETİMİNDE
YÜKSEK VERİMLİ SİSTEMLERİN
İNCELENMESİ**

Mak.Müh. İrfan MÜLKOĞLU

F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Galip TEMİR

İSTANBUL, 1995

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
MANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

| | SAYFA |
|---|-------|
| SEMBOLE LİSTESİ | VI |
| ŞEKİL LİSTESİ | VII |
| TABLO LİSTESİ | XII |
| TEŞEKKÜR | XIV |
| TÜRKÇE ÖZET | XV |
| ABSTRACT | XVI |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2.TÜRKİYE'NİN GENEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ İÇİNDE KONUYA YAKLAŞIM | 2 |
| 2.1.Genel Bakış | 2 |
| 2.2.Temel Sorunlar | 3 |
| 2.3.Geçmiş Yıllardaki Gelişmeler | 4 |
| 2.4.Önümüzdeki Yıllarda Beklenen Gelişmeler | 5 |
| 2.5.Bileşik Isı Güç Santrallerinin Enerji Ekonomisi ve Çevresel Yönden Önemi | 13 |
| 2.6.Bileşik Isı Güç Santrallerinin Türkiye Yönünden Önemi | 14 |
| 2.7.Üretilen Isı Enerjisinin Kullanım Alanları - Petrol Tüketimi Payının Düşürülmesi | 19 |
| 3.KOJENERASYON (KOMBİNE ISI VE GÜÇ ÜRETİMİ) TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ | 22 |
| 3.1.Genel Bakış | 22 |
| 3.2.Kojenerasyon Teknolojileri | 22 |
| 3.3.İçten Yanmalı Motorlar | 23 |
| 3.3.1. Gaz Motoru | 23 |
| 3.3.1.1. Genel Tanıtım | 23 |
| Çalışabilirlik | 24 |
| Ömür | 25 |
| 3.3.1.2. Gaz Motorları İle Kojenerasyon | 25 |
| Elektrik | 25 |

| | |
|---|----|
| Uygulama | 27 |
| Isı | 27 |
| Uygulama | 28 |
| 3.3.1.3 İşletme | 28 |
| 3.3.2. Dizel Motoru | 29 |
| 3.3.2.1. Genel Tanıtım | 29 |
| 3.3.3 Gaz Motoru ve Dizel Motoru İçin Isı Geri Kazanımı ve Çevre Etkileri | 31 |
| Isı Geri Kazanımı | 33 |
| Çevre Etkileri | 33 |
| 3.4.Gaz Türbinleri | 33 |
| 3.4.1.Genel Tanıtım | 33 |
| Çalışabilirlik | 37 |
| Ömür | 40 |
| 3.4.2 Gaz Türbinleri İle Kojenerasyon | 40 |
| 3.4.2.1 Atık Isı Kazanı İle Gaz Türbini | 40 |
| İlave yanma | 42 |
| 3.4.2.2.Birleşik Çevrim | 42 |
| 3.4.2.3.Buhar Enjeksiyonlu Gaz Türbini (STIG) | 46 |
| 3.4.2.4.Egsoz Gazlarının Doğrudan Kullanıldığı Gaz Türbini | 48 |
| Enerji Dengesi | 48 |
| 1.Basınç | 50 |
| 2.Hava Sıcaklığı | 50 |
| Uygulama | 50 |
| 3.4.3. İşletme | 51 |
| 3.4.4.Gaz Türbinli Sistemlerin Isı Geri Kazanımı ve Çevresel Etkileri | 51 |
| Isı Geri Kazanımı | 51 |
| Çevresel Etkiler | 52 |

| | |
|--|---------------|
| 3.4.5 Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Maliyeti | 53 |
| 3.5. Buhar Türbinleri | 53 |
| 3.5.1. Genel Tanıtım | 53 |
| Çalışabilirlik | 54 |
| 3.5.2 Buhar Türbinleri İle Kojenerasyon | 54 |
| 3.5.2.1.Karşı Basınç Türbini | 55 |
| 3.5.2.2. Ekstraksiyon / Yoğuşma Türbini | 55 |
| 3.5.3. İşletme | 58 |
| 3.5.4.Buhar Türbinli Sistemlerin Isı Geri Kazanımı ve Çevre Etkileri | 61 |
| Isı Geri Kazanımı | 61 |
| Çevre Etkileri | 61 |
| 3.6. Birleşik Çevrim | 61 |
| 3.6.1. Genel Tanıtım | 61 |
| 3.6.1.1.Karşı Basıncılı Bir Türbin İle Birleşik Çevrim | 63 |
| 3.6.1.2.Ekstraksiyon / Yoğuşma Türbini İle Birleşik Çevrim | 64 |
| Uygulama | 67 |
| İşletme | 67 |
| 3.6.2.İşletme | 67 |
| 3.7.Kojenerasyon Teknolojilerinin Genel Değerlendirmesi | 68 |
| 3.7.1 Uygulama Alanları | 68 |
| Güç Aralığı | 68 |
| Isı Kalitesi | 69 |
| Isı / Güç Oranı | 70 |
| 3.7.2.Performans | 70 |
| Enerji Dengesi | 70 |
| Çalışabilirlik | 71 |

| | |
|---|-----|
| İşletme Özellikleri | 71 |
| 3.8. Sonuç | 72 |
| 4. DÜNYA ÜZERİNDEKİ KOJENERASYON UYGULAMALARI | 73 |
| 4.1. GİRİŞ | 73 |
| 4.2. ABB (Asea Brown Boveri) | 73 |
| 4.3. Siemens Power Generation | 86 |
| 4.4. Caterpillar (Solar Turbines Company) | 89 |
| 4.5. Waukesha-Dresser (Rama Enerji Serv. Ltd. Şti.) | 99 |
| 4.6. Kamata Engineering Co.Ltd.and Sumitomo Co.Ltd... .. | 99 |
| 4.7. Ulstein Bergen As | 99 |
| 4.8. United Technologies Turbo Power | 99 |
| 5. ISIL GÜÇ SANTRALLARI ÇEVİRİM YAPISI VE ANALİZİ ... | 107 |
| 5.1. Isıl Güç Çevrim Yapısı ve Termodinamik Esasları | 107 |
| 5.2. Tersinmezliklerin Etkisi ve Gerçek Çevrim Analizi | 112 |
| 6. BİRLEŞİK ISI GÜÇ SANTRALLERİNİN BÖLGE ISITMASINDA KULLANIMI | 118 |
| 6.1. Genel Bakış | 118 |
| 6.2. Bölge Isıtmasında Kullanılan Birleşik Isı Güç Santral Türleri | 118 |
| 6.3. Bazı Yabancı Ülkelerdeki Uygulamalar | 125 |
| 6.4. Türkiye'de Birleşik Isı Güç Santrallarının Bölgesel Isıtımda Kullanılması | 126 |
| 6.5. İncelenen Bölgesel Isıtma Bileşik Isı Güç Santralının Sistem Yapısı ve Yük Özelliklerinin Belirlenmesi | 128 |
| 7. ELEKTRİK VE ISI ENERJİSİ ÜRETİMİNDE YÜKSEK VERİMLİ DİĞER ALTERNATİF SİSTEMLER | 131 |
| 7.1 Genel Bakış | 131 |
| 7.2. Jeotermal Kaynaklarımız | 131 |
| 7.3. Isı Pompası Uygulamaları | 133 |

| | |
|--|------|
| 7.4. Nükleer Santral Uygulamaları | 135 |
| 7.5. Kömür Santrali Uygulamaları | 135 |
| 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 137 |
| KAYNAKLAR | 139 |
| EKLER | |
| EK 1 Türkiye'de bilinen linyit rezervinin sahalar itibariyle dağılımı | E 1 |
| EK 2 CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratör setinin teknik özellikleri | E 4 |
| EK 3 Doğalgaz yanmalı birleşik güç santrallerinin kapasiteleri | E 9 |
| EK 4 Solar türbinlerinin teknik özellikleri | E 12 |

SEMBOL LİSTESİ

- J : Jeneratör
- K : Kazan
- S : Entropi
- T : Sıcaklık
- U : İç enerji
- V : Kayıp
- YO : Yanma odası
- W : İş
- Σ : Toplam
- P_{EL} : Üretilen Elektrik Enerjisi
- Q_A : Çevreye atılan atık ısı
- Q_V : Çevrime verilen ısı
- \bar{T}_A : Ortalama alçak sıcaklık
- \bar{T}_Y : Ortalama yüksek sıcaklık
- V_i : Kazan kayıpları
- V_R : Kazan kabuğu ısı kaybı
- V_Y : Yanma kaybı
- V_{BG} : Baca kaybı
- W_T : Türbin işi
- W_{net} : Net iş
- h : Entalpi
- v : Özgül hacim
- ρ : Yoğunluk
- η : Verim
- h_{TG} : Buhar türbin giriş entalpisi
- $h_{TÇ,s}$: Buhar isentropik türbin çıkış entalpisi
- η_K : Kazan verimi
- η_R : Çevrim verimi
- η_j : Jeneratör verimi
- η_m : Mekanik verim

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. 1950 - 2003 dönemi için birincil enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içindeki payları ... | 6 |
| Şekil 2.2. 1990 - 2003 dönemi içerisindeki yıllarda birleşik santrallardan elde edilebilecek yıllık buhar üretimi ve bunun için gerekecek yıllık buhar üretimi ve bunun için gerekecek yıllık yakıt artışı | 12 |
| Şekil 3.1. Gaz motoru bazlı kojenerasyon sistemi | 26 |
| Şekil 3.2. Dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı | 30 |
| Şekil 3.3. 1000 KW'lık bir motorun ısı dengesi | 32 |
| Şekil 3.4. Gaz türbini (Tek şaftlı) | 35 |
| Şekil 3.5. Siemens gaz türbininin çalışma prensibi | 36 |
| Şekil 3.6. Siemens V 94.3 modeli gaz türbini - jeneratör sisteminin şematik resmi | 38 |
| Şekil 3.7. İki şaftlı gaz türbini | 39 |
| Şekil 3.8. Gaz türbini ve atık ısı kazanı | 41 |
| Şekil 3.9. Gaz türbininden çıkan atık ısının, ısı kazanında ilave yanma yapılmasıyla yapılmış gaz türbinli kojenerasyonun şematik resmi | 43 |
| Şekil 3.10. Birleşik çevrim | 44 |
| Şekil 3.11. Gaz türbininden çıkan atık ısının, ısı değiştiriciden geçirilip buhar türbininin çalıştırılmasıyla yapılmış gaz türbinli kojenerasyonun şematik resmi | 45 |
| Şekil 3.12. Buhar enjeksiyonlu gaz türbini STIG | 47 |
| Şekil 3.13. Egsoz gazların doğrudan kullanıldığı gaz türbini | 49 |
| Şekil 3.14. Karşı basınç türbini bazlı kojenerasyon sistemi | 56 |
| Şekil 3.15. Ekstraksiyon/yoğuşma türbini bazlı kojenerasyon sistemi | 57 |
| Şekil 3.16. Karşı basınçlı bir türbinin üretim olasılıkları kümesi | 60 |
| Şekil 3.17. Ekstraksiyon/yoğuşma türbininin üretim olasılıkları kümesi | 60 |
| Şekil 3.18. Karşı basınçlı buhar türbinisiyle birleşik çevrim | 62 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.19. Siemens firması tarafından V 64.3 modeli gaz türbini ile oluşturulan buhar türbinli karşı basınçlı birleşik çevrim örneğinin şematik resmi | 65 |
| Şekil 3.20. Ekstraksiyon/yoğuşma türbini ile birleşik çevrim | 66 |
| Şekil 4.1. ABB'nin imal ettiği Type 13 kodlu gaz türbini ve jeneratör sisteminin şematik gösterimi | 76 |
| Şekil 4.2. Type 13 kodlu gaz türbinin yanma odasının şematik gösterimi | 77 |
| Şekil 4.3. 143 MW'lık Type 13 E modeli BBC gaz türbini . | 77 |
| Şekil 4.4. Suudi Arabistan'ın Riyad kentinde Type 11 BBC gaz türbinlerinden 16 tanesinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş, petrolle çalışan, 1400 MW gücündeki Güç Merkezi ünitesi | 78 |
| Şekil 4.5. Taiwan'daki petrolle çalışan Tung Hsio 4/5 Birleşik çevrimli santralının resmi | 82 |
| Şekil 4.6. Suudi Arabistan'daki Rabıgh gaz türbinli santrallerin yeni yapılan ilave üniteleri | 82 |
| Şekil 4.7. Jawa adasındaki 1180 MW elektrik gücü üreten Tanjung Priok santralının resmi | 82 |
| Şekil 4.8. İngiltere'de doğal gazdan elektrik enerjisi üreten Killingholme A santrallerinin resmi | 82 |
| Şekil 4.9. Bahreyn'de 700 MW gücündeki ALBA santralının resmi | 83 |
| Şekil 4.10. A.B.D.'nin Coliforniya eyaletinde NOx emisyonu oldukça düşük olan AES Placerite santralının resmi | 83 |
| Şekil 4.11. A.B.D.'nin Mighigan eyaletinde 12 tane gaz türbini ile oluşturulan Midland güç ünitesinin resmi | 83 |
| Şekil 4.11. A.B.D.'nin Mighigan eyaletinde 12 tane gaz türbini ile oluşturulan Midland güç ünitesinin resmi | 83 |
| Şekil 4.12. Hollanda'da 220 MW elktirik gücü üreten ve aynı zamanda bölgesel merkezi ısıtmada da faydalanılan Galileistraat santralının resmi | 83 |
| Şekil 4.13. İngiltere'deki 225 MW'lık Roosecote santralının resmi bu santrali teknik özellikleri | 84 |
| Şekil 4.14. Hollanda 'daki yüksek verimli MK 12 (PEGUS 12) santralının resmi | 84 |
| Şekil 4.15. Mısır'daki elektrik ve proses buharı üretiminde kullanılan birleşik çevrimli EL Ameriya santralının resmi . | 84 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.16.Meksika'daki 240 MW gücündeki EL Sauz güç ünitesinin resmi | 84 |
| Şekil 4.17.Hollanda'da birleşik ısı elektrik ünitesi olarak ilk tesis edilen santrallerden MK 10 (PEGUS 10)'nun resmi | 85 |
| Şekil 4.18.Holanda'da 70 MW gücündeki birleşik çevrimli Almere santralının resmi | 85 |
| Şekil 4.19.Almanya'daki 230 MW gücündeki Hagen kablo santralının resmi | 85 |
| Şekil 4.20 Türkiye 'de 1350 MW gücünde birleşik çevrimle çalışan Ambarlı Santralının resmi | 87 |
| Şekil 4.21 Almanya'daki 750 MW gücünde buhar ve gaz türbinlerinden oluşan Gersteinwerk santralının resmi | 87 |
| Şekil 4.22.Abarlı Santralini oluşturan Rusyadan gelen doğal gaz veya ağır fuel _ oil ile çalışan,V 94.2 modeli 6 adet gaz türbini ve 3 adet buhar türbini içeren birleşik çevrimli santralin resmi | 87 |
| Şekil 4.23 Katar'da V93 modeli gaz türbini _ jeneratör sistemi esasına dayanılarak inşa edilmiş ,deniz suyundan her gün 180,000 m içilebilir su damıtma Ras Abu Fontes güç merkezinin resmi | 88 |
| Şekil 4.24. Siemens V 64.3 model gaz türbini ve buhar türbini kullanılarak tesis edilmiş ,atık ısının merkezi ısıtmada fayda lanıldığı 70 MW gücündeki Hillerod santralının resmi | 88 |
| Şekil 4.25.G3612 TA modeli gaz motorunun resmi | 92 |
| Şekil 4.26.3516 TA modeli jeneratörün resmi | 93 |
| Şekil 4.27.G3516 modeli gaz motoru jeneratörünün resmi .. | 94 |
| Şekil 4.28.Five centaur 50 modeli gaz türbini | 95 |
| Şekil 4.29. Endonezya'da five centaur 50 modeli gaz türbinleri ile oluşturulmuş güç ünitesi | 95 |
| Şekil 4.30.Saturn modeli gaz türbini | 95 |
| Şekil 4.31.A.B.D.'nin Massachusetts eyaletindeki saturn 20 modeli gaz türbinlerinden oluşan Nantucket santrali | 95 |
| Şekil 4.32.Mars 90 modeli gaz türbini | 96 |
| Şekil 4.33.A.B.D.'nin Chicago eyaletindeki Mars 90 modeli gaz türbininden oluşan Illinois santrali | 96 |
| Şekil 4.34.Taurus 60 modeli gaz türbini | 96 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.35.A.B.D.'nin Texas eyaletindeki Taurus 60 modeli gaz türbinlerinden oluşmuş güç santrali | 96 |
| Şekil 4.36.CAT solar turbines şirketinin imal ettiği 60 modeli endüstriyel gaz türbininin kesit resmi | 97 |
| Şekil 4.37.A.B.D.'nin pennsylvania eyaletinde elektrik ve buhar üretimi için faydalanılan 6 adet Mars 90 modeli gaz türbininin bir arada kullanıldığı birleşik çevrimli santral | 97 |
| Şekil 4.38.A.B.D.'nin California eyaleti Irvina kasbasında elektrik ve buhar üretiminde faydalanılan Centaur 40 modeli gaz türbinlerinin kullanıldığı 3.5 MW 'lık Kendall Mc Gaw santrali | 98 |
| Şekil 4.39.CAT Solar Turbines şirketinin tesis ettiği gaz türbinli kojenerasyon sistemini izah eden temsili resim . | 98 |
| Şekil 4.40.Waukesha Dresser şirketinin dizel motor kojenerasyon sistemiyle ilgili yaptığı çalışmayı ifade eden şematik resim | 101 |
| Şekil 4.41.A.B.D.'nin California eyaletinde Windowmaster şirketinin enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan 7100G tipi 1500 KW'lık dizel motor kojenerasyonu uygulanmasının resmi..... | 101 |
| Şekil 4.42.A.B.D.'nin Utah eyaletinde Cantral Valley sewage Treatment'nin enerji ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılan 9500 G tipi 2400 KW 'lık dizel motor kojenerasyonu uygulamasının resmi | 102 |
| Şekil 4.43.9500 G tipi 2400 KW 'lık dizel motor 'un değişik açıdan çekilmiş resmi | 102 |
| Şekil 4.44.9500 G tipi 2400 KW 'lık dizel motor'un kontrol odası | 102 |
| Şekil 4.45. Kamata - Sumitomo şirketinin imal ettiği KM - s modeli kojenerasyon paket enrji sistemi | 103 |
| Şekil 4.46.Kamata - Sumitomo şirketinin imal ettiği KM - 6-W modeli kojenerasyonlu paket enrji sistemi | 103 |
| Şekil 4.47.Kamata - Sumitomo şirketinin imal ettiği KM - 10 modeli kojenerasyonlu paket enrji sistemi | 104 |
| Şekil 4.48.Ulstein şirketinin imal ettiği Danimarka'da Langa kasabasının 2,6 MW elktrik enrjisi ve 3,6 MW merkezi ısıtma kapasitesine sahip ağır fuel-oil kullanan K tipi dizel motorlu kojenerasyon uygulaması | 104 |
| Şekil 4.49.United Technologies şirketinin imal ettiği FT 8 modeli endüstriyel gaz türbinin resmi | 105 |

| | |
|--|------|
| Şekil 4.50.FT 8 modeli endüstriyel gaz türbinin şematik resmi | 105 |
| Şekil 4.51.A.B.D.'nin East Hartford kasabasında FT 8 endüstriyel gaz türbini kullanılarak tesis edilmiş 27 MW gücündeki birleşik çevrimli tesisin resmi | 106 |
| Şekil 4.52.FT 8 endüstriyel gaz türbinin akış diyagramının resmi..... | 106 |
| Şekil 5.1.Temel ısı güç çevrimi akış Diyagramı ve çevrimin T - S Diyagramında gösterilmiştir | 110 |
| Şekil 5.2.Teorik Rankine Çevrimi ve Eşdeğer Carnot Çevriminin Karşılaştırılması | 110 |
| Şekil 5.3.Carnot ve Rankine Çevrimlerinde ısının Mekanik Enerjiye Dönüşen Bölümleri | 111 |
| Şekil 6.1.Ara Buhar Almalı Birleşik Isı Elektrik Santralının Tesisat Şeması | 121 |
| Şekil 6.2.Ara Buhar Almalı Santrale bölge ısıtmasında enerjiden faydalanma oranının ısı elektrik oranıyla değişimi.122 | |
| Şekil 6.3.Bir Bileşik Isı Güç Santrali İçin Genel Bağlantı Şeması | 129 |
| Şekil 7.1.Bileşik santraller ,jeotermal enerji (ve diğer yeni enerji kaynakları) kullanımının, birincil kaynaklar ve tüketim sektörleri arasındaki enerji akışına etkisi ... | 132 |
| Şekil.E.1 CAT firmasının imal ettiği 3612 modeli jeneratör setinin resmi | E 4 |
| Şekil E.2. CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratörün önden görünüşü | E 5 |
| Şekil E.3. CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratörün sağdan görünüşü | E 6 |
| Şekil E.4. CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratörün arkadan görünüşü | E 7 |
| Şekil E.5. CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratörün üstten görünüşü | E 8 |
| Şekil E.6. Solar türbinlerinin imal ettiği San Diego'daki fabrikanın resmi | E 12 |
| Şekil E.7. Solar türbinlerinden Mars 90 modeliyle yapılmış kojenerasyonlu sistemim resmi | E 13 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 2.1. 1983-1993 Dönemi için faydalanılan termik santrallerden birleşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken yıllık yakıt artışı | 8 |
| Tablo 2.2. 1980-1984 döneminde işletmeye açılacak termik santrallerden birleşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken buhar artışı | 9 |
| Tablo 2.3. Mevcut bazı Termik Santraller | 10 |
| Tablo 2.4. 1990-2003 Döneminde birleşik santrallerden elde edilmesi beklenen yıllık buhar üretimi | 11 |
| Tablo 2.5. 1980-2003 Döneminde petrol talebi ve bu talebin çeşitli sektörlerle dağılım yüzdeleri | 11 |
| Tablo 2.6. Türkiye brüt elektrik enerjisi üretimi içindeki birincil enerji kaynakları payının yılları itibarıyla gelişimi | 15 |
| Tablo 2.6. (Devamı) Türkiye brüt elektrik enerjisi üretimi içindeki birincil enerji kaynakları payının yıllar itibarıyla gelişimi | 16 |
| Tablo 2.7. T.E.K Kurulu gücünün birincil enerji kaynak gruplarına göre yıllar itibarıyla gelişimi | 17 |
| Tablo 3.1. Kojenarasyon tekniklerinin güç aralığı | 69 |
| Tablo 3.2. Isı kalitesi | 69 |
| Tablo 3.3. Isı/Güç Oranı | 70 |
| Tablo 3.4. Kojenarasyon sistemi verimleri | 71 |
| Tablo 3.5. Ana makine ömrü | 71 |
| Tablo 3.6. Kısmi yük davranışı ve minimum yük | 72 |
| Tablo 4.1. AAB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisin güçleri ve teknik özellikleri (100-57 arası) | 79 |
| Tablo 4.2. ABB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisin güçleri ve teknik özellikleri (56-13 arası) | 80 |
| Tablo 4.3. ABB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisi güçleri ve teknik özellikleri (12/1 arası) | 81 |
| Tablo 4.4. CAT şirketinin imal ettiği gaz motorları ve teknik özellikleri | 92 |

| | |
|---|------|
| Tablo 4.5. CAT şirketinin imal ettiği kojenerasyon sistemlerinin temel elemanlarından jeneratör tiplerinin teknik özellikleri | 93 |
| Tablo 4.6. CAT şirketinin imal ettiği gaz motoru ve jeneratörlerinden oluşan gaz jeneratörü kojenerasyon paket sistemlerinin teknik özellikleri | 94 |
| Tablo 6.1. Birleşik Isı Elektrik üretimde faydalanılan sistemler ve özellikleri | 119 |
| Tablo 6.2. Enerjiden faydalanma oranının (EFO) Eksoz sıcaklığı ile değişimi | 122 |
| Tablo 7.1. Proses basınca göre buharın kullanıldığı endüstri türü ve uygulaması | 135 |
| Tablo E.1. Türkiye'de bilinen linyit rezervinin sahalar itibariyle dağılımı, kül, nem, kükürt, oranları ve ısı değerleri | E 1 |
| Tablo E.2. CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratör setinin teknik özellikleri | E 4 |
| Tablo E.3. Borusan Makina Bigs / Caterpillar 3400 serisi gaz motorları | E 9 |
| Tablo E.4. Borusan makina Bigs / Caterpillar 3500 serisi gaz motorları | E 10 |
| Tablo E.5. Borusan makina Bigs / Caterpillar 3600 serisi gaz motorları | E 11 |
| Tablo E.6. Solar türbinlerinin modelleri ve boyutları .. | E 12 |
| Tablo E.7. Solar türbinlerinin modelleri ve teknik özellikleri | E 13 |

TEŞEKKÜR

Tez konumu veren ve değerli katkılarıyla çalıőmamı yönlendiren sayın hocam Y.Doç.Dr. Galip TEMİR'e, her türlü teşvik ve yardımlarıyla çalıőmamı destekleyen sayın hocam Prof.Dr. Doğan ÖZGÜR'e; ayrıca en son teknolojiler konusunda yardımlarını esirgemeyen Koç Holding Etüd Proje Koordinatörlüğü Enerji ve evre Bölümünde Uzman Mühendis zcan AĀABAY'a ve ABB Enerji Koordinatörlüğü Md.Yrd. Serdar ÜNSAL'a sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunmayı zevkli bir görev bilirim.

TÜRKÇE ÖZET

Bugün dünyada kullanılan enerjinin büyük bir bölümü yenilenemeyen kaynaklardan kömür petrol ve doğalgaz şeklindedir. Bu kaynaklar milyonlarca yıl önce oluştu ve bugün yılda hemen hemen dokuz milyar ton kömür harcanmaktadır.

Bugün gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık dörtte biri sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp, atık ısı geri kazanımı temel tekniklerinin uygulanmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış atık ısı geri kazanım sistemleri için yapılan yatırımları, karlı ve kısa zamanda kendini öder hale getirmiştir.

Yüksek verimli enerji dönüşüm sistemleri gelecekte insanoğlunun en önemli problemlerindedir. Hidrokarbon esaslı enerji kaynaklarının elli yıl içinde tükenerek olması gerçeği, yenilikçi mühendisleri yüksek verimli enerji sistemleri araştırmasına yöneltmiştir.

Bu çalışmada özellikle yüksek verimde enerji ve para tasarrufu sağlayan "Birleşik Isı ve Güç Santralleri" incelenmiştir.

Birleşik Isı Güç Santralleri çok amaçlı, yani ısı ve elektriğin birlikte üretildiği santrallerdir. Yakıt yatırım, personel, bakım onarım vb. giderler, çevre sorunları gibi faktörlerle hem enerji hem de işletme ekonomisi yönünden ısı ve elektriğin birlikte üretilmesi ayrı ayrı üretilmesine kıyasla daha uygun olmaktadır. Birleşik Isı Güç Santrali uygulaması çok amaçlı, yapısal sorunlara köklü çözüm getirme olanağını beraberinde taşıyan bir uygulamadır.

Ayrıca, enerji kullanımındaki her yıl giderek artan birçok israflı uygulamaları terk etmemiz gerektiğini hiçbir zaman unutmamalıyız.

Bu çalışmada, SI (The International System of Units) birim sistemi kullanılmıştır.

ABSTRACT

The vast bulk of the energy used in the form of non renewable coal oil and natural gas. These resources were laid down many millions of years ago and are at being consumed at the rate of almost 9 billion tonnes of coal per annum.

Today approximately one fourth of industrial energy consumption is lost by wasted gases and liquids in the developing countries. This waste energy can be reduced by using waste heat recovery systems increasing of the energy prices have made investments profitable and shorter payback period for the waste heat recovery systems.

Energy conversation over high efficient cycles is the most important problem of human in the future. The reality that our hydrocarbon based energy sources will deplete within the next 50 years lets innovative engineers search for energy conversation cycles with high energy efficiency.

In this study especially "Combined Heat and Power Systems", are high efficient converters that save energy and money, have been considered.

Cogeneration power plants are multi - purpose plants in the sense that they are used to produce electricity and also provide heating. The simultaneous production of heat and electricity is more practical and economical in comparison to their production seperately. If fuel consumption, investment, personnel, maintenance and other relevant factors are taken into consideration. Cogeneration power plants are multi - purpose applications that brings fundamental solution to problems related to the system configuration.

In addition, we musn't forget that we have to abandon many wasteful practices in energy utilization which have grown up over the years in any time.

In this study SI (The International System of Units) has been used.

1.GİRİŞ

Enerji genel olarak iş yapabilme yeteneği veya potansiyeli olarak tanımlanır. Enerji tüm sosyo - ekonomik faaliyetlerimiz için vazgeçilmez bir ögedir. Toplumların ekonomik gelişmişlik düzeyleri kullandıkları enerji miktarı ile ölçülebilir. Enerjinin doğrudan kullanılamayan biçimine, "birincil enerji" (ham enerji); doğrudan kullanılabilen biçimine ise "ikincil enerji" (işlenmiş enerji) denir. Enerji brüt bir büyüklüktür. Bunun mekanik enerjiye dönüştürülebilir ve yararlanılan bölümü "yararlı enerji" (ekserji), hiç kullanılamayan ve çevreye ısı biçiminde atılan bölümü ise "yararsız enerji" (anerji) olarak tanımlanmaktadır.

Birincil enerjinin ikincil enerjiye dönüşümü, enerji dönüşüm teknolojileri uyarınca gerçekleştirilen enerji sistemleri yardımı ile olmaktadır. İletim, dağıtım ve kullanım yönündeki üstünlükleri nedeniyle, elektrik enerjisi en istenen ikincil enerji türünü oluşturmakta, tüm sektörlerde elektrik enerjisine doğru bir yönelme görülmektedir. Birincil enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenmeyen enerji kaynakları olmak üzere 2 ana grupta toplanabilir. Fosil yakıtlar ve nükleer yakıtlar yenilenmeyen enerji kaynakları olup bu kaynaklar tükenen ve çevre kirletici özelliktedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise güneş kökenli ve güneş kökensiz enerji kaynakları olup tükenmeyen ve temiz kaynaklardır.

Günümüz enerji teknolojisinde elektrik enerjisinin tümüne yakın bir bölümü, fosil yakıtlarla çalışan termik

santrallardan sağlanmaktadır. Günümüzde termik santralların verimi genelde %30-44 dolayında bulunmakta, verilen yakıt enerjisinin %56-70'i atık ısı olarak çevreye atılmaktadır. Bu atık ısının bileşik ısı güç santrali uygulaması ile değerlendirilmesi sistem verimini işletme yük koşullarına bağlı olarak %88'lere kadar yükseltebilmektedir.

Ekonomide büyüme hızı, yaklaşık olarak enerji tüketimi ile doğru orantılıdır. Enerji gereksinimindeki ve enerji fiyatlarındaki hızlı artış, enerji teminindeki dışa bağımlılık, üretimin sürekliliğini, üretim maliyetini ve dış ödemeler dengesini etkilemektedir. Enerji fiyatlarındaki hızlı artış, enerji teminindeki darboğazlar, mevcut enerji dönüşüm teknolojilerinin, alışılmamış enerji kaynaklarından yararlanılmasındaki yetersizliği, enerjinin tutumlu kullanılmasını zorunlu kılmaktadır, enerji tasarrufu uygulamaları ile mevcut sistemlerde yararlanılmayarak çevreye atılan enerjinin bir bölümü geri kazanılmakta, bu nedenle enerji tasarrufu günümüzde yeni ve ucuz bir enerji kaynağı olarak ele alınmaktadır.

2.TÜRKİYE'NİN GENEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ İÇİNDE KONUYA YAKLAŞIM

2.1.Genel Bakış

Günümüzün en önemli sorunlarından biri de enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükeniyor olmasıdır. Bu konuda, bilim dünyası bu kısıtlı enerji kaynaklarından elde edilen yakıtı, sarfedildikleri tesislerde en verimli oranda kullanmanın yollarını aramaktadır. Bu düşüncenin ışığında

elektrik üretim istasyonlarında da yeni düzenlemelere gidilerek yakıt enerjisinden yararlanma oranının arttırılma yolları araştırılmıştır.

Ülkemizdeki toplam enerji üretiminin önemli bir bölümü, yerli kömür kaynaklarımıza dayanmaktadır. Önümüzdeki on yıllık dönemde kömürün, enerji politikamızdaki öneminin daha da artacağı beklenebilir. Diğer taraftan gerek kısa dönemde kömür üretiminde içinde bulunduğumuz darboğaz ve gerekse daha uzun dönemde sınırlı kömür rezervlerimizin en verimli kullanımı açılarından, kömüre dayalı enerji üretiminde sağlıklı bir planlamaya gidilmesi kaçınılmaz görülmektedir. Böyle bir çalışmanın genel kapsamı içinde, kömürün yanında ısı enerjisi üreten diğer kaynakların (petrol, nükleer vs.) rasyonel kullanımı, genel enerji planlaması çerçevesinde ele alınabilir ve bununla ilişkili olarak endüstri ve yerleşim alanlarının uzun dönem planlanması da düşünülebilir.

2.2. Temel Sorunlar

Türkiye'nin genel enerji planlanması, hızlı sanayileşmenin getirdiği enerji talebinin, ülke çıkarlarına en uygun koşullarda karşılanmasını hedef alacaktır.

Enerji darboğazına paralel olarak içinde bulunduğumuz döviz darboğazı, birincil enerji kaynakları açısından %50'nin üzerinde petrole bağımlılık ve bu petrolün %85'inin ithal edilme zorunluluğu, ülkenin tüm ihracatının petrol ithalatı için gerekli dövizini ancak karşılar durumunda olması, ileriki yıllar için öngörülen gittikçe büyüyen enerji açığı, eldeki bütün imkanlarla yerli kaynaklarımıza dayalı enerji

üretiminin hızla geliştirilmesini ve uzun dönem planlama açısından sınırlı rezervlerimizin en verimli ve tasarruflu kullanımını gerektirmektedir.

2.3. Geçmiş Yıllardaki Gelişmeler

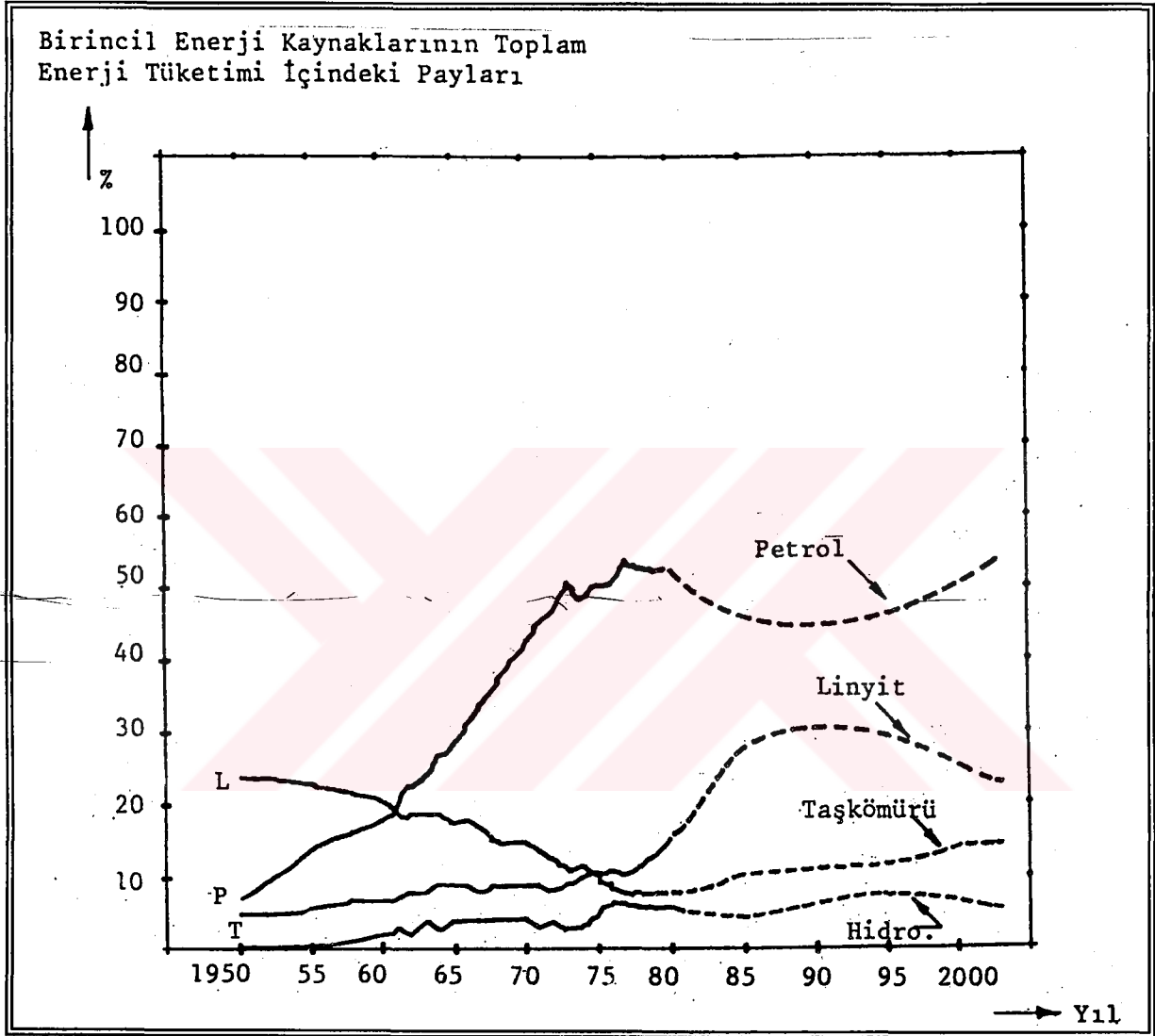
Enerji üretiminde öncelikle yerli kaynaklarımıza yönelmenin gerekliliğini vurgulamak açısından geçmiş yıllardaki bazı gelişmeleri incelemek yararlı olacaktır. 1973 petrol krizi öncesi petrol fiyatlarının düşük olması, enerji üretimi gibi temel bir konuda önemli ölçüde dışa bağımlılık yaratmasına rağmen, petrole dayalı bir enerji politikasını ön plana çıkarmıştır. Böylece, belli bir dönem için bile olsa, bizim kontrolümüzde olmayan faktörlerin, enerji üretimini ve dolayısıyla milli ekonomiyi etkisi altına alabilmesi mümkün olmuştur.

1960-1973 döneminde petrole dayalı enerji tüketimi 7.2 kat artarken, yerli kaynaklarımız olarak linyit tüketimi ancak 2.8 kat, taşkömürü tüketimi ise 1.2 kat artmıştır. 1950-1960 döneminde, petrol tüketiminin 3.7 kat, linyit tüketiminin 3.2 kat, taşkömürü tüketiminin 1.5 kat arttığı da göz önüne alınırsa, büyük ölçüde dışa bağımlı bir kaynak olan petrol tüketimimizin, yerli kömür kaynaklarımızın kullanılmasına karşın önemli bir gelişme gösterdiği ortaya çıkacaktır. Gene 1950-1973 döneminde, diğer bir yerli kaynak olan hidro-elektrik potansiyelin kullanımı 87 kat artmasına rağmen neticede, 1950'de petrolün birincil enerji kaynakları içinde %6 olan tüketim payı 1973'te % 49'a yükselmiş; bu oran linyit için % 9, taşkömürü için % 11, hidro-elektrik enerji

için % 2 dolaylarında kalmıştır. 1973 petrol krizi sonrasında ise, 1973-1978 döneminde, petrol tüketimi 1.5 artarken, linyit tüketimi 2.0 kat artmış, taşkömürü tüketimi aynı düzeyde kalmıştır. 1973 sonrası görülen linyite yönelmeye rağmen, 1978'de birincil enerji kaynakları içinde tüketim payları linyit için % 12, taşkömürü için % 8, hidro-elektrik enerji için % 6, petrol için ise % 53'tür ve bu petrolün %85'i dışarıdan ithal edilmektedir.

2.4.Önümüzdeki Yıllarda Beklenen Gelişmeler

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca hazırlanan Genel Enerji Master Planı (1979-2003), birincil enerji kaynaklarından petrol, linyit, taşkömürü ve hidro-elektrik enerjinin toplam enerji tükemi içindeki paylarının 1950-1978 döneminde gerçekleşen değerlerini vermektedir. Şekil 2.1 de 1950-1978 dönemi ile birlikte, yukarıda sözü edilen kaynaktan yararlanarak 1978-2003 dönemi için elde edilen gerçekleşmesi beklenen tüketim payları değerleri gösterilmiştir. Buradan açıkça görülmektedir ki, mevcut gelişme eğilimleri ile, 1973 petrol krizi sonrası görülen linyite yönelmeye rağmen, genel enerji tüketimindeki petrole bağımlılık 2000 yıllarına kadar %50 civarında sürmekte, linyitin tüketim payı %30 dolaylarına yükselirken taşkömürü ve hidro-elektrik enerji tüketim paylarında önemli değişiklikler beklenmemektedir. Petrole bağımlılığın bu ölçüde sürmesinin milli ekonomi açısından sonucu, büyük ölçüde petrol dış alımına harcanacak döviz gelirlerimizin endüstriyel kalkınmaya yöneltilememesi ve bugün öngörülemeyen



Şekil 2.1. 1950 - 2003 dönemi için birincil enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içindeki payları

kaynaklar bulunmadığı takdirde, ekonomimizin içinde bulunduğu kısır döngünün sürmesi veya kalkınma hızımızın mümkün olanın çok daha altında gerçekleşmesi olacaktır. Bu durumda, petrol tüketiminin sektörler-arası dağılımının dikkatle incelenmesi ve mümkün olan faydaların gerçekleştirilmesi ile petrol tüketim payının düşürülmesi gerekmektedir.

Ülkemizin yıllık buhar ve yakıt artışı ile ilgili istatistiklerini tablolar ve şekiller yardımıyla şu şekilde ele alabiliriz:

Tablo 2.1'de 1983-1993 dönemi için faydalanılan termik santrallardan bileşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken yıllık yakıt artışı

Tablo 2.2'de sadece 1980-1984 döneminde işletmeye açılan termik santrallardan bileşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken yakıt artışı

Tablo 2.3'de mevcut bazı termik santralların kurulu güçleri ve yıllık enerji üretimi

Tablo 2.4'de 1990-2003 döneminde bileşik santrallardan elde edilmesi beklenen yıllık buhar üretimi

Tablo 2.5'de 1980-2003 döneminde petrol talebi ve bu talebin çeşitli sektörlerle göre dağılım yüzdeleri

Şekil 2.2'de 1990-2003 dönemi içindeki yıllarda bileşik santrallardan elde edilebilecek yıllık buhar üretimi ve bunun için gerekecek yıllık yakıt artışı

ifade edilmiştir.

Tablo 2.1 1983 - 1993 Dönemi için faydalanılan termik santrallerden birleşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken yıllık yakıt artışı.

| Termik Santral | İşletmeye Açılış Tarihi | Kurulu Güç (MW) | Yıllık Enerji Üretimi (GWh) | Yıllık Yakıt İhtiyacı (Bin TET) | Yıllık Yakıt Artışı (Bin TET) | Yıllık Buhar Üretimi (Bin TET) |
|-----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| (LİNYİT) | | | | | | |
| Kangal 2 | 11-1983 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Seyitömer 4 | 12-1983 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Bursa / Keles | 12-1983 | 200 | 1200 | 1200 | 300 | 691 |
| Orta | 1-1984 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Çan 1,2,3 | 1-7-12-1984 | 3x200 | 3600 | 3600 | 900 | 2074 |
| Beyşehir | 1-1985 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Afşin - Elbistan B | 7-12-1985 7-12-1986 | 4x300 | 7800 | 7800 | 1950 | 4493 |
| Karlıova (1+2) | 1-1988 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Afşin - Elbistan C | 7-1988 1-1989 | 2x300 | 3900 | 3900 | 1950 | 2246 |
| Afşin - Elbistan D | 1-4-7-10-12-1990 3-1991 | 6x300 | 11700 | 11700 | 2925 | 6799 |
| Afşin - Elbistan E | 6-9-1991 | 2x300 | 3900 | 3900 | 1950 | 2246 |
| Hussamlar | 1-1993 | 210 | 1260 | 1260 | 315 | 726 |
| (BİTÜMLÜ ŞİŞT) | | | | | | |
| Göynük | 1-1992 | 2x200 | 2400 | 2400 | 600 | 1382 |
| Seyitömer | 1-1992 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Bahçecik-Gölpazarı | 1-1992 | 50 | 300 | 300 | 75 | 173 |
| Beypazarı 5-6 | 1-1992 | 250 | 1500 | 1500 | 375 | 864 |
| (NÜKLEER) | | | | | | |
| Nükleer 1 | 1-1987 | 600 | 4200 | 4200 | 1050 | 2419 |
| Nükleer 2 | 1-1992 | 1000 | 7000 | 7000 | 1750 | 4032 |
| TOPLAM | | 8410 | 54160 | 54160 | 13540 | 31196 |

Tablo 2.2 1980 - 1984 döneminde işletmeye açılacak termik santrallerden bileşik santral olarak üretilen yıllık buhar ve bunun için gereken buhar artışı.

| Termik Santral | İşletmeye Açılış Tarihi | Kurulu Güç (MW) | Yıllık Enerji Üretimi (GWh) | Yıllık Yakıt İhtiyacı (Bin TET) | Yıllık yakıt Artışı (Bin TET) | Yıllık Buhar Üretimi (BinTET) |
|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Soma B 1,2 | 11-1980 4-1981 | 2X165 | 1980 | 1980 | 495 | 1140 |
| Yatağan 1,2 | 1-5-1981 | 2X210 | 2520 | 2520 | 630 | 1451 |
| Afşin - Elbistan A | 5-11-1981 5-11-1982 | 4X340 | 7800 | 7800 | 1950 | 4493 |
| Çayırhan 1,2 | 9-12-1982 | 2X150 | 1800 | 1800 | 450 | 1037 |
| Orhaneli | 12-1982 | 200 | 1200 | 1200 | 300 | 691 |
| Kangal 1 | 6-1983 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Yeni Çatalağzı | 6-1983 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Tınaz - Bağyaka | 1-1983 | 150 | 900 | 900 | 225 | 518 |
| Milas - Sekköy | 1-4-1984 | 2X210 | 2520 | 2520 | 630 | 1451 |
| TOPLAM | | 3480 | 20520 | 20520 | 5130 | 11817 |

Tablo 2.3 Mevcut bazı Termik Santraller.

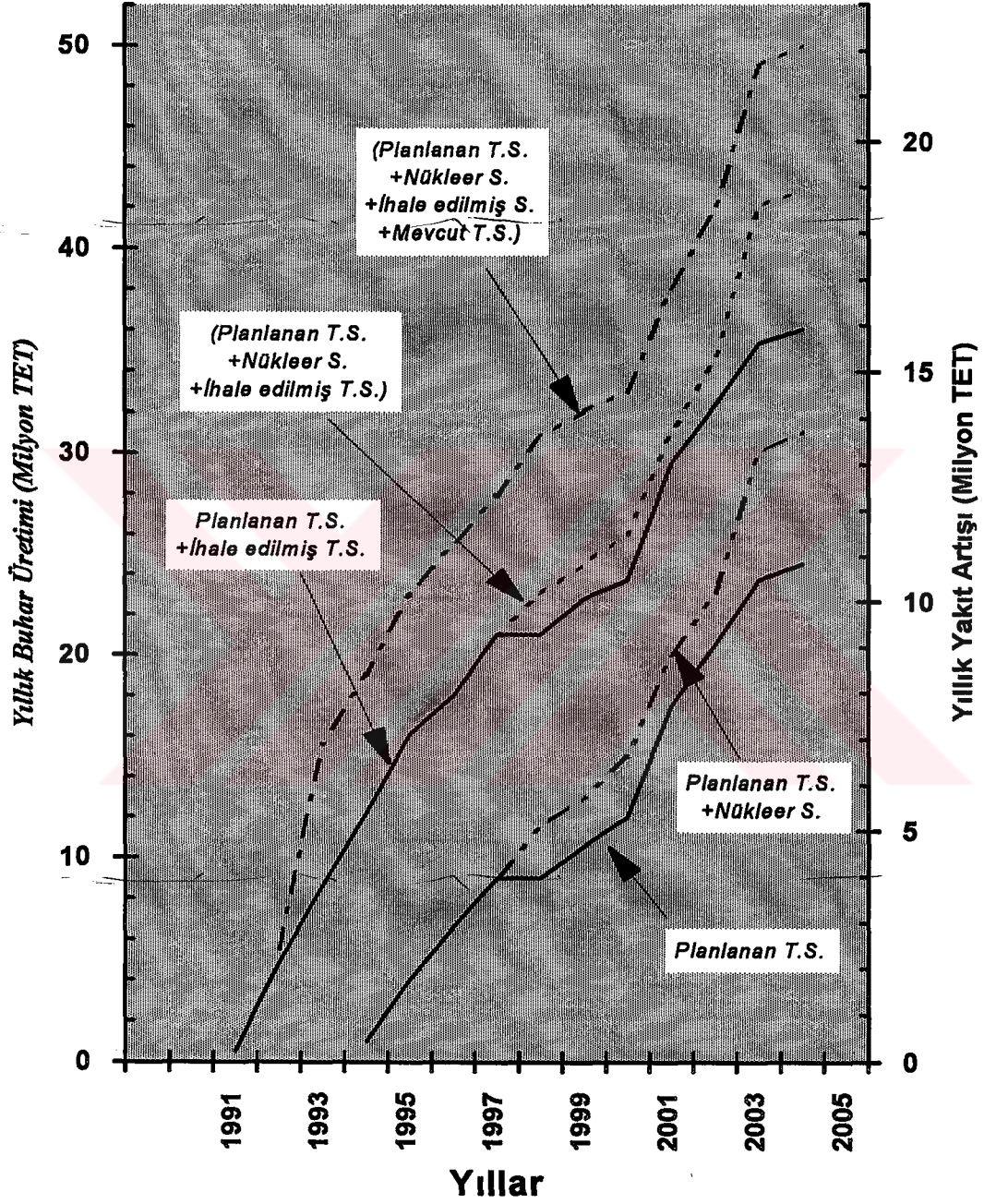
| <i>Termik Santral</i> | <i>Kurulu Güç (MW)</i> | <i>Yıllık Enerji Üretimi (GWh)</i> |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|
| Seyitömer | 450 | 2700 |
| Soma A | 44 | 300 |
| Tunçbilek A | 129 | 830 |
| Tunçbilek B | 300 | 1800 |
| Çatalağzı | 129 | 800 |
| Silahtar | 60 | 350 |
| İzmir | 40 | 130 |
| Ambarlı | 630 | 4200 |
| Mersin | 106 | 700 |
| Hopa | 50 | 350 |
| Oto - Linyit | 31 | 98 |
| Oto - TK | 63 | 170 |
| Oto - FO | 367 | 2105 |
| Oto + Bel.GT | 398 | 351 |
| TEK + GT | 195 | 585 |
| TOPLAM | 2992 | 15469 |

Tablo 2.4 1990 - 2003 döneminde bileşik santrallardan elde edilmesi beklenen yıllık buhar üretimi (Yıl sonu itibarıyla Bin TET olarak)

| Yıl | Planlanan TS | Planlanan TS + İhale edilmiş TS | Planlanan TS + Nükleer S | Planlanan TS + Nükleer S + İhale Edilmiş TS | Planlanan TS + Nükleer S + İhale Edilmiş TS + Mevcut TS |
|------|--------------|---------------------------------|--------------------------|---|---|
| 1990 | | 570 | | 570 | 570 |
| 1991 | | 4838 | | 4838 | 4838 |
| 1992 | | 8813 | | 8813 | 15813 |
| 1993 | 1728 | 12095 | 1728 | 12095 | 19095 |
| 1994 | 4314 | 16131 | 4314 | 16131 | 23131 |
| 1995 | 7079 | 18896 | 7079 | 18896 | 25896 |
| 1996 | 9326 | 21143 | 9326 | 21143 | 28143 |
| 1997 | 9326 | 21143 | 11745 | 23562 | 30562 |
| 1998 | 10967 | 22784 | 13386 | 25203 | 32203 |
| 1999 | 12090 | 23907 | 14509 | 26326 | 33326 |
| 2000 | 17706 | 29523 | 20125 | 31942 | 38942 |
| 2001 | 21075 | 32892 | 23494 | 35311 | 42311 |
| 2002 | 24012 | 35829 | 30463 | 42280 | 49280 |
| 2003 | 24738 | 36555 | 31189 | 43006 | 50006 |

Tablo 2.5 1980 - 2003 döneminde petrol talebi ve bu talebin çeşitli sektörlerle dağılım yüzdeleri.

| Yıl | Toplam Petrol talebi (Bin Ton) | Sektörlere Dağılım Payları (Yüzde) | | | | | |
|------|--------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-------|------------|-------------|
| | | Teshin | Sanayi | Ulaştırma | Tarım | Santrallar | Enerji Dışı |
| 1980 | 20783 | 14 | 30 | 32 | 7 | 10 | 7 |
| 1985 | 36475 | 11,5 | 32 | 31 | 10 | 5,5 | 10 |
| 1990 | 56385 | 10 | 34,5 | 32,5 | 8,5 | 3,5 | 11 |
| 1995 | 80686 | 8,5 | 35 | 38,5 | 7 | 2,5 | 8,5 |
| 2000 | 121715 | 7 | 37 | 41,5 | 5,5 | 1,5 | 7,5 |
| 2003 | 157038 | 6 | 38,5 | 43,5 | 4,5 | 1,3 | 6,2 |



Şekil 2.2 1990 - 2003 dönemi içerisindeki yıllarda birleşik santrallerden elde edilebilecek yıllık buhar üretimi ve bunun için gerekecek yıllık yakıt artışı.

2.5.Bileşik Isı Güç Santrallarının Enerji Ekonomisi ve Çevresel Yönden Önemi

Elektrik enerjisinin üretildiği termik santrallarda, çevreye atılan atık ısının, büyük bir bölümünün birleşik ısı güç santrali uygulaması ile düşük sıcaklık enerji uygulama alanlarında kullanılması, büyük boyutlarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

Isı santralları, binaların ısıtılması ve endüstriyel ısı üretimi amacı ile kullanılmakta ve ortalama ısıl verimleri genelde %50-75 dolayında olmaktadır, yoğunlaştıruculu tip termik santrallarda, yakıt ısısının %35-40'ı elektriğe dönüşmekte, %55-70'i atık ısı olarak çevreye verilmektedir. Isı ve elektriğin birlikte üretildikleri bileşik ısı güç santrallarında ise verimin %88'lere kadar yükselmesi mümkün olmaktadır. Bileşik ısı güç santrallarının bölgesel ısıtmada kullanılması durumunda, büyük boyutlarda yakıttan tasarruf edilebilmekte, ayrıca elektrik enerjisi de üretilebilmektedir.

Bileşik ısı güç santrallarında yakıt ısısının yaklaşık %15-30'u elektriğe dönüşmekte, %40-60'ı ise ısı tüketicilere (bölgesel ısıtma, endüstri) verilmektedir. Şimdiye kadarki deneyimler, bileşik ısı güç santrali yolu ile, elektrik ve ısının birlikte üretilmesinin ayrı ayrı üretilmesine kıyasla, genel işletme ve yük koşullarında ortalama %40 dolayında yakıt tasarrufu sağladığını göstermektedir.

Hava kirliliği modern dünyanın önemli sorunlarından birisidir. Bileşik ısı güç santrallarında kontrollü ve tekniğine uygun yakma ile hem hava kirliliği büyük boyutlarda önlenilmekte, hem de düşük kaliteli yakıtların en verimli

biçimde değerlendirilmesi sağlanabilmektedir.

2.6. Bileşik Isı Güç Santrallerinin Türkiye Yönünden Önemi

Ülkemizde tüketilen enerjinin yaklaşık %40'ı binaların ısıtılmasında %45'i ise elektrik üretimi ve endüstride kullanılmaktadır. Ülkemizde özellikle büyük kentlerimizde, ısıtma sorununun yanısıra, sosyal ve endüstriyel faaliyetlerde, az da olsa kesinti ve kısıntılara neden olan elektrik açığı mevcuttur.

Bileşik ısı güç santralleri, %40 dolayında tasarrufu ile birlikte, kent ısıtılması, endüstriyel ısı temini, elektrik açığının kapatılması temini ile enerji ekonomisi ve çevre sorunlarının çözümü yönünden, uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Kontrollü ve tekniğine uygun yakmanın getirdiği üstünlükle, bu sorunların çözümlenmesinde düşük kaliteli yakıtlarda kullanılabilir.

Birincil enerji kaynakları rezervlerinin gün geçtikçe azalması, bir yandan yeni enerji kaynaklarının bulunmasını, diğer yandan da eldeki düşük kaliteli kaynakların, en verimli ve istenilen amaçlara uygun şekilde kullanılmasını gerektirmektedir.

Türkiye brüt elektrik enerji üretimi içindeki birincil enerji kaynakları payının yıllar itibariyle yıllar gelişimi Tablo 2.6 'da verilmiştir. Görüldüğü gibi 1993 yılı itibariyle %25.3'lük payla linyit en büyük yüzdeyi oluşturmaktadır. TEK Kurulu gücünün birincil enerji kaynak gruplarına göre yıllar itibariyle gelişimi de Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.6 Türkiye brüt elektrik enerjisi üretimini içindeki birincil enerji kaynakları payının yıllar itibarıyla gelişimi.

| SANTRALLAR | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>Taş kömürü Santralleri</i> | 251,3 | 251,3 | 251,3 | 131,3 | 251,3 | 251,3 | 251,3 | 251,3 | 211,5 | 211,5 | 211,5 |
| <i>Linyit santralleri</i> | 173,0 | 213,0 | 213,0 | 513,0 | 513,0 | 513,0 | 513,0 | 813,0 | 960,5 | 960,5 | 960,5 |
| KATI YAKIT SANTRALLARI TOPLAMI | 424,3 | 464,3 | 464,3 | 764,3 | 764,3 | 764,3 | 764,3 | 1064,3 | 1172,0 | 1172,0 | 1172,0 |
| <i>Fuel-oil Santralleri</i> | 480,0 | 630,0 | 630,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 |
| <i>Gas Türbinleri (Motorin) *1</i> | 0 | 0 | 90,0 | 120,0 | 195,0 | 257,4 | 319,8 | 319,8 | 319,8 | 319,8 | 319,8 |
| <i>Dieseller (Motorin)</i> | 0,1 | 0,4 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 6,7 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| MOTORİN SANTRALLARI TOPLAMI | 0,4 | 0,4 | 93,9 | 123,9 | 198,9 | 264,1 | 326,8 | 326,8 | 328 | 326,8 | 326,8 |
| SIVI YAKIT SANTRALLARI TOPLAMI | 480,4 | 630,4 | 723,9 | 803,9 | 878,9 | 944,1 | 1066,8 | 1066,8 | 1066,8 | 1066,8 | 1066,8 |
| TABİİ BİHHAR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TABİİ GAZ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TERMİK SANTRALLAR TOPLAMI | 904,7 | 1094,7 | 1188,3 | 1569,3 | 1643,3 | 1708,5 | 1771,1 | 2071,1 | 2178,3 | 2178,3 | 2178,3 |
| <i>Bacalı Santraller</i> | 476,0 | 476,0 | 476,0 | 568,8 | 976,6 | 1291,6 | 1344,4 | 1344,4 | 1344,4 | 1634,4 | 1634,4 |
| <i>Çift Santraller</i> | 30,1 | 100,8 | 115,8 | 115,8 | 115,8 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 |
| <i>Akarsu Santralleri</i> | 28,2 | 92,8 | 98,0 | 98,0 | 98,0 | 98,0 | 98,0 | 98,0 | 106,2 | 106,2 | 106,2 |
| HİDROLİK SANTRALLAR TOPLAMI | 534,3 | 669,6 | 689,8 | 782,1 | 1190,3 | 1520,7 | 1613,8 | 1613,8 | 1622,0 | 1872,0 | 1872,0 |
| T.E.K SANTRALLARI TOPLAMI | 1439,0 | 1764,3 | 1878,1 | 2350,4 | 2833,6 | 3229,2 | 3343,9 | 3644,9 | 3800,4 | 4050,8 | 4050,8 |

*1 1984' ten itibaren 60 MW'lık Aliağa Kombinesine Çevrimi ile beraber.

Birim : MW

Tablo 2.6 (Devam) Türkiye brüt elektrik enerjisi üretimi içindeki birincil enerji kaynakları payının yıllar itibarıyla gelişimi.

| SANTRALLAR | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|------|------|
| Taşkömürü Santralleri | 211,5 | 211,5 | 151,2 | 151,2 | 151,2 | 129,0 | 129,0 | 129,0 | | |
| Linyit santralleri | 1123,5 | 1500,5 | 1710,5 | 2250,0 | 2763,0 | 3478,0 | 4328,0 | 4328,0 | | |
| KATI YAKIT SANTRALLARI TOPLAMI | 1337,0 | 1712,0 | 1861,7 | 2409,2 | 2914,2 | 3607,0 | 4457,0 | 4457,0 | | |
| Faaliyet Santralleri | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | 680,0 | | |
| Gaz Türbinleri (Motorin) *1 | 319,8 | 319,8 | 319,8 | 333,6 | 333,6 | 333,6 | 333,6 | 333,5 | | |
| Dizeller (Motorin) | 7,9 | 7,9 | 76,1 | 105,1 | 105,1 | 106,2 | 5,3 | 5,6 | | |
| MOTORIN SANTRALLARI TOPLAMI | 327,7 | 327,7 | 395,9 | 438,7 | 438,7 | 439,8 | 338,9 | 339,2 | | |
| SIVI YAKIT SANTRALLARI TOPLAMI | 1007,7 | 1007,7 | 1075,9 | 1118,7 | 1118,7 | 1119,8 | 1018,9 | 1019,2 | | |
| TARİHİ BUHAR | - | - | - | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | | |
| TARİHİ GAZ | - | - | - | - | 100,0 | 400,0 | 800,0 | 1535,2 | | |
| TERMİK SANTRALLAR TOPLAMI | 2344,7 | 2719,7 | 2937,6 | 3542,9 | 4147,9 | 5141,8 | 6290,9 | 7045,4 | | |
| Batıdaki Santraller | 1819,4 | 2545,4 | 2702,4 | 3340,4 | 3340,4 | 3340,4 | 4415,4 | 5630,4 | | |
| Gaz Santralleri | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | 131,2 | | |
| Atomik Santraller | 146,9 | 146,2 | 164,9 | 172,6 | 172,6 | 172,6 | 173,5 | 173,5 | | |
| HİDROLİK SANTRALLAR TOPLAMI | 2097,5 | 2823,5 | 2998,5 | 3644,2 | 3644,2 | 3644,2 | 4720,1 | 5935,1 | | |
| T.E.K. SANTRALLARI TOPLAMI | 4442,2 | 5543,2 | 5936,1 | 7187,1 | 7792,1 | 8786,6 | 11011,0 | 12861,5 | | |

*1 1984' ten itibaren 60 MW'lık Aliağa Kombine Çevrimi ile beraber.

Birim : MW

Tablo 2.7 T.E.K Kurulu gücünün birincil enerji kaynak gruplarına göre yıllar itibarıyla gelişimi.

| YILLAR | TASLÖMÜRÜ | YANMIL | FÜLL ÖL | MOTÖRÜN | DİĞER PAKET | TOPLAM TERMİK | HİDROLİK | TOPLAM |
|--------|-----------|--------|---------|---------|-------------------|---------------|----------|--------|
| 1975 | 16,0 | 16,7 | 27,1 | 3,1 | 1,9 | 64,8 | 35,2 | 100,0 |
| 1976 | 14,8 | 15,6 | 39,8 | 1,4 | 1,7 | 73,3 | 26,7 | 100,0 |
| 1977 | 12,7 | 13,3 | 43,1 | 0,8 | 1,6 | 71,5 | 28,5 | 100,0 |
| 1978 | 12,1 | 14,0 | 47,0 | 4,3 | 1,6 | 79,0 | 21,0 | 100,0 |
| 1979 | 11,3 | 17,5 | 39,9 | 4,9 | 1,5 | 75,1 | 24,9 | 100,0 |
| 1980 | 9,1 | 17,2 | 30,1 | 4,4 | 1,4 | 62,2 | 37,8 | 100,0 |
| 1981 | 7,4 | 16,3 | 25,5 | 4,1 | 0,9 | 54,2 | 45,8 | 100,0 |
| 1982 | 6,2 | 17,6 | 26,9 | 6,5 | 1,1 | 58,3 | 41,7 | 100,0 |
| 1983 | 5,6 | 20,1 | 26,1 | 4,6 | 0,6 | 57,0 | 43,0 | 100,0 |
| 1984 | 4,7 | 23,9 | 22,7 | 2,4 | 0,6 | 54,3 | 45,7 | 100,0 |
| 1985 | 3,9 | 21,7 | 22,4 | 2,6 | 0,6 | 51,2 | 48,8 | 100,0 |
| 1986 | 3,6 | 21,3 | 21,1 | 2,5 | 0,4 | 48,9 | 51,1 | 100,0 |
| 1987 | 3,4 | 20,8 | 20,0 | 2,4 | - | 46,6 | 53,4 | 100,0 |
| 1988 | 2,9 | 24,5 | 23,2 | 3,9 | - | 58,5 | 41,5 | 100,0 |
| 1989 | 2,3 | 30,7 | 21,9 | 1,1 | 0,1 ^{*)} | 56,1 | 43,9 | 100,0 |
| 1990 | 2,1 | 41,8 | 20,5 | 0,2 | 0,2 ^{*)} | 64,8 | 35,2 | 100,0 |
| 1991 | 2,0 | 47,0 | 17,5 | 0,1 | 3,3 | 70,1 | 29,9 | 100,0 |
| 1992 | 1,4 | 38,4 | 12,2 | 0,2 | 5,8 | 58,0 | 42,0 | 100,0 |
| 1993 | 0,7 | 25,3 | 6,8 | 0,1 | 6,9 | 39,8 | 60,2 | 100,0 |
| 1994 | | | | | | | | 100,0 |
| 1995 | | | | | | | | 100,0 |

*1 T.E.K. Jeotermal santral.

*2 T.E.K. Jeotermal ve tabii gaz santralleri üretimidir. (1985 ' ten itibaren)

Petrol ve doğal gaz bakımından zengin olmayan ülkemizde halen bilinen sahalarla göre 600 milyon ton petrol varlığı tespit edilmiş, bu kaynağın birincil üretim metodları ile 20 milyon ton'unun üretilebilir olduğu kabul edilmiştir.

1990 yılı içerisinde Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %49'u kömür ve biyomas kaynaklı katı yakıtlar ile %44'ü petrol ve gaz yakıtları ile karşılanmıştır. Büyük bir kısmı petrol olmak üzere tüketilen enerjinin %42'si ithal edilmiştir, tüketimde en büyük payı %45 ile ısınma amaçlı konut sektörü almakta, bunun sanayi ve ulaştırma sektörleri takip etmektedir.

Petrolün ve doğal gazın dışa bağımlı ve pahalı olması nedeni ile kömür üretimine ağırlık verilmesi ve düşük kaliteli linyitlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Enerji alt yapısı yönünden Türkiye sorunlar yumağı ile karşı karşıyadır. Türkiye, kıt kaynaklarını birçok sorunu birlikte çözecek çok amaçlı yatırımlara yönelmek zorundadır. Bileşik ısı güç santrali uygulaması çok amaçlı, yapısal sorunlara kalıcı çözüm getirme olanağını beraberinde taşıyan bir uygulamadır.

Hızlı nüfus artışı, büyük kentlere göç, sanayileşme, kentlerdeki dikey büyüme süreci, büyük kentlerde ısı, elektrik kümeleşmesine neden olmaktadır. Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketimi ile ilgili sistem yapısı dengesiz elektrik üretim ve kullanım merkezleri birbirinden uzak elektrik enerjisi gereksinimi artmakta olan bir ülkedir.

Isı ve elektriğin ayrı ayrı üretilerek, yoğun olarak kullanıldığı, mevcut ve eski tesislerde enerji sistemlerinin

iyileştirilmesi ve birim enerji üretim maliyetinin düşürülmesi yönündeki çalışmalarda, bileşik ısı güç santrallerine geçiş, özellikle elektriğin kıt ve sorumlu olduğu bölgelerde en uygun çözüm olarak görülebilir.

Türkiye'de bilinen linyit rezervlerinin sahalar itibariyle dağılımı, kül, nem, kükürt oranları ve ısı değerleri Ek I'de verilmiştir.

2.7. Üretilen Isı Enerjisinin Kullanım Alanları -Petrol Tüketimi Payının Düşürülmesi

Bileşik santral uygulamasından elde edilen ısı enerjisi, endüstride ve ısıtmada çeşitli kullanım alanları bulacak ve bundan önemli ölçüde yakıt tasarrufu ve petrol tasarrufu sağlanacağı gibi, getireceği ekonomik yararlarından ötürü endüstriye bir teşvik unsuru olacaktır. Üretilen ısı enerjisi için belli başlı kullanım alanları olarak,

- Bölgesel merkezi ısıtma
- Endüstride proses ısısı, özellikle
 - Kağıt endüstrisi
 - Petro-kimya, rafineriler
 - Kimya endüstrisi (azot, suni gübre, şeker v.s.)
 - Gıda endüstrisi (konservecilik, et ve süt mamulleri, bira)
 - Tekstil endüstrisi
 - Metal işleme
 - Yapı elemanları end. (Beton prefabrikasyon, vs.)
 - Pişmiş kil, çimento vs. ve toprak endüstrisi
- Artık artırılması

- Su damıtılması
- Tarım ve hayvancılık özellikle
 - Sulama suyu ısıtılması (hızlandırılmış tarım)
 - Seracılık (sulama suyu ve seranın ısıtılması)
 - Tavuk, küçük ve büyük baş hayvan çiftlikleri ısıtılması

sayılabilir.

Bölgesel merkezi ısıtma, konutların ısıtılması ve sıcak su temini gayesine yönelik olacaktır. Konutlarda sıcak su ihtiyacı bütün yıl mevcut olmakla birlikte, ısıtma ihtiyacı iklim şartlarına bağlı olarak yılın belirli bir bölümünü kapsamaktadır. Değişen ısı yükü dikkate alınarak, bileşik santralın ısı/elektrik üretiminin yıl boyunca (ve daha kısa zaman aralıklarında) optimizasyonu bakımından ilave buhar kazanları, pompa ve sıcak su depolama tesisleri gerekecektir. Kişi başına düşen ısı enerjisi ihtiyacı, iklim şartları, konut yalıtımı vs. yanında yerleşme yoğunluğu ile yakından ilişkisi olup, oldukça yoğun bölgelerde 2-3 kW/kişi, dağınık yerleşimde ise 5kW/kişi kadar kurulu güç, veya yılda 6-10 MWh/kişi enerji gerekmektedir. Boru hattında suyun gidiş sıcaklığı 80° - 120° C, dönüş sıcaklığı 60° - 70° C civarında şebekenin yalıtım özelliklerine, yerleşim yoğunluğu ve bölge nüfusuna, yatırım maliyeti ve faiz oranı ile kullanılacak petrolün fiyatına bağlı olarak bileşik santraldan 25-30 km'lik uzaklıklara kadar ekonomik olarak bölgesel ısıtma yapılabileceği ön görülmektedir.

Ayrıntılı bir inceleme için elde yeterli veri olmamakla beraber, Batı Almanya'daki bir uygulamada 30 km'lik boru

hattı şebekesinin ilave tesislerle birlikte toplam yatırım maliyetinin 175 milyon DM olduğu belirtilmiştir. Buradan yaklaşık 6000 DM/metre'lik bir yatırım maliyeti ve boru hattı şebekesinin 10 m'lik bölümünün 10 konut (aile) için kullanıldığı varsayılan konut başına yatırımın 6000 DM (yaklaşık 174,000,000 TL) olduğu bulunur. İngiltere'de ise büyük bir şehir için planlanan bölgesel ısıtma sisteminin konut başına toplam yatırım maliyeti (konut içinde kullanılan tesisat dahil) 235,000,000 TL. olarak hesaplandığı belirtilmişti. Bu iki örnekten, oldukça tutarlı olarak, nüfusu 15000-200000 den ve yerleşme yoğunluğu 10 konut (aile)/akr (acre)* dan az olmayan bölgeler için, 200,000,000 TL/konut gibi bir bölgesel ısıtma yatırım maliyeti ortaya çıkmaktadır.

* 1 akr = 4.04 dönüm = 4040 m²

3.KOJENERASYON (KOMBİNE ISI VE GÜÇ ÜRETİMİ) TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

3.1.Genel Bakış

Birleşik ısı - güç üretimi veya kojenerasyon elektrik ve ısının birlikte üretilmesi olarak tanımlanabilir.

Ana tahrik makinasında tüketilen enerjiden ardışık olarak elektrik ve yararlı ısı - sıcak su veya buhar - üretilerek önemli ölçüde enerji tasarrufu ile ekonomik kazanç sağlamak mümkündür.

Fizik kanunları gereği, fosil yakıt kullanılarak elektrik üretimi sırasında, birincil enerjinin %50'si kayıp olarak doğaya atılmaktadır. Kojenerasyon bu büyük kaybı önler ve yararlı ısı olarak kullanıcılara sunar.

3.2.Kojenerasyon Teknolojileri

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

1.İçten yanmalı motorlar

a)Gaz motoru

b)Dizel motoru

2.Gaz türbinleri

3.Buhar türbinleri

a)Karşı basınçlı türbin

b)Ekstraksiyon/yoğuşma türbini

4.Birleşik (kombine) çevrimler.

Yakıt hücreleri gibi yeni gelişmeler incelenmeyecektir.

3.3.İçten Yanmalı Motorlar

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

3.3.1. Gaz Motoru

3.3.1.1. Genel Tanıtım

Gaz motoru termodinamik açıdan Otto çevrimine dayanır. Yakıt ve yakma havası karbüratörde karıştırılıp sıkıştırılır. En yüksek karıştırma oranı 12.5'dur. Daha yüksek basınçlarda vuruşta olabilir. Sıkıştırılan karışım bir bujide oluşturulan kıvılcımla ateşlenir ve motor mekanik güç üretir. Bu günlerde, pek çok gaz motoru daha fazla mekanik güç üretebilmek için süper şarj edilmektedir. Turbo şarjlı motorlarda yakıt / hava karışımı silindire birkaç bar'lık bir basınçta gelir. Süper şarjlı olmayan, doğal emmeli (aspirasyonlu) motorlarda karışım silindire atmosferik basıncın çok az üzerinde bir basınçta getirilir. Turbo sıkıştırma sonucu oluşan sıcaklık artışını dengelemek için, karışım silindire girmeden önce bir ısı değiştiricisinde (ara soğutucuda) soğutulur. Doğal aspirasyonlu motorlarla karşılaştırıldığında, süper şarjlı motorların, daha yüksek shaft verimi ve kW kurulu kapasite başına daha düşük yatırım maliyeti gibi iki önemli üstünlüğü vardır.

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

Çalışabilirlik

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

Bakım genellikle elektrik ve ısı talebinin düşük olduğu dönemlere göre planlandırıldığından çalışabilirliği pek fazla etkilememektedir.

Pratikte bakım prosedürlerine uyulduğu takdirde, ağır teknik sorunlar pek sık ortaya çıkmamaktadır.

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

Ömür

Bir gaz motorunun ömrü yaklaşık 60,000 çalışma saati kadardır. Bir kojenerasyon sisteminin yılda yaklaşık 5000-7500 saat çalıştığı düşünülürse, gaz motoru teknik ömrü 10 yıl kadardır. Bu arada 35 yıl sürekli çalışan gaz motorları olduğu da bilinmektedir.

3.3.1.2. Gaz Motorları İle Kojenerasyon

Şekil 3.1'de ana tahrik makinası olarak gaz motoru kullanılan bir kojenerasyon sistemi genel hatları ile görülmektedir.

Elektrik

15 kW'ten 1.3 MWe (1500 d/d) kapasite aralığında gaz motorları mevcuttur. 1000 d/d hızda 2 MWe kapasiteye kadar gaz motoru üretilmektedir. Gaz motorlarında elektrik verimi %35'e kadar çıkmaktadır. Yeni tip motorlarının elektrik veriminin %32'yi aşması beklenebilir.

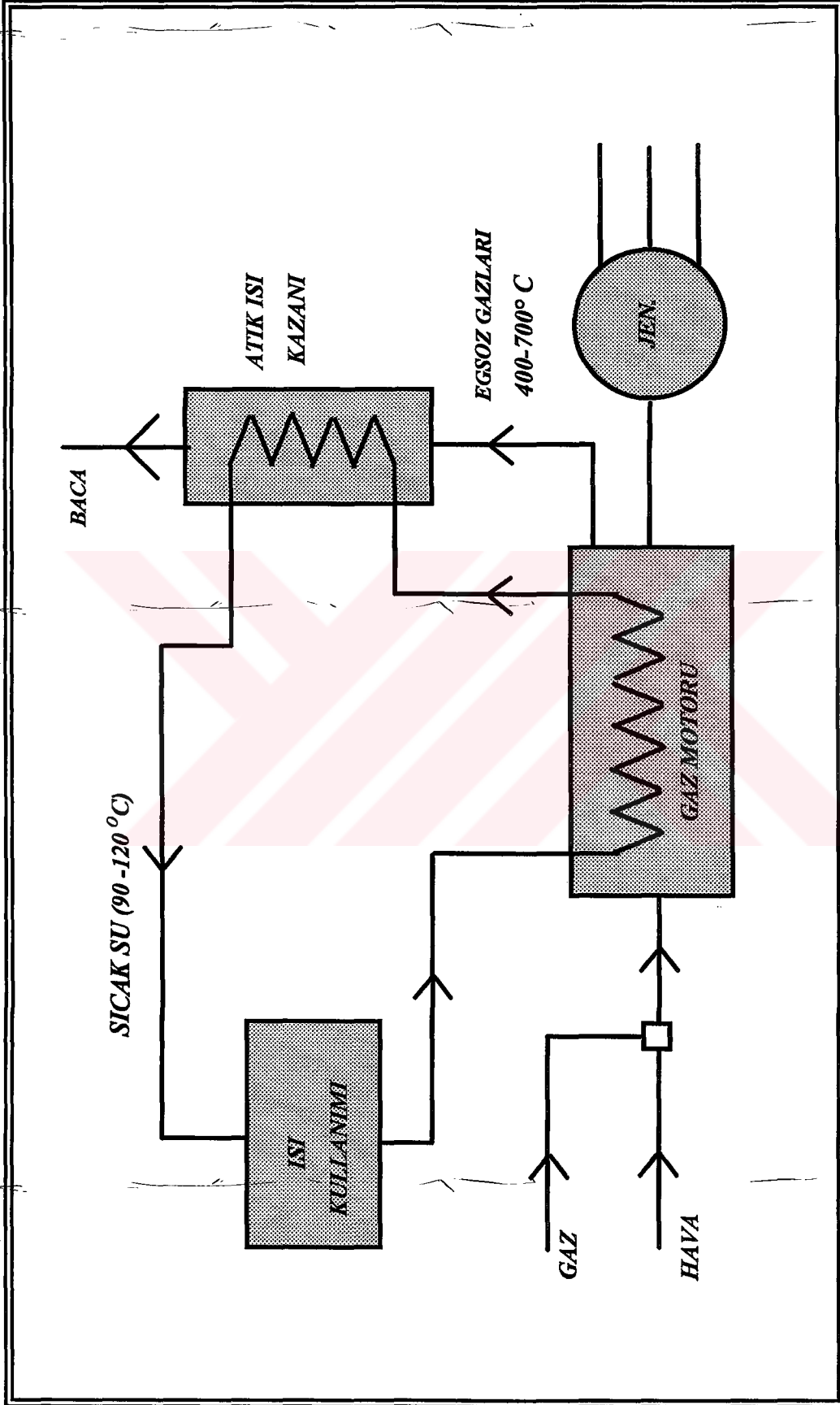
Dizel motoru, gaz motoru karşılaştırması

Dizel motorların üstünlükleri:

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

Dizel motorunun sakıncaları:

- *SO₂ emisyonu vardır.
- *Baca gazı çığ noktası daha yüksektir.



Şekil 3.1 Gaz motoru bazlı kojenerasyon sistemi.

- *Yüksek yatırım maliyetine sahiptir.
- *Daha fazla gürültü ve titreşim vardır.
- *Yüksek bakım onarım gideri gerektirir.

Uygulama

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

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

Isı

Gaz motorunda üretilen ısının (egzoz gazları, gövde soğutma, ara soğutucu) büyük bölümü geri kazanılabilir ve sıcak su (90° - 120° C Derece) üretilir.

Egzoz gazları yüksek sıcaklıkta (400° - 700° C derece) olduğundan, buradan bir miktar buhar üretmek de mümkündür.

Gaz motorlarının ısı verimi %50-60 aralığındadır.

Gaz motorlu kojenerasyon sisteminin toplam verimi %80-90 arasındadır. Yararlanılan ısının üretilen elektriğe oranı

(kW th/kW e), motor kapasitesine göre 1.5-2.0 arasında değişmektedir.

Uygulama

Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri çoğunlukla küçük (birkaç MWe kadar) kojenerasyon projelerinde örneğin ofisler, okullar, yüzme havuzları, hastaneler, tarımda (seralar) ve küçük sanayi tesislerinde kullanılmaktadır.

3.3.1.3 İşletme

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

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

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

Yük azaldıkça ısı verimi artarken, elektrik verimi düşer, toplam verim sabit kalır.

3.3.2. Dizel Motoru

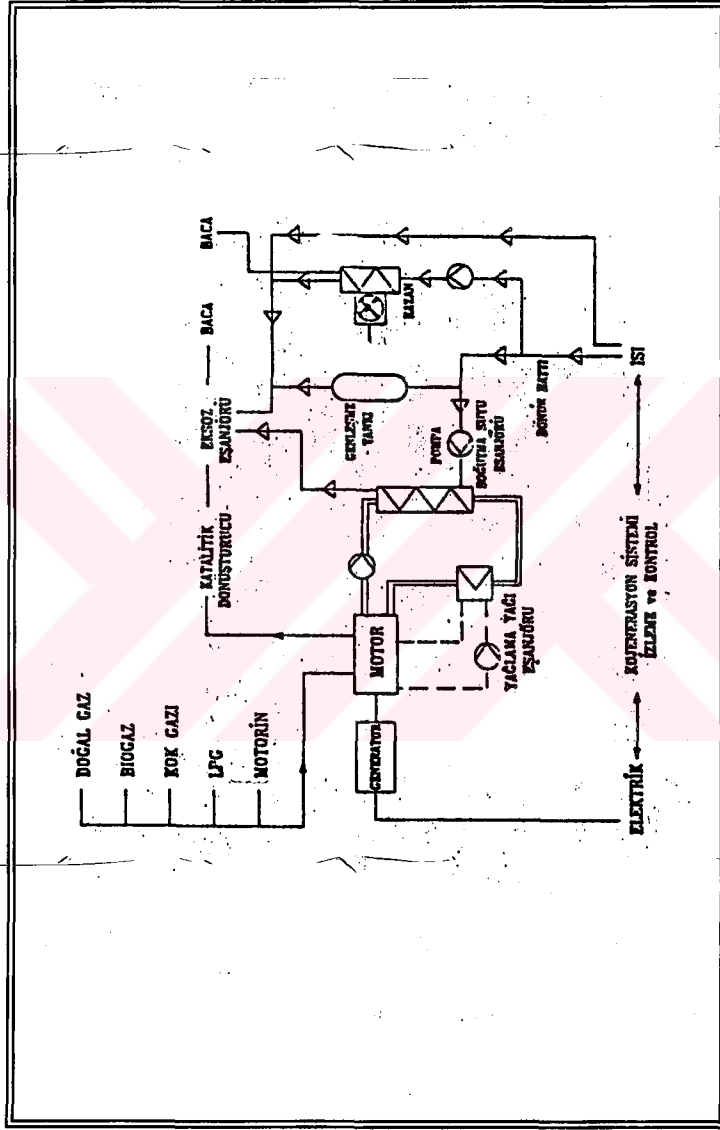
3.3.2.1. Genel Tanıtım

Dizel motoru termodinamik açıdan dizel çevrimine dayanır.

Dizel motorunda hava,gaz motorunda olduğundan çok daha yüksek basınca (ve böylelikle daha yüksek sıcaklığa) sıkıştırılır, çünkü sıcak sıkıştırılmış havanın içine püskürtülen dizel yakıtı kendiliğinden ateş almak zorundadır. Dizel motorlarının sıkıştırma oranının (küçük motorda: 22, büyük motorlarda: 13), gaz motorlarına göre yüksek olmasının nedeni budur. Gaz motorlarının aksine yakıt sıkıştırmadan sonra enjekte edilir, bu yüzden sıkıştırma zamanı sırasında vuruntu tehlikesi yoktur. Bunun yanısıra, dizel motorunda pistonun alt ölü noktası daha aşağıdadır, bu nedenle egzoz supabı açıldığından basınç daha düşüktür. Daha yüksek sıkıştırma oranı ve daha fazla genişleme sebebiyle dizel motorunun mekanik verimi gaz motorundan daha yüksektir.

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

İlginç ve önemli bir uygulama dizel motorlarında yakıt olarak doğal gaz kullanımınıdır. Toplam enerjinin %95-99'u doğal gaz,%1-5'i ise dizel yakıtı (örneğin motorin) ile sağlanmakta, yüksek basınçta (200-250 bar)doğal gaz, dizel yakıtı ile birlikte silindire basılmaktadır. Şekil 3.2 de dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Dizel enerjili kojenerasyon genel akış diyagramı

3.3.3 Gaz Motoru ve Dizel Motoru İçin Isı Geri Kazanımı ve Çevre Etkileri

Isı Geri Kazanımı

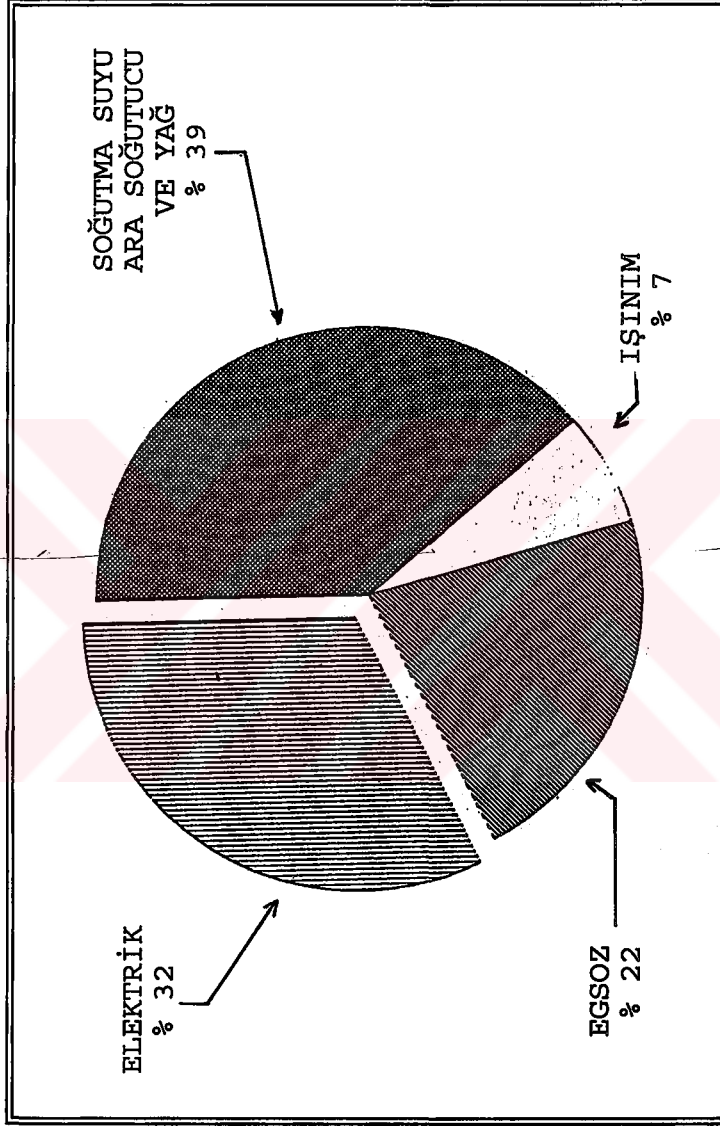
İçten yanmalı motorların mekanik verimleri yüksektir, enerjinin %30-50'si güce dönüşür. Kalan enerji ısı olarak açığa çıkar ve bir şekilde motordan uzaklaştırılması gerekir. Bu, motorun çalışabilmesi için zorunlu olduğu gibi, ısının yararlı bir amaç için kullanılması da kojenerasyon sisteminin karlılığı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

Şekil 3.3'de 1,000 kW'lık bir motorun ısı dengesi görülmektedir. Giren enerjinin yaklaşık %32'si güce dönüşürken %68'i motorun fazla ısınmasını önlemek için uzaklaştırılmalıdır. Isı enerjisinin dağılımı şöyledir: Motordan olan ışıyım %7, motor yağı ile taşınan ısı %3, egzoz gazları %28, soğutma suyu %30. Enerji dengesi motordan motora ve motor yüküne bağlı olarak farklılık gösterir.

İçten yanmalı motorlarda ısının alındığı başlıca iki kaynak, motor ceket suyu ile egzoz gazlarıdır. Pratikte soğutma suyundaki ısının hemen tümünden yararlanılabilir. Alınabilen ısının kalitesi (sıcaklık veya buhar basıncı) motor ve soğutma sistemi tasarımına bağlı olarak değişir. Motor tipine bağlı olarak soğutma sisteminden 115° C kızgın su veya 1.5 atm doymuş buhar elde etmek mümkündür.

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

Bir diğer önemli ısı kaynağı egzozdur. Prensipde egzozun



Şekil 3.3. 1000 KW'lık bir motorun ısı dengesi

~~içerdiği ısı~~nın yaklaşık %50'si geri kazanılabilir. Egzos gazlarının sıcaklığı 400-500° C dolayında olduğundan, buradan elde edilen ısı'nın kalitesi daha yüksek olabilir. Motor yağı ve ara soğutucudan da ısı geri kazanılabilir. Bu ısı kaynaklarını sıcaklığı 70° C dolayında olduğundan, ısı'nın ekonomik kullanım olanakları sınırlıdır. Bu arada motorların ısıyla ısı yaydıkları gerçeği de unutulmamalıdır. Tasarım sırasında bu ısı'nın uzaklaştırılması için uygun havalandırma sağlanmasına dikkat edilmelidir.

Çevre Etkileri

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

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

3.4. Gaz Türbinleri

3.4.1. Genel Tanıtım

Şekil 3.4 gaz türbininin en önemli üç parçasını, kompresör, yanma odası ve türbini göstermektedir. Şekil 3.5'de Siemens Gaz Türbininin çalışma prensibi sistematik olarak gösterilmiştir. Ortam havası kompresör tarafından emilip sıkıştırılır ve bu arada sıcaklığı yükselir. Sıkıştırılmış sıcak hava, bir fosil yakıtla birlikte (doğal gaz, rafineri gazı veya hafif fuel oil) yanma odasına basılır ve burada yanma gerçekleşir.

Yanma odasından gelen sıcak gazlar (yaklaşık 1000°C), gaz türbininde atmosfer basıncına genişler. Üretilen gücün önemli bölümü (yaklaşık %65'i) kompresörü çevirmek için kullanılır, kalanı mekanik shaft gücüdür. Türbinden çıkan gazlar yüksek sıcaklıktadır ($400-600^{\circ}\text{C}$).

Uçak - türevi ve ağır hizmet gaz türbinleri

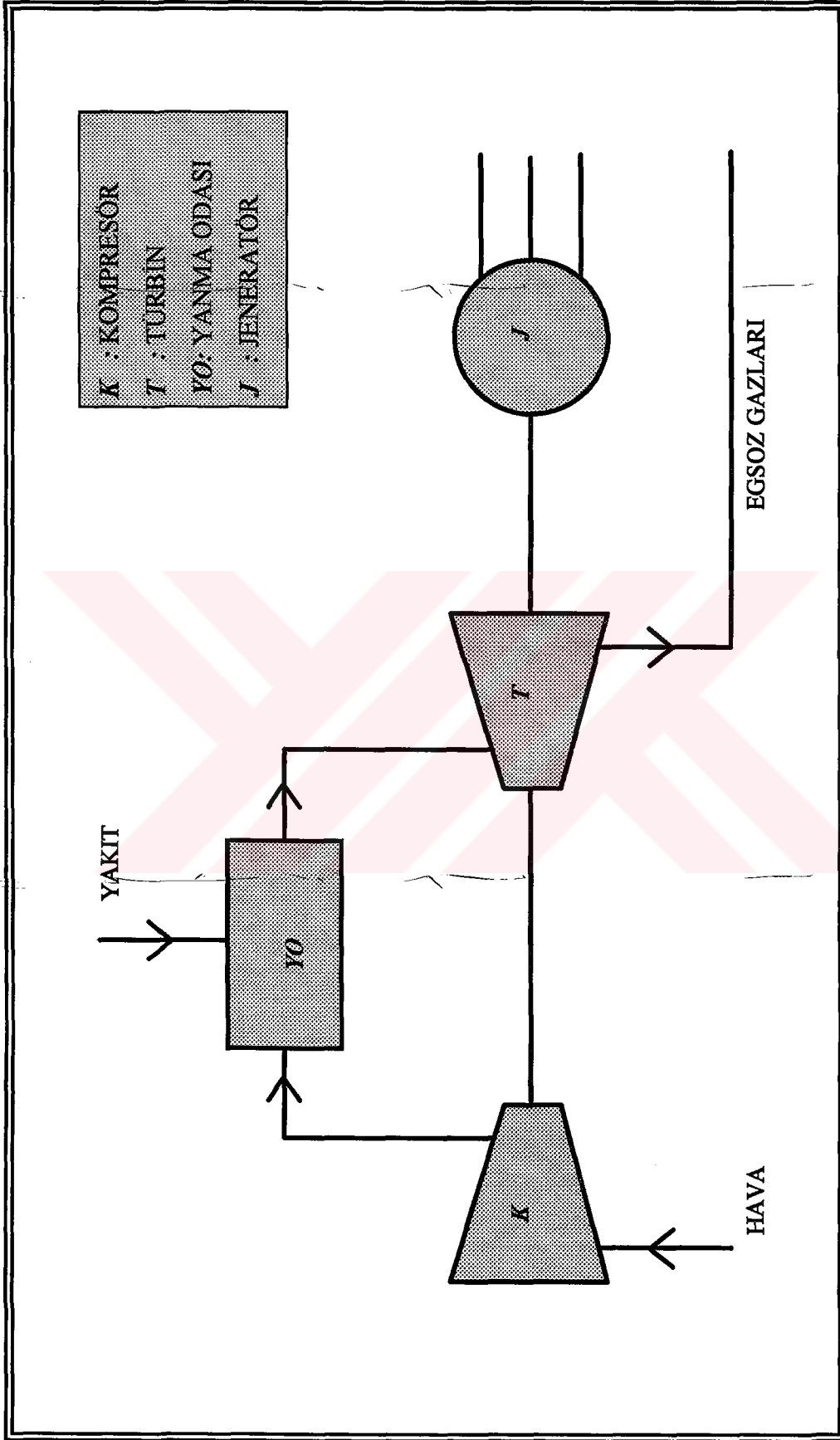
Sabit türbinler.

*Uçak - türevi gaz türbinleri

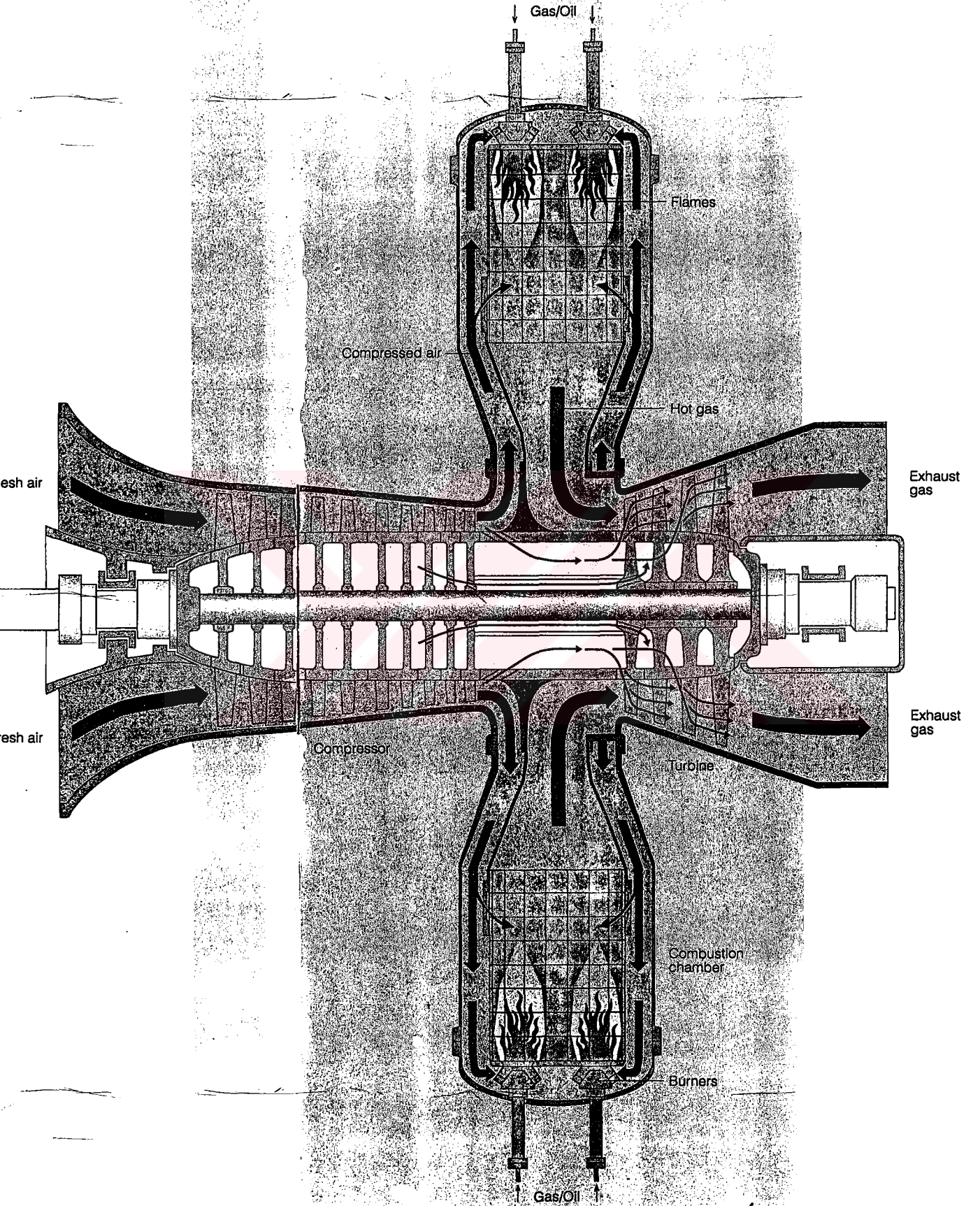
*Ağır hizmet gaz türbinleri

olarak sınıflandırılır.

Uçak - türevi gaz türbinleri, özellikle hafiflik, kompakt tasarım ve en az yakıt tüketiminin önemli hedefler olduğu uçak uygulamalarından türetilmişlerdir. Bu amaçların sağlanabilmesi için yanma sıcaklığının mümkün merteye yüksek olması gerekir. Bu yüzden, bu tip yüksek teknoloji ürünü gaz türbinlerinde gelişmiş malzeme ve alaşımlar kullanılır. Bunlarda kullanılacak yakıtların çok kaliteli olması gerekir, yalnızca çok az kükürt içeren yakıtlar kullanılabilir. Öte yandan ağır hizmet tipi gaz türbinleri ölçü olarak biraz daha büyük ve özellikle endüstriyel sıvı yakıtları (fuel oil gibi)



Şekil 3.4 Gaz türbini (Tek şaftlı)



Şekil 3.5 Siemens gaz türbininin çalışma prensibi

yakarken daha dayanıklıdırlar. Gaz türbini geliştirme maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle, ağır hizmet gaz türbinlerindeki gelişmeler genellikle uçak türevi türbinlerden alınmaktadır.

Şekil 3.6'da ise Siemens V 94.3 modeli türbin jeneratör sistemi görülmektedir.

Tek şaftlı ve iki şaftlı gaz türbinleri

Kompresör ve türbinin aynı şaft üzerinde bulunduğu tek şaftlı gaz türbinleri genellikle elektrik üretimi gibi devir sayısının sabit olduğu durumlarda kullanılır (Şekil 3.4). Bu nedenle üretilen mekanik gücün elektrik güce çevrildiği kojenerasyon sistemleri çoğunlukla tek şaftlı türbinlerdir. Her ne kadar tek şaftlı türbinlerin kısmi yük davranışları kötü ise de, yükteki değişimlere rağmen sabit devir hızı gibi bir avantajları vardır.

İki şaftlı gaz türbinlerinde (Şekil 3.7) kompresör ve ona güç sağlayan birinci türbin aynı şaft üzerindedir.

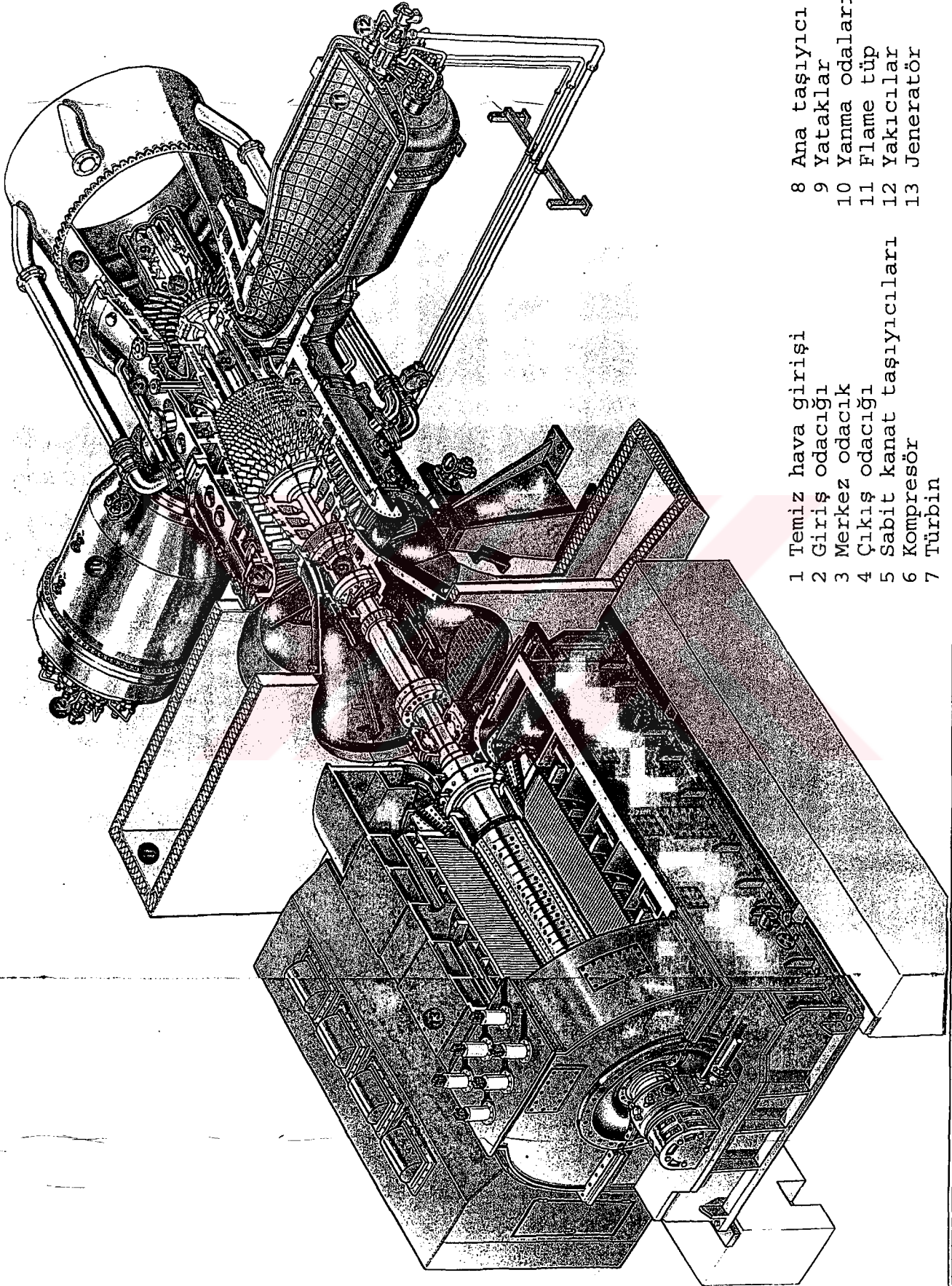
İkinci bir şaftta da birinci türbinden gelen egzoz gazlarının yönlendirildiği güç üreten ikinci bir türbin yerleştirilmiştir.

Şaftların devir sayısı farklı olabilir (örneğin pompalar). Bu tip türbinlerin kısmi yük performansı tek şaftlı türbinlere göre çok daha iyidir.

Çalışabilirlik

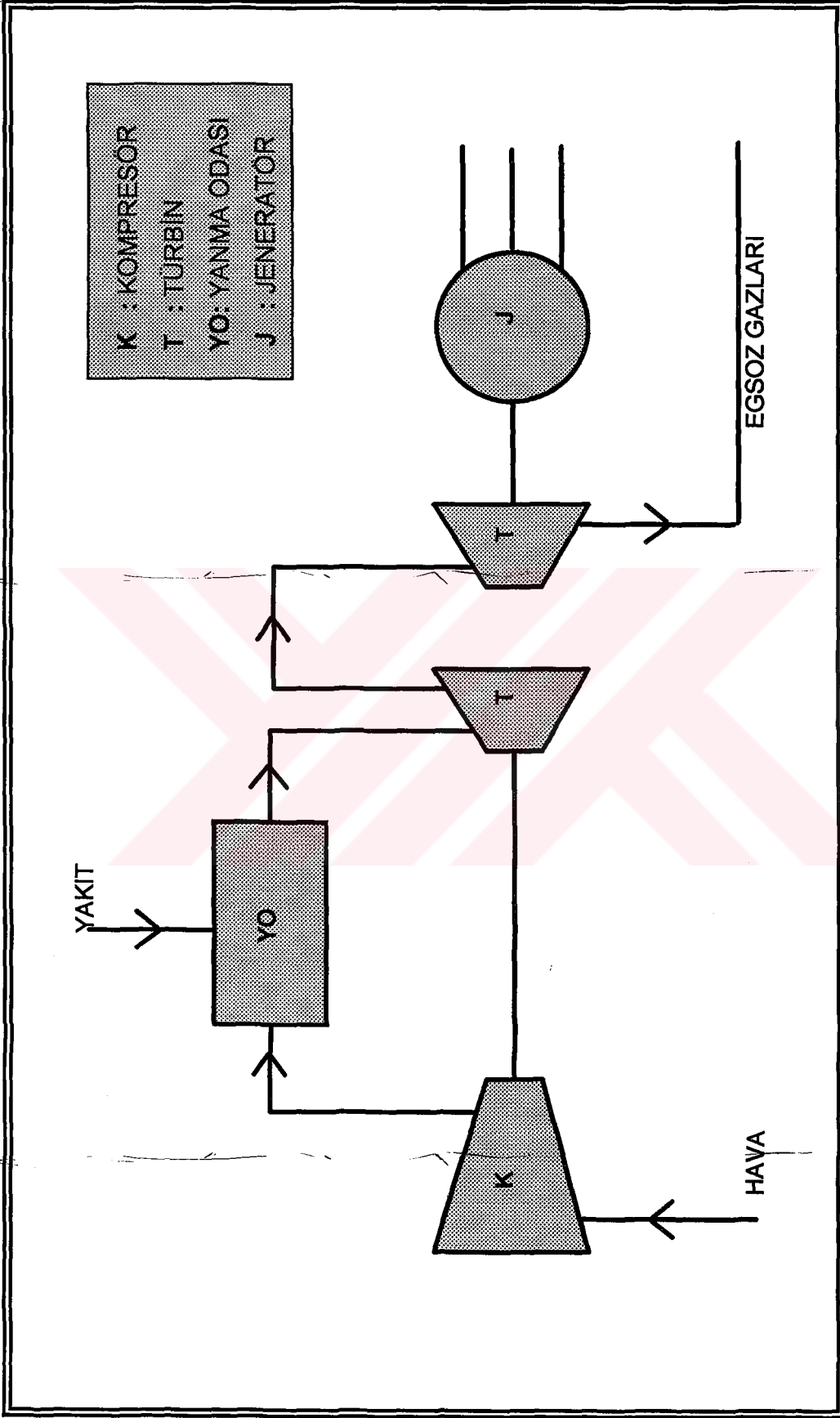
Bakım ihtiyacı kojenerasyon sisteminin büyüklüğü ve yapısına bağlıdır.

İşletme giderleri ile teknik arızaları en aza indirmek



- 1 Temiz hava girişi
- 2 Giriş odacığı
- 3 Merkez odacık
- 4 Çıkış odacığı
- 5 Sabit kanat taşıyıcıları
- 6 Kompresör
- 7 Türbin
- 8 Ana taşıyıcı mil
- 9 Yataklar
- 10 Yanma odaları
- 11 Flame tüp
- 12 Yakıcılar
- 13 Jeneratör

Şekil 3.6. Siemens V 94.3 modelli gaz türbini - jeneratör sisteminin şematik resmi



Şekil 3.7 İki şaftlı gaz türbini.

için bakım talimatlarına kesin olarak uyulması şarttır.

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

Ömür

Gaz türbinlerinin ömrü büyük ölçüde, işletme yöntemine (durum/çalışma sıklığı, tepe yük), yakıt kalitesine ve emilen havanın temizliğine bağlıdır. Bir gaz türbininin ömrü ortalama 120,000 çalışma saati kadardır.

Yılda 6,000-8,000 saat çalışma ile gaz türbini ömrü yaklaşık 15-20 yıl kadardır.

3.4.2 Gaz Türbinleri İle Kojenerasyon

Şu anda piyasada 200 kWe ile 200 MWe arasındaki kapasitelerde gaz türbinleri mevcuttur.

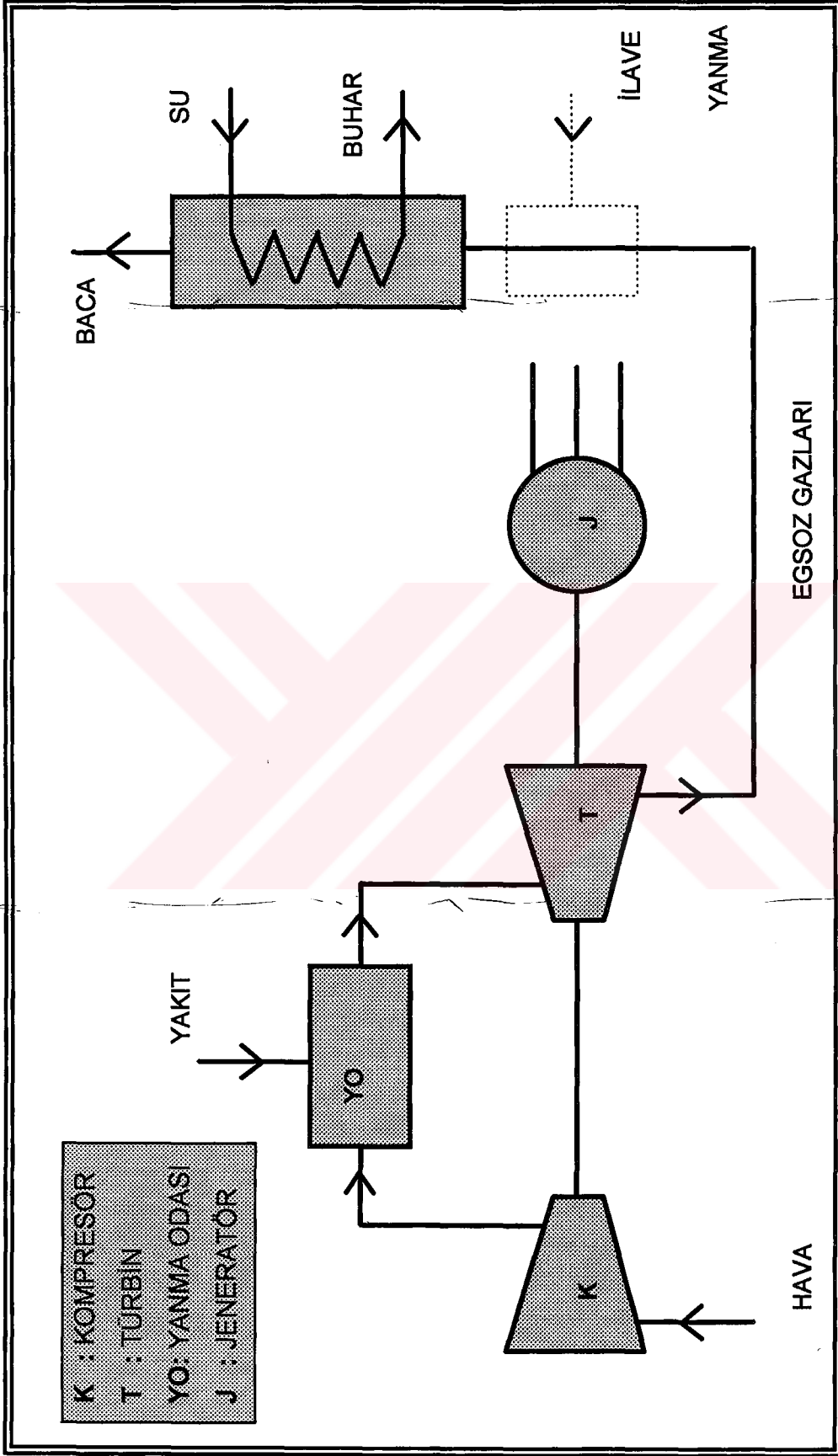
Bugünkü kojenerasyon uygulamaları için gerekli elektrik gücü genellikle 50 MWe'in altındadır.

3.4.2.1 Atık Isı Kazanı İle Gaz Türbini (Şekil 3.8)

Sıcak egsoz gazlarını bir atık ısı kazanından geçirerek, egsoz gazlarının içerdiği ısının çoğu geri kazanılabilir.

Geri kazanılan ısı sıcak su (örneğin 80° C) veya buhar (örneğin 10 bar) olarak kullanılabilir.

Üretilen buharın miktarı, buhar koşullarına (basınç,



Şekil 3.8 Gaz türbini ve atık ısı kazanı.

sıcaklık) bağlıdır, buhar basıncı düştükçe debisi artar.

Egsoz gazlarından kazanılan ısı, sıcaklık sülfürik asitin çığlaşma noktasının altına düşürülemeyeceği (korozyon) ve ısı değiştirici çok büyük yapılamayacağı için, sınırlıdır.

Sülfürik asitin çığ noktası kullanılan yakıtın kükürt içeriği ile yakından ilgilidir ve 50° C (kükürtsüz doğal gaz) ile 150° C (%2'den fazla kükürt içeren fuel oil) arasında değişir.

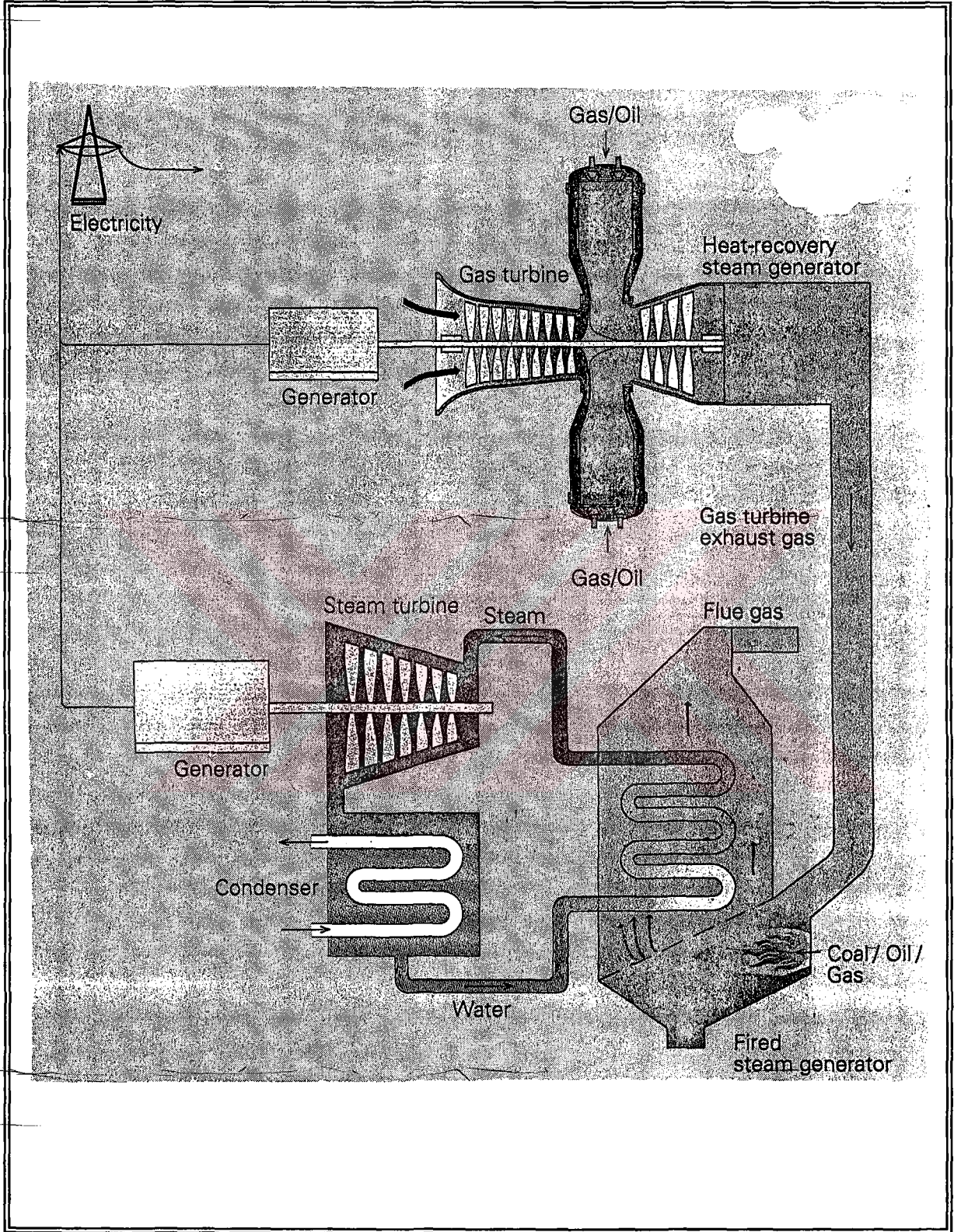
İlave yanma (Şekil 3.9)

Gaz türbinlerinin egsoz gazları genellikle, fazladan yanma havası gerektirmeden, ilave yanma yapmaya yetecek kadar oksijen (ortalama %15) içerir. İlave yanma sonucunda egsoz gazlarının atık ısı kazanına giriş sıcaklığı (az miktarda da kütleli debisi) yükselir, böylelikle daha fazla buhar üretilebilir.

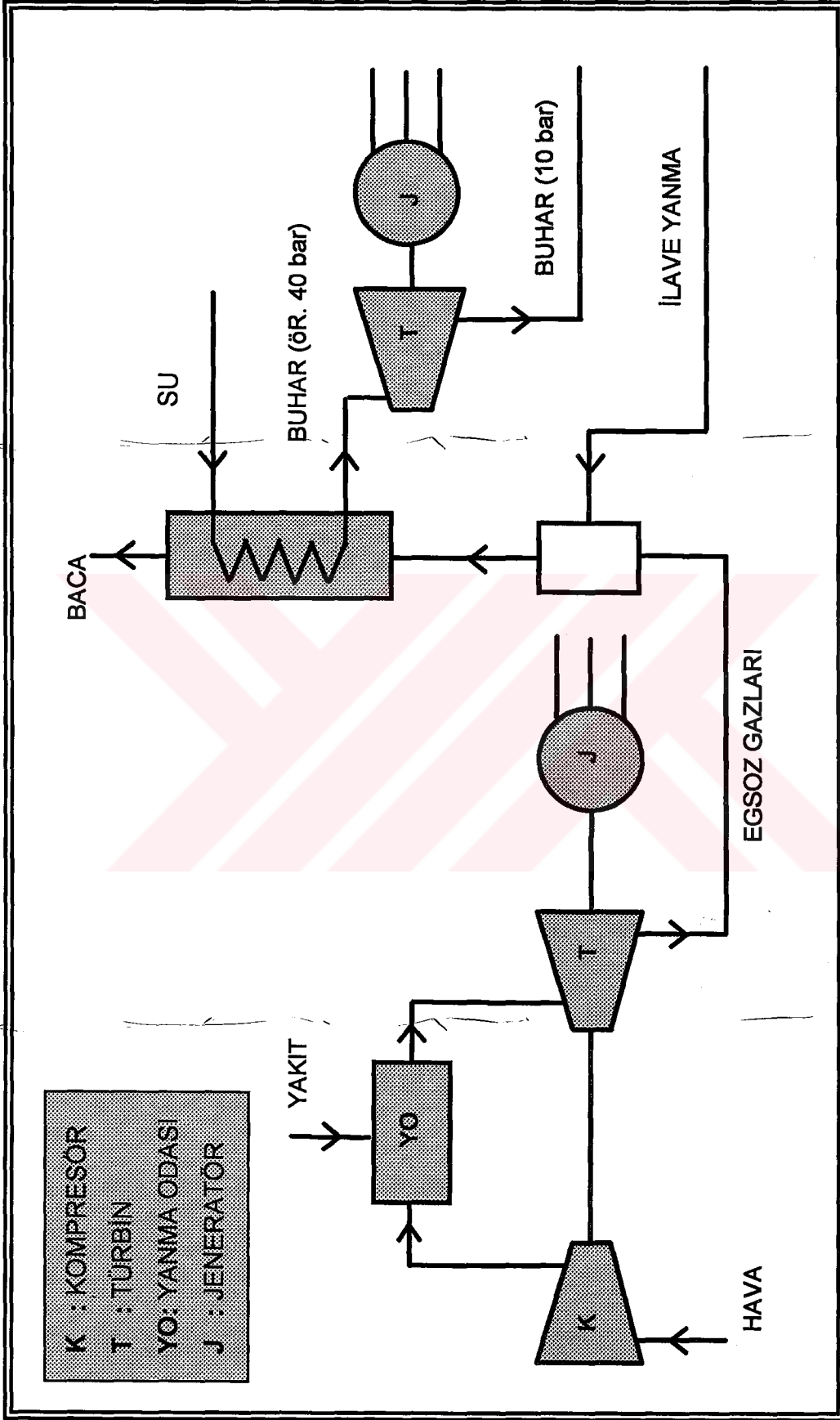
İlave yanma imkanı sonuna kadar kullanıldığı takdirde, ilave yanmasız çalışmadan 6-7 kat daha fazla buhar elde edilebilir. Daha fazla buhar üretiminin yanında ilave yanma, üretilen elektrik ile ısının birbirine oranının çok esnekleştirir, böylece ısı üretimini elektrik üretiminden bağımsız kontrol etme imkanı doğar. Atık ısı kazanına zararlı olacağı için genellikle 750° C giriş sıcaklığının üzerine çıkılmasına izin verilmez, bu nedenle ilave yanmanın da bir sınırı vardır.

3.4.2.2. Birleşik Çevrim (Şekil 3.10, Şekil 3.11)

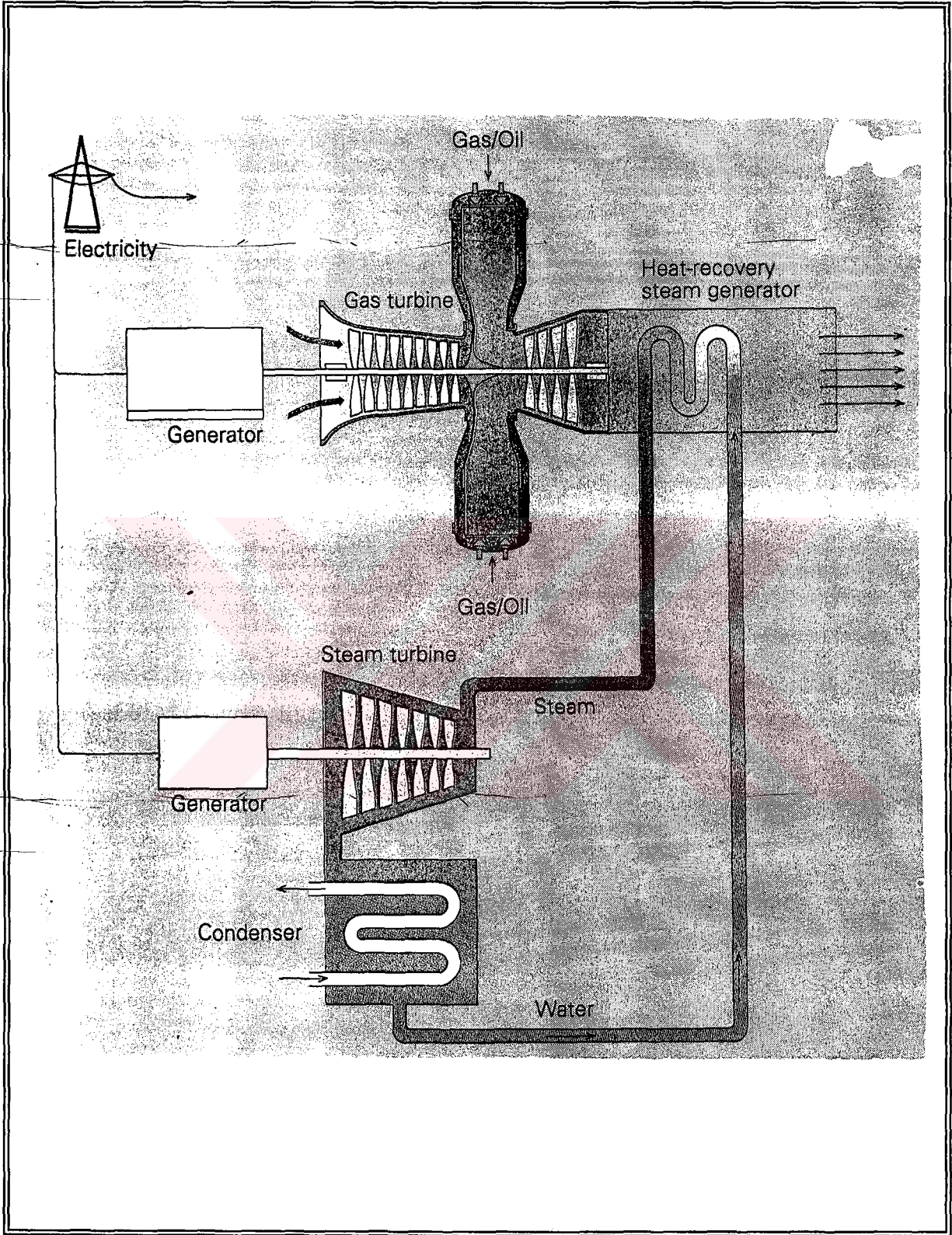
Birleşik çevrimde, yüksek basınçlı buhar üretebilmek



Şekil 3.9. Gaz türbininden çıkan atık ısının, ısı kazanında ilave yanma yapılmasıyla yapılmış gaz türbinli kojenerasyonun şematik resmi (Uygulamaya yönelik çalışma için şekil 4.21.'e bakınız.)



Şekil 3.10 Birleşik çevrim.



Şekil 3.11. Gaz türbininden çıkan atık ısının, ısı değiştiriciden geçirilip buhar türbininin çalıştırılmasıyla yapılmış gaz türbinli kojenerasyonun şematik resmi (Uygulamaya yönelik çalışma için şekil 4.20.'ye bakınız.)

için (en az 40 bar), atık ısı kazanında ilave yanma yapılır (şart değil, genellikle ilave yanma kullanılmamaktadır). Bu buhar bir buhar türbininde geliştirilerek ilave elektrik üretilir.

Egsoz buharı ısıtma(veya proses) amaçlı olarak kullanılabilir. Birleşik çevrim ileride daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

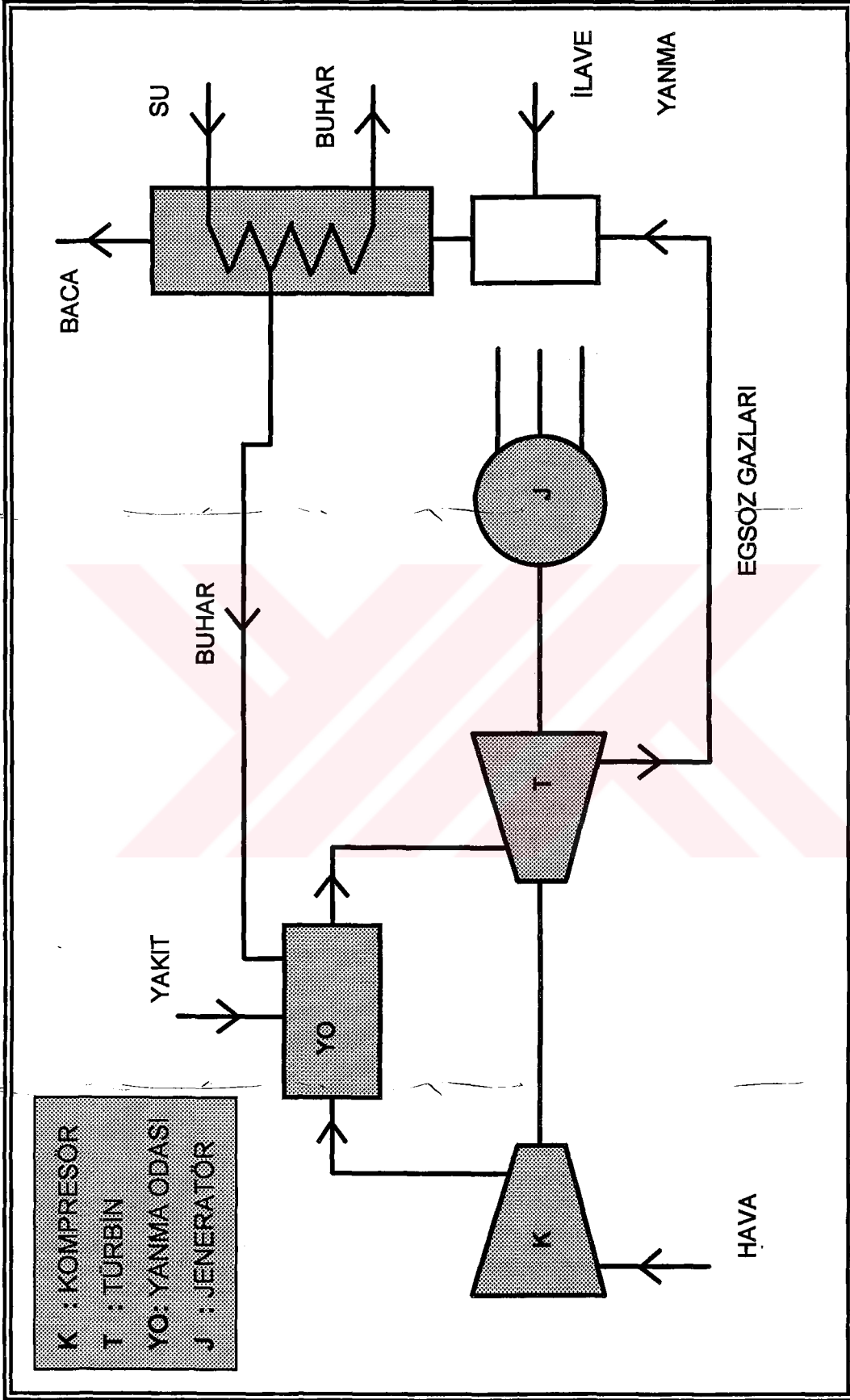
3.4.2.3.Buhar Enjeksiyonlu Gaz Türbini (STIG) (Şekil 3.12)

Elektrik üretimini arttırmak için, üretilen buharın bir bölümü yanma odasına enjekte edilir (bir bölüm buharı doğrudan gaz türbinine de enjekte etmek de mümkündür). Enjekte edilen buharın çok iyi şartlandırılmış olması gereklidir.

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

STIG'in önemli avantajı ısı / elektrik oranının enjekte edilen buhar miktarını kontrol ederek kolayca değiştirebilmesidir, böylece değişen proses ihtiyaçlarına uyum gösterilebilir.

Hernekadar, buhar enjeksiyonsuz bir gaz türbini ile



Şekil 3.12 Buhar enjeksiyonlu gaz türbini STIG.

karşılaştırıldığında, STIG, tepe elektrik yüklerini karşılaştırdığından kojenerasyon sistemi ve tepe tıraşlama (peak-shaving) amacı ile kullanılabilir.

STIG daha büyük yatırım gerektirmediği takdirde, STIG'in karlılığı buhar enjeksiyonsuz bir gaz türbinine oranla daha yüksek olabilir. Bu nedenle STIG bazlı kojenerasyon sistemi uygulamaları, kojenerasyon potansiyelini arttırabilir.

3.4.2.4. Egsoz Gazlarının Doğrudan Kullanıldığı Gaz Türbini (Şekil 3.13)

Bazı durumlarda egzoz gazları endüstriyel proseslerde doğrudan kullanılabilir (örneğin kurutma).

İlave yanma ile üretilen ısı miktarı ayarlanabilir.

Enerji Dengesi

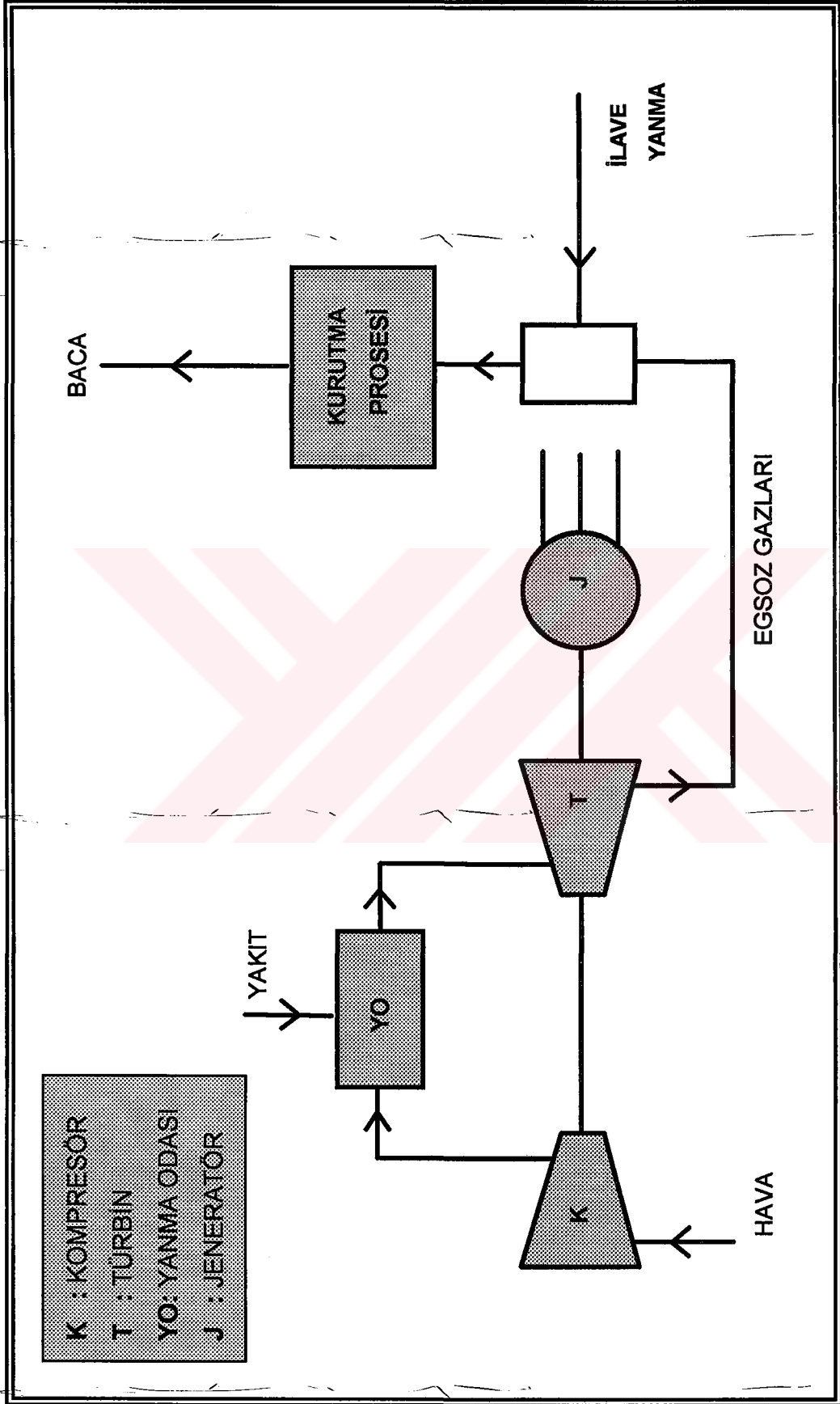
Küçük gaz türbinlerinin (birkaç MWe'e kadar) %15 ile %25 arasında değişir.

5 MWe üzerinde elektrik çıktısı olan gaz türbinlerinin verimi %25-35 aralığındadır (türbin verimleri daha yüksek değerlere ulaşmıştır, bugün ise %41 verime sahip türbinler üretilmektedir).

Küçük türbinlerin (< 5 MWe) ısı verimi %45-60 arasında iken, daha yüksek elektrik kapasitesine sahip türbinlerin ısı verimi %40-50 arasında değişir.

Gaz türbini bazlı kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi %70-80 arasında değişir.

Gaz türbininde üretilen elektrik miktarı ile verim,



Şekil 3.13. Egsoz gazlarının doğrudan kullanıldığı gaz türbini..

ortamın hava koşulları (sıcaklık, basınç) ile yakından ilgilidir.

1. Basınç

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

2. Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığının gaz türbini özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır.

Ortam hava sıcaklığındaki her bir derece santigrad sıcaklık artışı için:

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

Uygulama

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

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

Elektrik üretiminin ısı üretiminden daha önemli olduğu açıktır.

Gaz türbini bazlı kojenerasyon sistemleri aşağıdaki endüstriyel sektörlerde sıklıkla kullanılır.

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

3.4.3. İşletme

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

Kompresörün emdiği hava miktarı azaltılarak verim kaybı hafifletilebilir.

Hava debisi kompresör girişine değişken kılavuz kanatları takarak, giriş havasını ısıtarak veya iki şaftlı türbin kullanılarak azaltılabilir.

Pratikte düşük kısmi yük verimi nedeniyle, gaz türbinleri mümkün mertebe kısmi yükte çalıştırılmaz.

Genellikle gaz türbinleri % 75 kapasitenin altında yüklenmez. Bazen gaz türbini sadece tam yükte çalıştırılır, daha düşük yüklerde ise durdurulur.

3.4.4. Gaz Türbinli Sistemlerin Isı Geri Kazanımı ve Çevresel Etkileri

Isı Geri Kazanımı

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

Çevresel Etkiler

Doğal gazla çalıştığında, türbin emisyonları NO_x, CO ve yanmamış hidrokarbonlardır. SO_x emisyonu, fazla kükürt içeren fuel oil kullanılması halinde sorun olabilir.

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

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

NO_x kontrolü için üçüncü yöntem Seçici Katalitik İndirgeme'dir.

3.4.5 Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Maliyeti

Gaz türbinli sistemlerde yapılan ekonomik analizlere (fizibilite çalışmaları) göre sistemin kurulması ve işletilmesi küçük ve orta ölçekli sanayi tesisleri (grup olarak da düşünülebilir) için olumlu sonuçlar verebilmektedir. 3 MW gücünde bir santralın kurulma maliyeti 2000 DM/kW (=1175 \$/kW) ve 15 MW'lık bir santralinki ise 1600-1700 DM/kW (930-1000 \$/kW) civarındadır. İşletme maliyeti olarakta (bakım onarım ve genel periyodik bakımlar dahil olmak üzere) 0.6-0.9 USc/kWh gibi bir değer söz konusudur (Bu rakamlarda elektrik üretimi baz alınmaktadır).

Yapılan fizibilite çalışmalarında, güç santralının besleyeceği sistemler ile arasındaki ilişkiler (çalışma süresi, optimum enerji ihtiyacı) yapılacak ilk yatırım maliyeti açısından büyük önem taşıdığı için çok dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

3.5. Buhar Türbinleri

3.5.1. Genel Tanıtım

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

Buhar üretiminde doğal gaz, fuel oil veya kömürün yanısına, çöp veya LPG de kullanılabilir. Bu nedenle ilk bakışta buhar türbininin yakıttan bağımsız olduğu düşünülebilir.

Ancak çevre kirliliği yaratan emisyonlar büyük ölçüde

kullanılan yakıta bağlıdır. Kömür gibi ucuz bir yakıt kullanıldığında, NOx ve SOx emisyonlarını azaltıcı önlemlerin alınması gerekir.

Bu emisyon azaltıcı teknikler pahalı yatırımlar gerektirir.

Çalışabilirlik

Çalışabilirlik ve ömür, işletme şekline (örnek olarak durma/çalışma sıklığı), buhar kalitesi ve bakıma bağlıdır.

Buhar türbinlerinin bakımı için gerekli süre yılda 150 saat kadardır. İlaveten yılda 150 saatlik bir zorunlu duruş beklenmelidir. Böylece toplam çalışabilirlik %95 dolayındadır.

Doğal gaz yakılan buhar kazanlarının çalışabilirliği, kömür veya ağır fuel oil yakılan kazanlarıkinden daha yüksektir; çünkü kömür veya ağır fuel-oil yakıldığında kurum ve SO2 nedeni ile korozyon oluşur.

Buhar türbinlerinin ömrü işletme şekline bağlı olarak 30 yıl veya daha fazladır.

3.5.2 Buhar Türbinleri İle Kojenerasyon

Buhar türbini esaslı kojenerasyon sistemleri iki kategoriye ayrılabilir:

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

3.5.2.1. Karşı Basınç Türbini (Şekil 3.14)

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

Buhar türbinindeki entalpi düşüşünü doğrudan etkilediğinden, proses buharının basınç düzeyi tasarımda önemli bir parametredir. Proses için gereken buharın basınç yükseldikçe üretilen elektrik miktarı azalır.

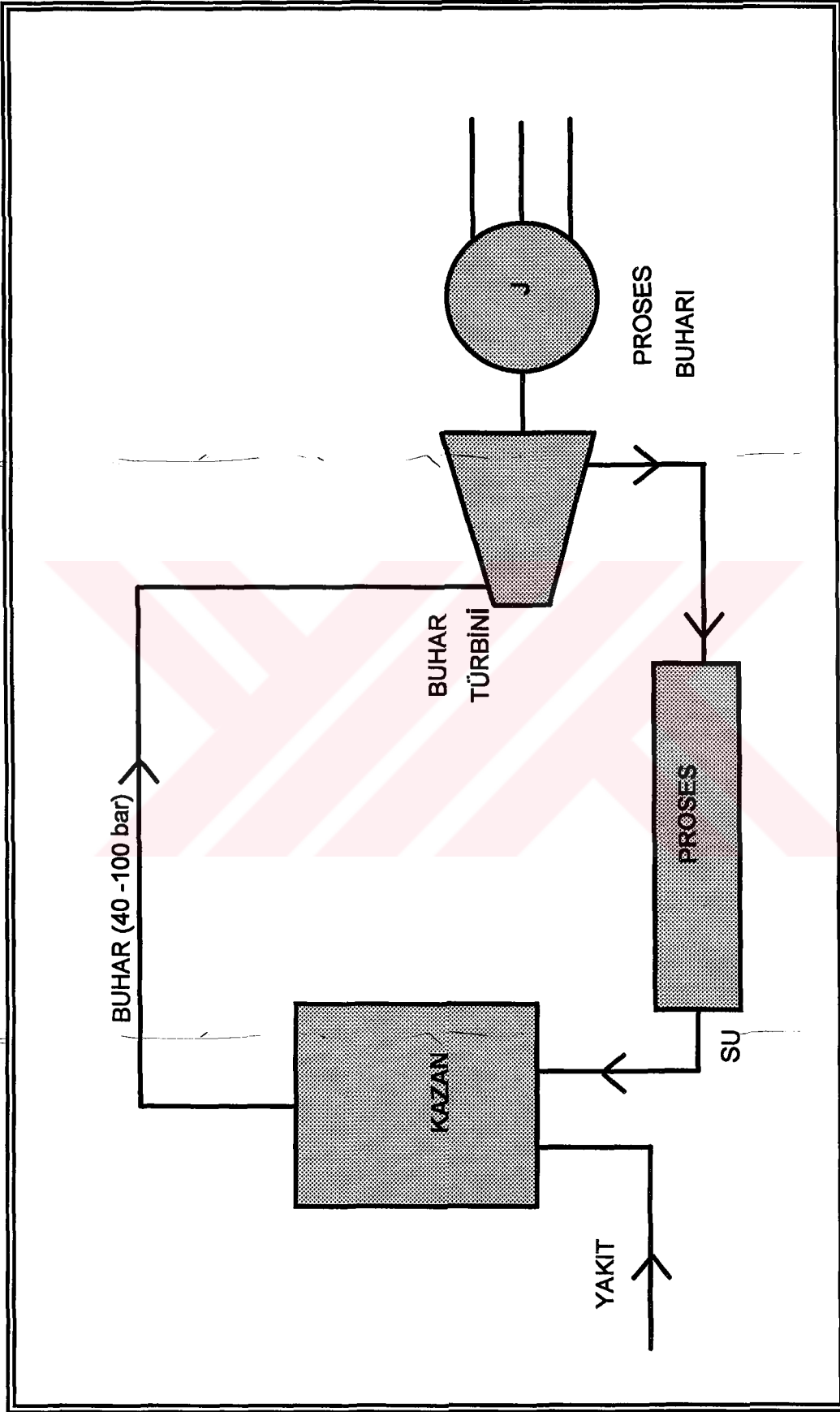
3.5.2.2. Ekstraksiyon / Yoğuşma Türbini (Şekil 3.15)

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

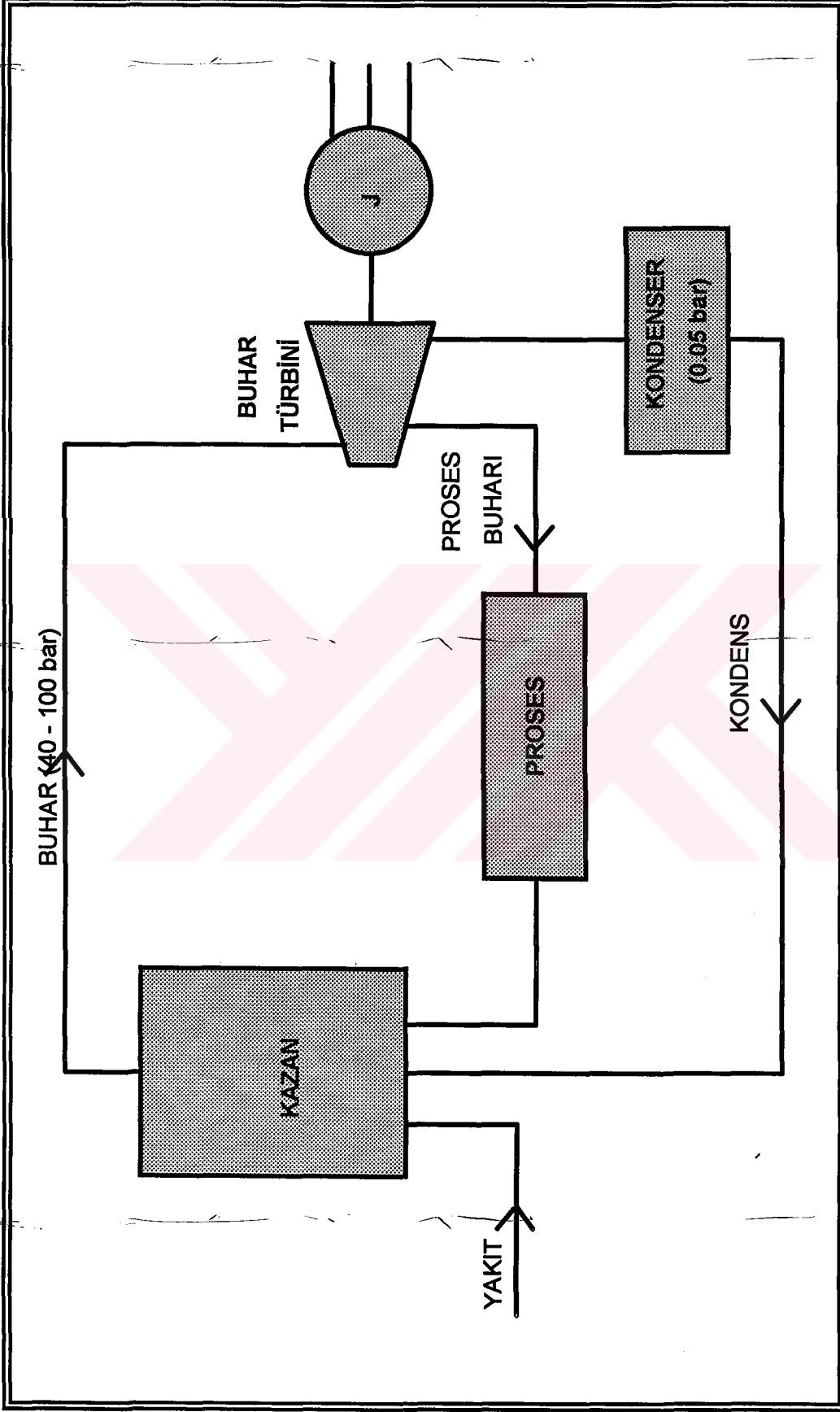
Kondenser ve düşük basınç ekipmanları nedeniyle ekstraksiyon / yoğuşma türbininin ilk yatırım maliyeti, karşı basınçlı türbine oranla daha yüksektir. Bu nedenle ekstraksiyon / yoğuşma türbinleri yalnızca büyük ölçekli kojenerasyon projelerinde örneğin ısıtmada kullanılır.

Buhar türbinlerinin elektrik ve ısı verimleri büyük ölçüde giriş ve çıkış buhar koşullarına bağlıdır.

Buhar türbini bazlı kojenerasyon sistemleri sanayideki büyük ölçekli projeler ile bölgesel ısıtma sistemlerine uygundur.



Şekil 3.14. Karşı basınç türbini bazlı kojenerasyon sistemi.



Şekil 3.15. Ekstraksiyon / yoğuşma türbini bazlı kojenerasyon sistemi.

Geçmişte endüstriyel kojenerasyon sistemlerinin çoğunda buhar türbinileri kullanılır iken, bugünlerde buhar türbini pazar payının çoğunu kaybetmiş bulunmaktadır. Bunun nedeni buhar türbinlerinin, gaz türbinleri ile karşılaştırıldığında bazı dezavantajları olmasıdır.

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

(gaz türbini: bir yıldan az).

3.5.3. İşletme

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

Karşı basınçlı buhar türbini ile kojenerasyon

Karşı basınçlı bir türbinde üretilen ısı (proses buharının sıcaklık, basınç ve debisine bağlı olarak) ile elektrik arasında sabit doğrusal bir ilişki vardır.

Şekil 3.16'da BC doğrusu bir karşı basınçlı türbinin ÜOK'ni göstermektedir. BC doğrusunun eğimi sistemin teknik yapısına ve buhar koşullarına bağlıdır.

Elektrik miktarı buharın kütleli debisi değiştirilerek

kontrol edilir; güç kütleli debi ile doğrusal orantılı olarak azalır.

Karşı basınçlı türbin kullanılarak yapılan kojenerasyonun en önemli dezavantajı, elektrik üretebilmek için ısı yükü gerekmesidir.

Bu nedenle üretim olasılıkları kümesi bir alan değil bir doğrudur.

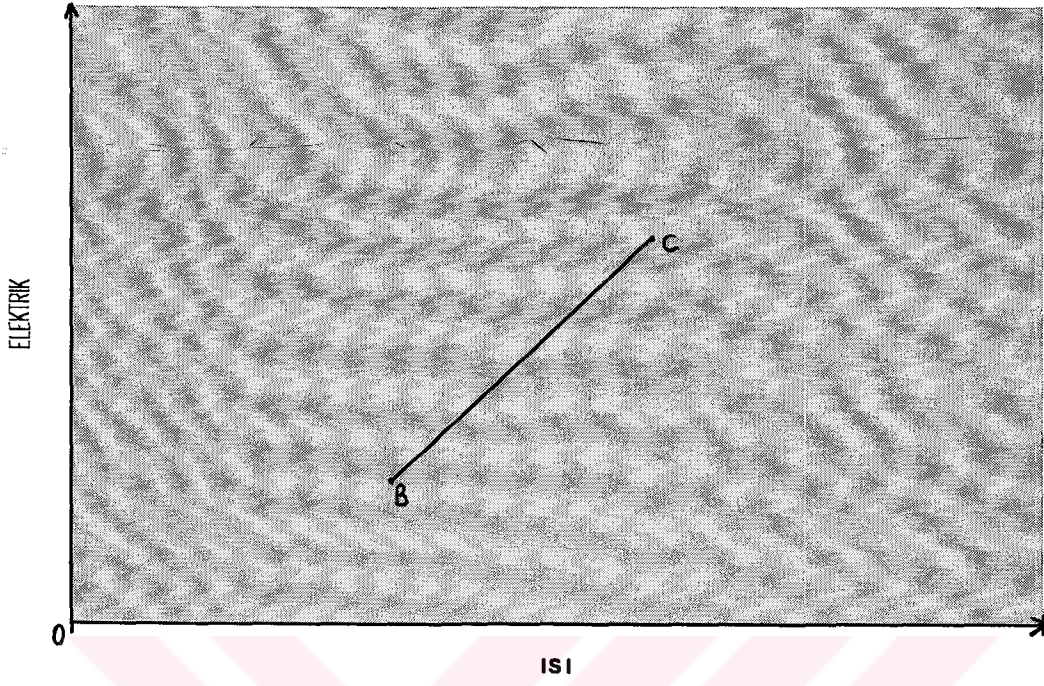
Ekstraksiyon / yoğuşma türbini ile kojenerasyon
(Şekil 3.17)

BC doğrusu karşı basınçlı türbininin ÜOK'si ile çakışır.

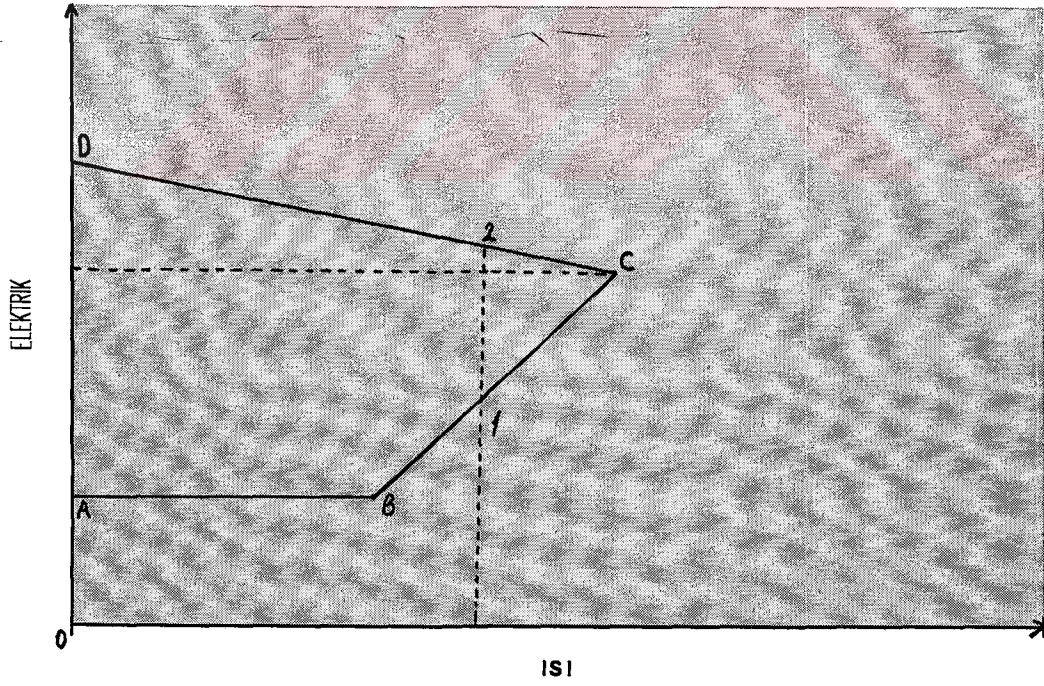
C noktasında sistem tam yükte bir karşı basınç türbini gibi çalışır. Karşı basınçlı çevrimde ısı talebi düşünce buhar arzı da azalır. Bu nedenle elektrik üretimi de düşer.

Fakat ekstraksiyon / yoğuşma türbininde azalan ısı yüklerinde buhar debisi sabit tutulabilir. Fazla buhar kondenserin alçak basıncına genişler, böylece elektrik üretimi artar. CD doğrusu, buhar debisinin maksimumda tutulması halinde, değişken ısı talebi ile maksimum elektrik üretimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Maksimum elektrik üretimi (D noktası) türbine giren buharın debisinin maksimum olması ve sıfır ısı ekstraksiyonu halinde gerçekleşir. Bu noktada buharın tümü kondenserin alçak basınç düzeyine (yaklaşık 0,05 bar) genişler ve ekstraksiyon / yoğuşma türbini, sadece yoğuşma türbini işlevini görür.

Şekil 3.17'den belirli bir ısı talebinde (örneğin Q1) 1 - 2 doğru parçası üzerindeki elektrik miktarlarının üretiminin mümkün olduğu görülmektedir. 1 noktasında ekstraksiyon / yoğuşma türbini gibi davranır, 2 noktasında



Şekil 3.16 Karşı basınçlı bir türbinin üretim olasılıkları kümesi.



Şekil 3.17 Ekstraksiyon / yoğuşma türbininin üretim olasılıkları kümesi.

buhar debisi maksimumdadır; buharın bir bölümü Q_1 ısı talebini karşılamakta kullanılır iken, artan buhar üretimi için kullanılır.

3.5.4. Buhar Türbinli Sistemlerin Isı Geri Kazanımı ve Çevre Etkileri

Isı Geri Kazanımı

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

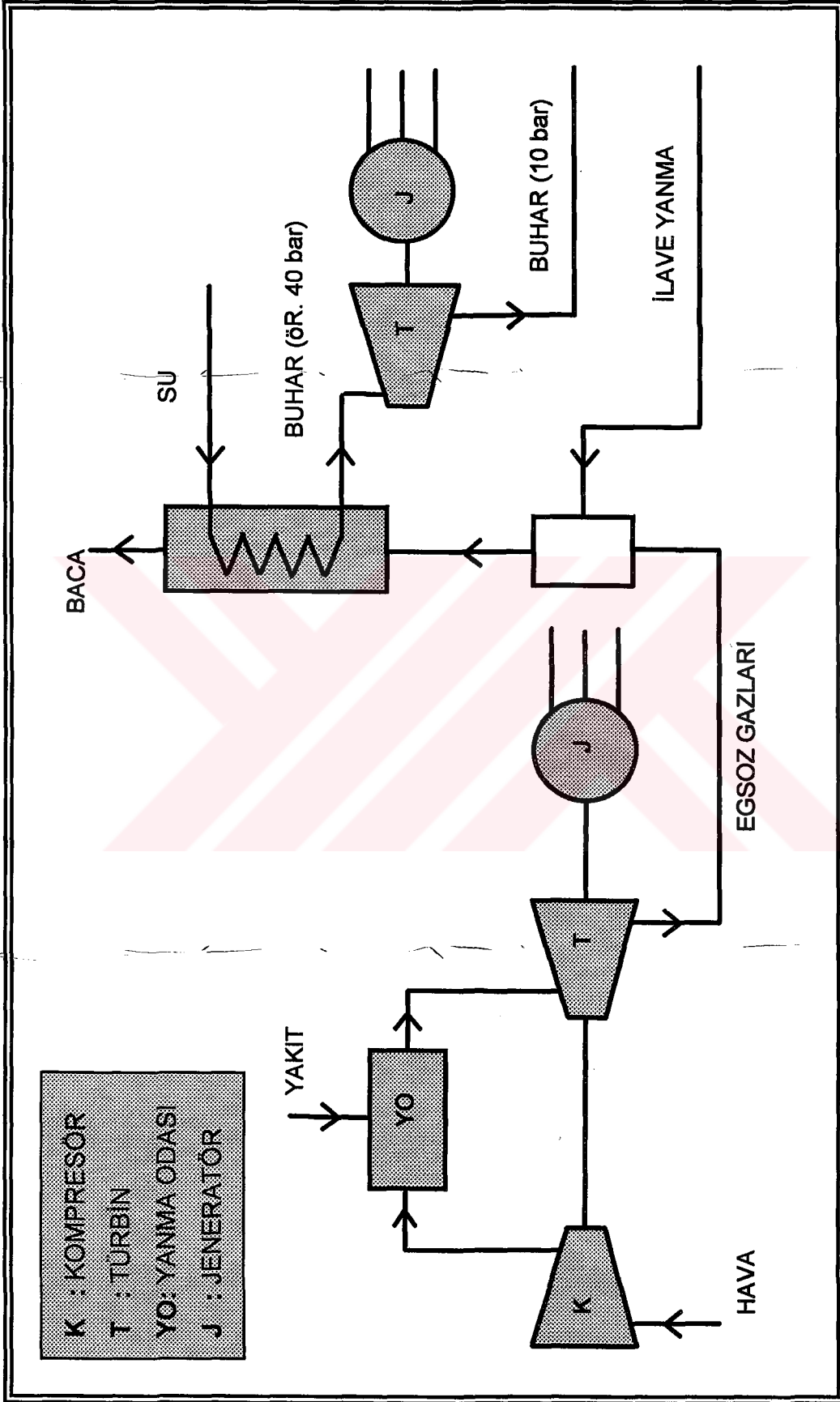
Çevre Etkileri

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

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

3.6. Birleşik Çevrim

3.6.1. Genel Tanıtım (Şekil 3.18)



Şekil 3.18. Karşı basınçlı buhar türbiniyle birleşik çevrim.

Birleşik çevrim gaz türbini ve buhar türbininin birlikte kullanılmasıdır.

Gaz türbini elektrik ve yüksek sıcaklıkta (400-600° C) egsoz gazı üretir.

Egsoz gazlarından, atık ısı kazanında yüksek basınçta (40-100 bar) buhar üretilebilir.

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

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

Kojenerasyon amacı ile kullanılan birleşik çevrimlerde karşı basınçlı veya ekstraksiyon / yoğuşma tipi buhar türbini kullanılabilir.

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

3.6.1.1. Karşı Basınçlı Bir Türbin İle Birleşik Çevrim

Şekil 3.18'de kojenerasyon için kullanılabilecek en basit birleşik çevrim görülmektedir. Bu sistem gaz türbini, atık ısı kazanı, ilave yanma ve karşı basınçlı buhar türbininden oluşmaktadır.

Kuşkusuz ilave yanmasız birleşik çevrim tasarlamak

mümkündür, ama kojenerasyonda genellikle ilave yanma düşünülmektedir.

Çünkü ilave yanmanın bazı avantajları düşünülmektedir:

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

Şekil 3.19'da Siemens firması tarafından V 64.3 modeli gaz türbini ile oluşturulan buhar türbinli karşı basınçlı birleşik çevrim örneğinin şematik resmi görülmektedir.

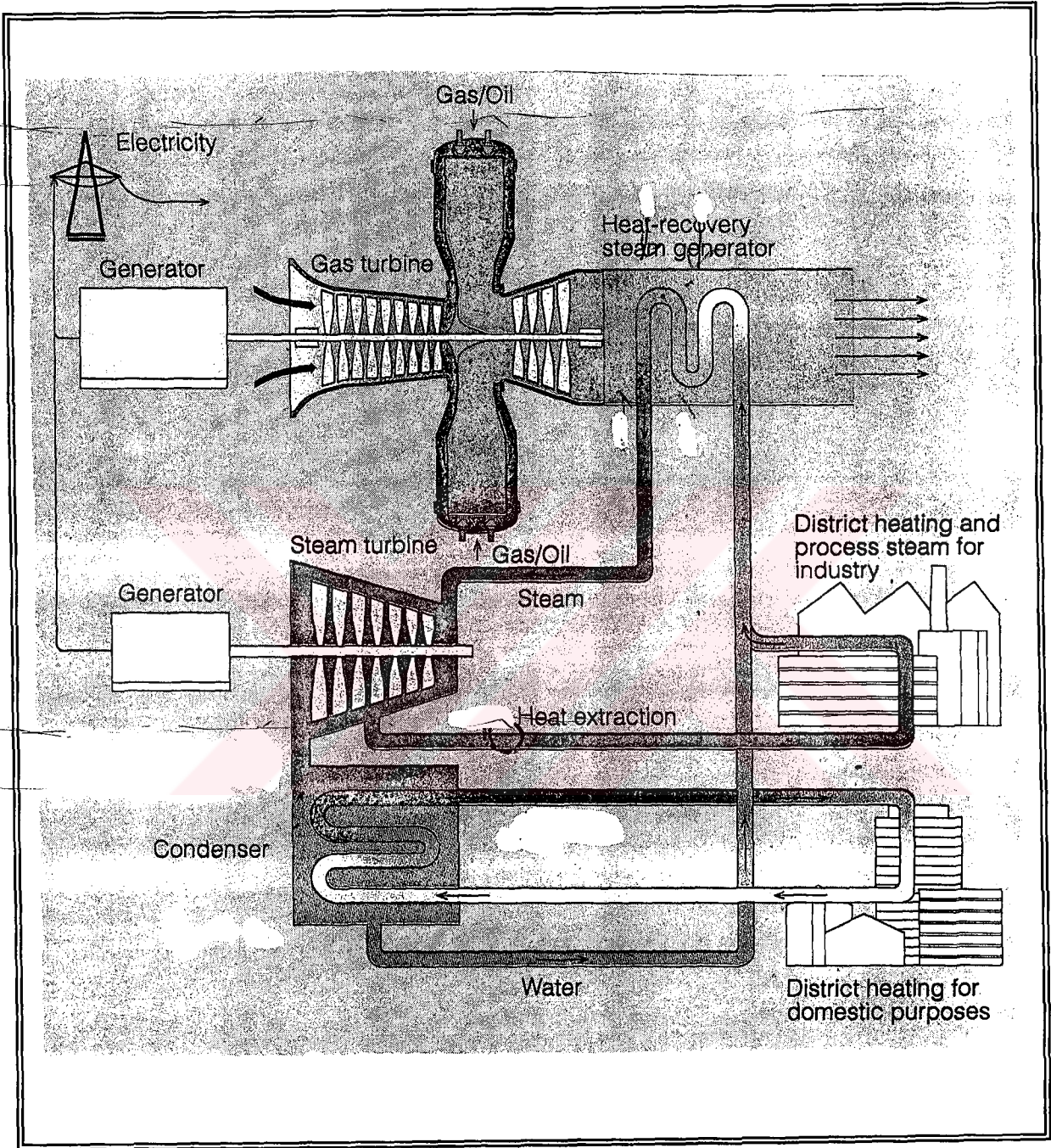
Bölüm 3.4'de karşı basınçlı türbinde üretilen elektrik açığa çıkar. Isı oranının yaklaşık sabit olduğundan bahsedilmiştir.

İlave yanma kullanıldığında kojenerasyon sisteminin ısı / güç oranı daha esnek olur. Çok yüksek karşı basınç düzeylerinde türbinde üretilen elektrik çok az olacağından, birleşik çevrimin pek anlamı olmaz.

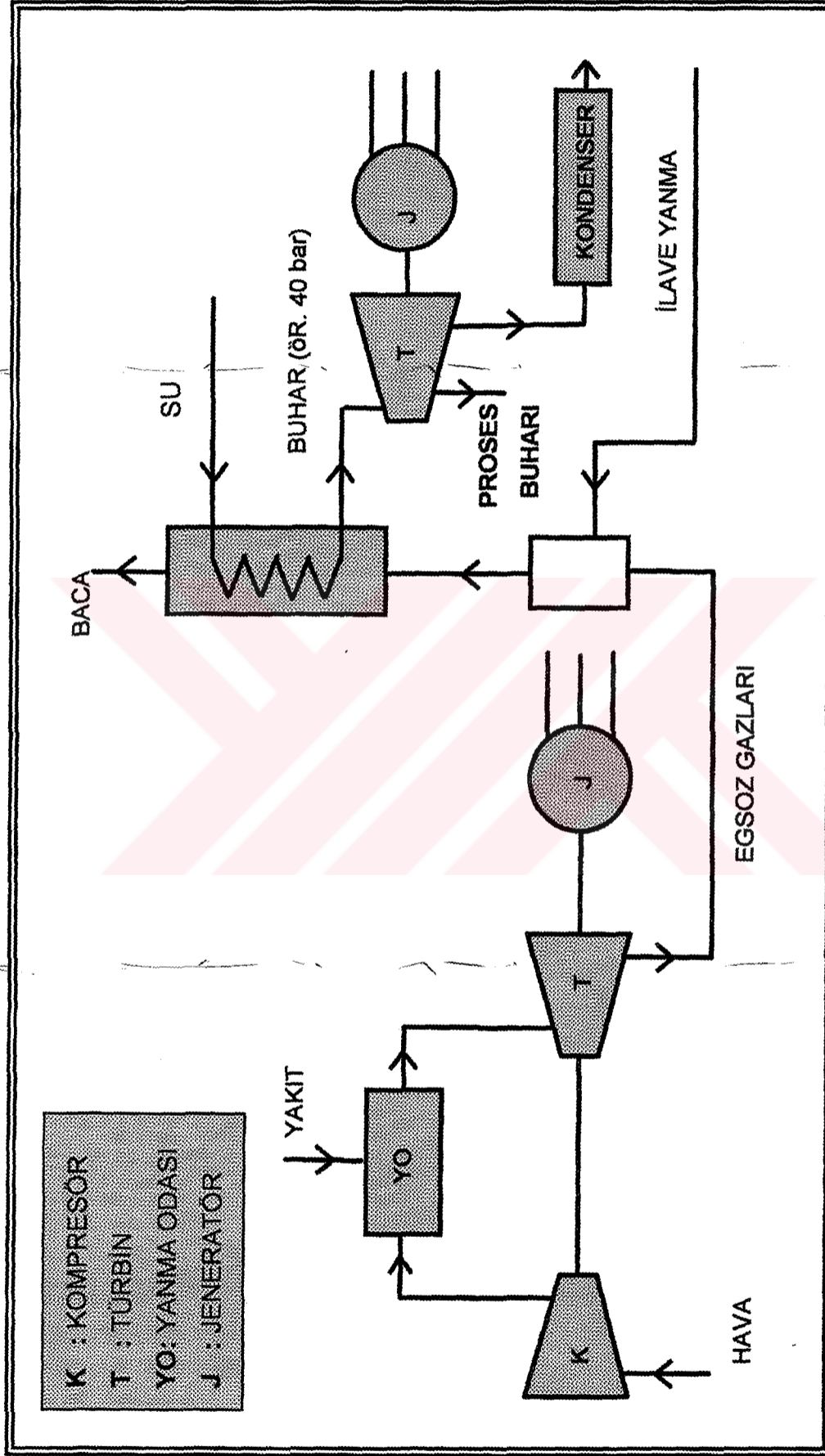
Yüksek karşı basınçlarda, daha basit ve ucuz gaz türbini + atık ısı kazanından oluşan bir sistem üzerinde durmak daha yararlıdır.

3.6.1.2. Ekstraksiyon / Yoğuşma Türbini İle Birleşik Çevrim (Şekil 3.20)

Ekstraksiyon / yoğuşma türbinleri tasarım ve işletmede büyük bir esneklik sağlar. Türbinin yoğuşma bölümü, proses buharı üretiminin azaltılıp, elektrik üretiminin arttırılmasına olanak verir.



Şekil 3.19. Siemens firması tarafından V 64.3 modeli gaz türbini ile oluşturulan buhar türbinli karşı basınçlı birleşik çevrim örneğinin şematik resmi (Uygulamaya yönelik çalışma için şekil 4.24.'e bakınız.)



Şekil 3.20. Ekstraksiyon / yoğunlaşma türbini ile birleşik çevrim.

Uygulama

3 MWe'den 1,200 MWe'e (modüler) kadar değişen büyüklüklerde birleşik çevrim tesisleri mevcuttur.

Kojenerasyon amaçlı birleşik çevrim tesisleri çoğunlukla şu alanlarda kullanılır:

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

* Bölgesel ısıtma.

Endüstriyel kojenerasyon tesisleri genellikle 50 MWe'ten küçüktür.

5 MWe'in altında elektrik kapasitesinde birleşik çevrim sistemleri teknik olarak mümkün olmakla birlikte, kWe başına yatırım maliyeti yüksek olduğundan ender kullanılırlar. Birleşik çevrimin ısı / güç oranı 0 ile yaklaşık 1.5 arasında değişir. Birleşik çevrim yüksek elektrik verimi nedeniyle, elektrik talebinin yüksek olduğu yerlerde özellikle caziptir.

İşletme

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

Doğal olarak ilave yanma azaltılınca, ısı / güç oranı düşer (gaz türbini hala tam kapasitede çalışmaktadır).

3.6.2.İşletme

Isı yükü, ilave yanma ile kontrol edilemeyecek kadar

azalınca, gaz türbini yükünün düşürülmesi gerekir. Eğer gaz türbini yükünün azaltılmasına paralel olarak, kompresör tarafından emilen hava miktarı azaltılır ise egsoz gazlarının sıcaklığı yaklaşık "sabit" kalır. Bu durum gaz türbini yükü tam kapasitesinin yaklaşık %80'ine düşünceye kadar böyle sürebilir. Yük daha da azalır ise egsoz gazlarının sıcaklığı düşer.

İzin verilen minimumun altındaki yüklerde (örneğin tam yükün %75'i) gaz türbinini durdurmamak gerekir.

3.7.Kojenerasyon Teknolojilerinin Genel Değerlendirmesi

Buraya kadar, piyasada ticari olarak mevcut kojenerasyon teknolojileri incelenmiştir. Bu bölümde en önemli kojenerasyon tekniklerinin özet bir genel değerlendirilmesi verilecektir.

Bu bölümde verilen değerler sadece temsili olup, dikkatle kullanılmasında yarar vardır.

3.7.1 Uygulama Alanları

Bir kojenerasyon sisteminin uygulama alanı yaklaşık olarak aşağıdakilere göre belirlenir:

- * Güç aralığı
- * Üretilen ısının kalitesi
- * Isı/güç oranı

Güç Aralığı

Tablo 3.1'den elektrik talabının birkaç MWe'nin altında olması halinde, genellikle içten yanmalı motorlar (gaz veya

dizel) ve daha küçük oranda da gaz türbinlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 3.1. Kojenerasyon tekniklerinin güç aralığı

| Kojenerasyon Teknolojisi | Güç Aralığı (MW) |
|--------------------------|------------------|
| Gaz motoru | 0.015 - 20 |
| Dizel motoru | 0.1 - 15 |
| Gaz türbini | 0.15 - 100 |
| Karşı basınç | 0.5 - 60 |
| Eks. / Yoğ. | 10 - 100 |
| Birleşik çevrim | 10 - 100 |

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

Isı Kalitesi

Kojenerasyon sistemlerinin bir başka önemli özelliği de üretilen yararlı ısının kalitesidir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Isı Kalitesi

| Kojenerasyon Teknolojisi | Sıcak Su 100°C | Buhar < 5 bar | Buhar > 5 bar | Doğrudan Isıtma |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Gaz motoru | * | * | | * |
| Dizel motoru | * | * | | |
| Gaz türbini | | | * | * |
| Karşı basınç | | * | * | |
| Eks. / Yoğ. | | * | * | |
| Birleşik çevrim | | | * | |

İçten yanmalı motorlar genellikle, ısı, sıcak su olarak isteniyorsa kullanılır. Fakat endüstriyel kojenerasyonda genellikle ısı, buhar olarak istendiğinden gaz türbinleri veya birleşik çevrimler kullanılır. Gaz türbini veya gaz

motoru kullanılması halinde egsoz gazları ısının doğrudan kullanımını şeklinde de değerlendirilebilir (Örneğin, çimento endüstrisindeki kurutma prosesleri).

Isı / Güç Oranı

İçten yanmalı motorlarda ısı / güç oranının düşük olduğu görülmektedir, genellikle 2'den küçüktür (Tablo 3.3). Ayrıca kojenerasyon amaçlı birleşik çevrimlerin ısı / güç oranı da düşüktür. Eğer gerekli ısı miktarı elektrik talebine oranla yüksek ise (yüksek ısı / güç oranı), genellikle buhar türbinleri veya ilave yanmalı gaz türbinleri kullanılır.

Tablo 3.3. Isı / güç oranı

| Kojenerasyon Teknolojisi | Isı / Güç Oranı |
|--------------------------|-----------------|
| Gaz motoru | 1.5 - 2.0 |
| Dizel motoru | 1.2 - 1.4 |
| Gaz türbini | 1.5 - 3.0 |
| Karşı basınç | 1.0 - 8.0 |
| Eks. / Yoğ. | 2.0 - 5.0 |
| Birleşik çevrim | 1.0 - 1.6 |

3.7.2. Performans

Enerji Dengesi

Tablo 3.4'de kojenerasyon tekniklerinin toplam veriminin genellikle %70-90 arasında olduğu anlaşılmaktadır. Dizel motorlarını ve birleşik çevrimlerde elektrik verimi yüksek iken; gaz motorları, gaz türbinleri ve buhar türbinleri yüksek ısı verimlerine çıkabilir.

Tablo 3.4. Kojenerasyon sistemi verimleri

| Kojenerasyon Sistemi | Verim (%) | | |
|----------------------|-----------|---------|---------|
| | Elektrik | Isı | Toplam |
| Gaz motoru | 25 - 35 | 50 - 60 | 80 - 90 |
| Dizel motoru | 35 - 45 | 40 - 50 | 75 - 80 |
| Gaz türbini | 15 - 35 | 40 - 50 | 70 - 80 |
| Karşı basınç | 10 - 30 | 40 - 60 | 75 - 85 |
| Eks. / Yoğ. | 20 - 40 | 40 - 60 | 70 - 80 |
| Birleşik çevrim | 30 - 40 | 40 - 50 | 80 - 90 |

Çalışabilirlik

Bakım prosedürlerine uyulması halinde, kojenerasyon teknolojilerinin çalışabilirliği yüksektir (>95%).

Tablo 3.5 çeşitli ana makinaların ortalama ömrünü göstermektedir.

Tablo 3.5. Ana makina ömrü

| Kojenerasyon Teknolojisi | Ömür (Yıl) |
|--------------------------|------------|
| İçten yanmalı motor | 10 |
| Gaz türbini | 15 |
| Buhar türbini | 30 |

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

İşletme Özellikleri

Tablo 3.6'da çeşitli ana makinaların kısmi yük davranışları ile izin verilen minimum yükler verilmiştir.

Tablo 3.6. Kısmi yük davranışı ve minimum yük

| Kojenerasyon Teknolojisi | Kısmi Yük Davranışı | İzin Verilen Min. Yük |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Gaz motoru | Orta | % 50 |
| Dizel motoru | İyi | % 50 |
| Gaz türbini | Kötü | % 75 |
| Buhar türbini | İyi | % 20 |

3.8. Sonuç

Kojenerasyon sisteminin kalbi, mekanik ve ısı enerjisinin üretim noktası olan, ana makinedir. Kojenerasyon sistemlerinin büyük çoğunluğu pistonlu motorlar, gaz türbinleri veya buhar türbinleri baz alınarak kurulmuştur. Bu seçeneklerin üçü de güvenilir ve kullanılabilir teknolojilerdir. Bunlardan hangisinin seçileceği uygulamanın enerji ve performans ihtiyaçlarına bağlıdır. Başlangıçta uygun seçimin yapılması kadar önemli bir diğer konu da bakım onarımdır. En iyi sistem tasarımı dahi, işletme ve bakım programının yeterli olmaması halinde sorun çıkarabilir.

4. DÜNYA ÜZERİNDEKİ KOJENERASYON UYGULAMALARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, dünya üzerindeki kojenerasyon teknolojisinin uygulamaları hakkında yapılan çalışmalar ele alınıp incelenmiştir.

Kojenerasyon teknolojilerini ele alıp değerlendirme açısından dünyada etkin faaliyet gösteren şirketlerden en önde gelenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- * ABB (Asea Brown Boveri)
- * Siemens
- * CAT (Caterpillar)
- * Waukesha - Dresser (Rama Enerji Servisleri Limited Şirketi)
- * Kamata Engineering Co. Ltd. and Sumitomo Co. Ltd.
- * Ulstein Bergen As
- * United Technologies

Sırasıyla bu şirketlerin imal ettikleri gaz motoru, gaz türbini ve buhar türbinli enerji sistemlerini inceleyelim.

4.2. ABB (Asea Brown Boveri)

ABB Asea Motors ve Brown Boveri Company'nin birleşmesiyle kurulmuş çok uluslu bir şirkettir.

Şekil 4.1'de ABB'nin imal ettiği Type 13 kodlu gaz türbini ve jeneratör sisteminin şematik gösterimi,

Şekil 4.2'de Type 13 kodlu gaz türbininin yanma odasının şematik gösterimi,

Şekil 4.3'de 143 MW'lik type 13E modeli BBC gaz türbini,

Şekil 4.4'de Suudi Arabistan'ın Riyad kentinde Type 11

BBC gaz türbinlerinden 16 tanesinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş, petrolle çalışan, 1400 MW gücündeki Güç Merkezi ünitesi,

Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de ABB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisin güçleri ve teknik özellikleri,

Şekil 4.5'de Taiwan'daki petrolle çalışan Tung Hsio 4/5 birleşik çevrimli santralinin resmi (bu santralin teknik özellikleri tablo 4.2'de 56 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.6' da Suudi Arabistan'daki Rabıgh gaz türbinli santrallerin yeni yapılan ilave üniteleri (şekil 4.4'de ifade edilen 1400 MW'lık güç merkezi ünitesine ilave edilen bu tesisin teknik özellikleri tablo 4.1'de 66 nolu satırda ifade edilmiştir),

Şekil 4.7'de Jawa adasındaki 1180 MW elektrik gücü üreten Tanjugn Priok santralinin resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.1'de 78 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.8'de İngiltere'de doğal gazdan elektrik enerjisi üreten Killingholme A santrallerinin resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.1'de 60 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.9'da Bahreyn'de 700 MW gücündeki ALBA santralinin resmi (bu santralin teknik özellikleri tablo 4.1'de 64 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.10'da A.B.D.'nin California eyaletinde NOx emisyonu oldukça düşük olan AES Placerita santralinin resmi (bu santralin teknik özellikleri tablo 4.2'de 45 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.11'de A.B.D.'nin Michigan eyaletinde 12 tane gaz türbini ile oluşturulan Midland güç ünitesinin resmi (bu

santralin teknik özellikleri tablo 4.2'de 52 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.12'de Hollanda'da 220 MW elektrik gücü üreten ve aynı zamanda bölgesel merkezi ısıtmada da faydalanılan Galileistraat santralının resmi (bu santralin teknik özellikleri tablo 4.2.'de 44 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.13'de İngiltere'deki 225 MW'lik Roosecote santralının resmi bu santrali teknik özellikleri Tablo 4.1'de 59 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.14'de Hollanda'daki yüksek verimli MK 12 (PEGUS 12) santralının resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2'de 47 nolu satırda belirtilmiştir),

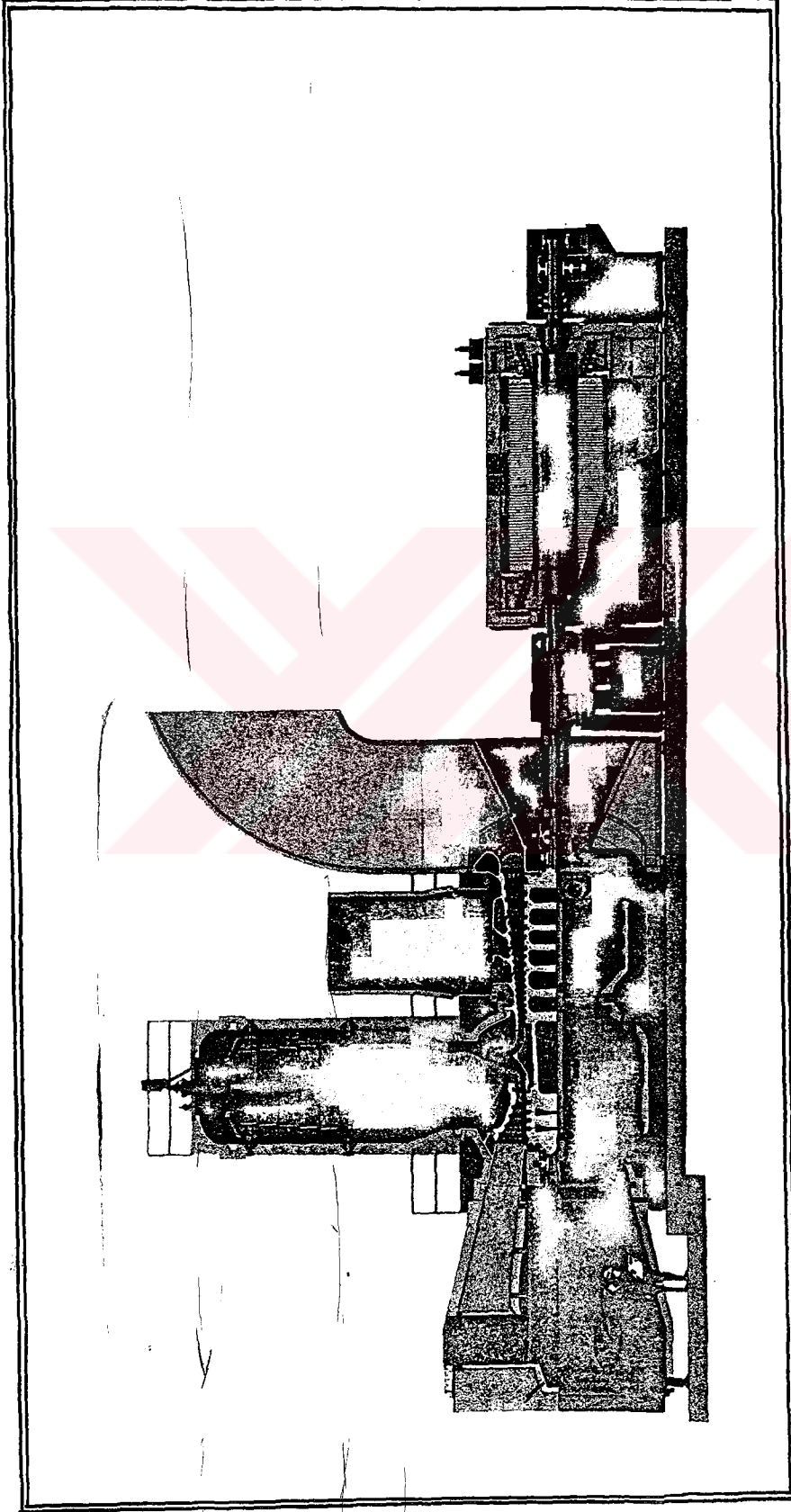
Şekil 4.15'de Mısır'daki elektrik ve proses buharı üretiminde kullanılan birleşik çevrimli El Ameriya santralının resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2'de 35 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.16'da Meksika'daki 240MW gücündeki El Sauz güç ünitesinin resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2.'de 33 nolu satırda belirtilmiştir),

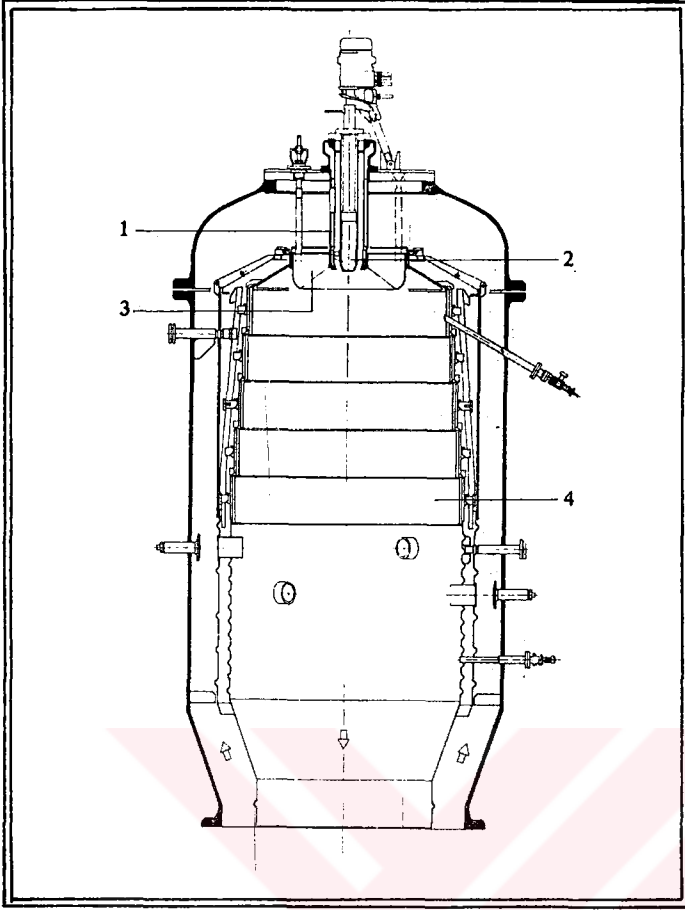
Şekil 4.17'de Hollanda'da birleşik ısı elektrik ünitesi olarak ilk tesis edilen santrallerden MK 10 (PEGUS 10)'nun resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2'de 22 nolu satırda belirtilmiştir),

Şekil 4.18'de Hollanda'da 70 MW gücündeki birleşik çevrimli Almere santralının resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2'de 37 nolu satırda belirtilmiştir),

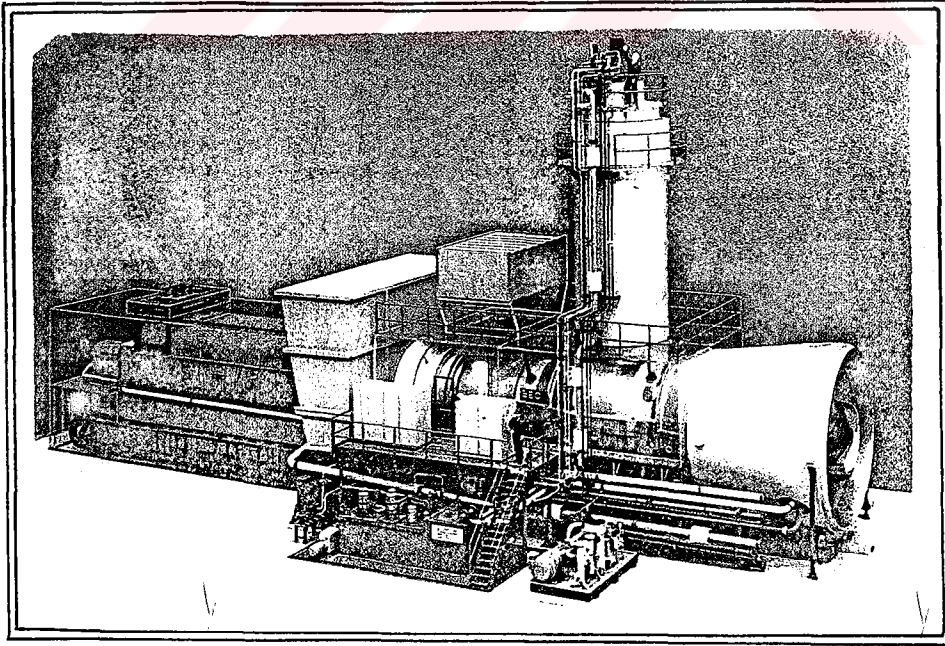
Şekil 4.19'de Almanya'daki 230 MW gücündeki Hagen Kabel santralının resmi (bu santralin teknik özellikleri Tablo 4.2'de 25 nolu satırda belirtilmiştir), gösterilmiştir.



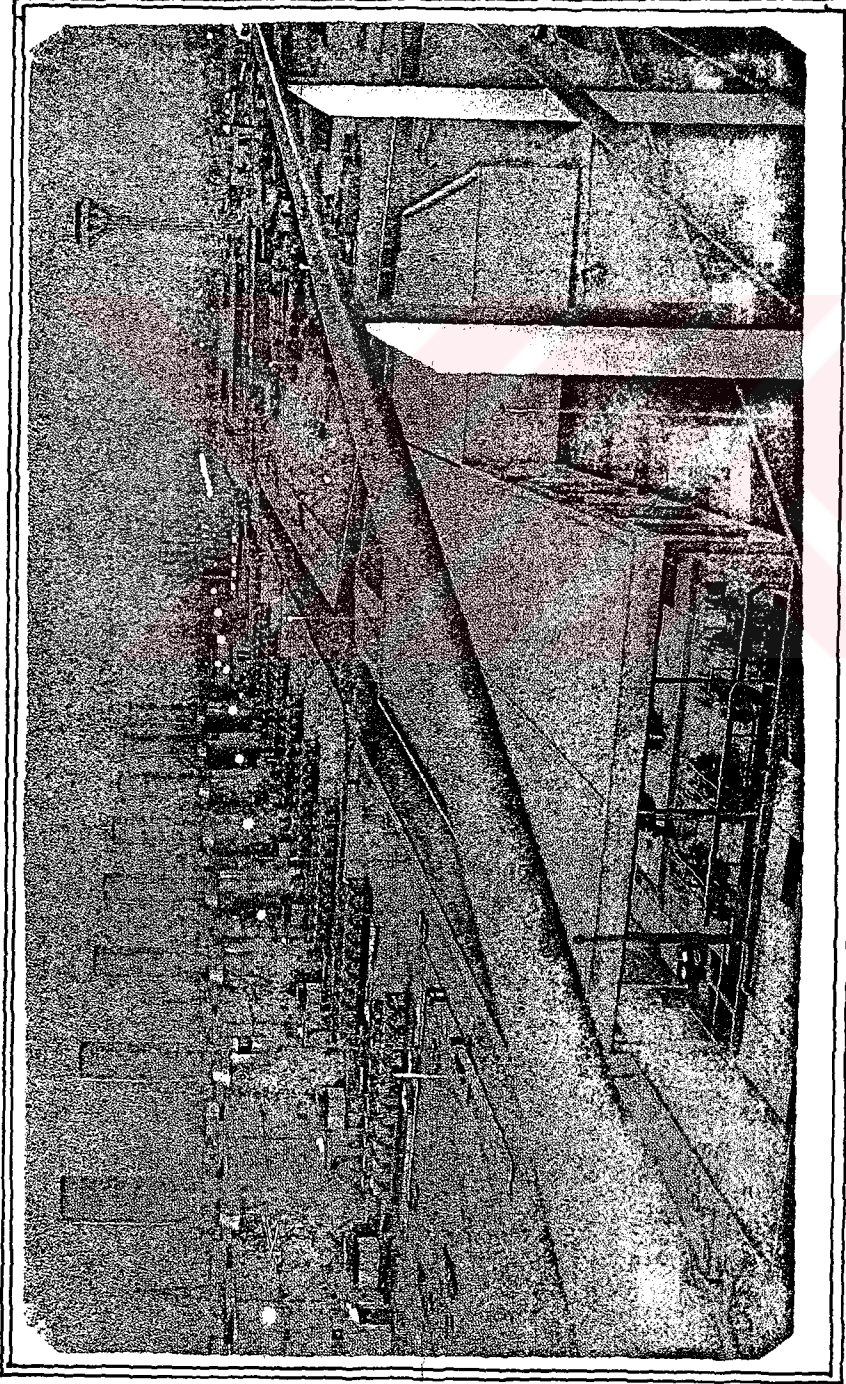
Şekil 4.1.
ABB'nin imal ettiği Type 13 kodlu gaz türbini ve jeneratör sisteminin şematik gösterimi
Sağdan sola: Jeneratör, kompresör, yanma odalı gaz türbini, eksoz gazı difüzörü



Şekil 4.2.
Type 13 kodlu gaz
türbininin yanma odasının
şematik gösterimi
1-Ateşleyici
2-Fuel Nozülü
3-Hava giriş kanalları
4-Yüzgeçli yanma odası
kısımları



Şekil 4.3.
143 MW'lık Type 13 E modeli BBC gaz türbini



Şekil 4.4.
Suudi Arabistan'ın Riyad kentinde Type 11 BBC gaz türbinlerinden 16 tanesinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş, petrole çalışan, 1400 MW gücündeki Güç Merkezi ünitesi

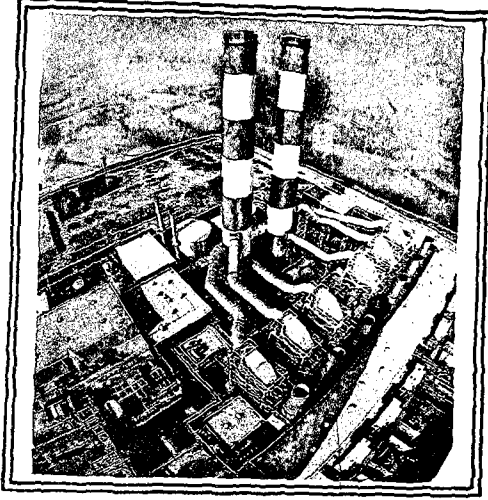
Tablo 4.2. ABB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisin güçleri ve teknik özellikleri (56 - 13 arası)

| No. | Plant | Country | In Operation | KA-Series | P _{net} (MW) | P _{cr} (MW) | P _{cr} (MW) | Fuel GT | Boiler fired | Cogen. | Scope of Supply |
|-----|------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------|--------|-----------------------|
| 56 | Tung Hsiao 4/5 | China (Taiwan) | 1992 | 2 x KA11N-3 | 660 | 3 x 74 | 1 x 108 | h. / l. oil (LNG) | - | - | GT + ST + HRSG + Eng. |
| 55 | RPE Commerce | Virginia, USA | 1991 | 1 x KA11N-2 | 220 | 2 x 80 | 1 x 60 | n. gas / l. oil | - | yes | GT |
| 54 | Hopewell | Virginia, USA | 1990 | 1 x KA11N-3 | 356 | 3 x 87 | 1 x 103 | n. gas / l. oil | - | yes | Turkey |
| 53 | Kalaola | Hawaii, USA | 1990 | 1 x KA11N-2 | 200 | 2 x 74.5 | 1 x 52 | h. oil / l. oil | - | yes | Turkey |
| 52 | Midland | Michigan, USA | 1990 | 1 x KA11N-12 | 1370 | 12 x 87 | 1 x 350 | n. gas | yes | yes | GT + ST + Eng. |
| 51 | Anta | India | 1990 | 1 x KA13D-3 | 414 | 3 x 88 | 1 x 115 | n. gas / nta. | - | yes | Turkey |
| 50 | Aspropyrgos | Greece | 1989 | 1 x KA10-2 | 50 | 2 x 17 | 1 x 16 | r. gas | - | - | ST + Eng. |
| 49 | Hazleton | Pennsylvania, USA | 1989 | 1 x KA11-1 | 135 | 1 x 72 | 1 x 68 | n. gas / l. oil | yes | yes | Turkey |
| 48 | Purmerend | The Netherlands | 1989 | 1 x KA8-1 | 69 | 1 x 48 | 1 x 21 | n. gas | - | yes | Turkey |
| 47 | MK 12 (PEGUS 12) | The Netherlands | 1989 | 1 x KA13E-1 | 225 | 1 x 150 | 1 x 75 | n. gas | - | yes | Turkey |
| 46 | Elmwood Park | New Jersey, USA | 1989 | 1 x KA8-1 | 68 | 1 x 50 | 1 x 18 | n. gas / l. oil | yes | yes | Turkey |
| 45 | AES Placerita | California, USA | 1988 | 1 x KA8-2 | 106 | 2 x 45 | 1 x 16 | n. gas | yes | yes | Turkey |
| 44 | Galliestraat | The Netherlands | 1989 | 1 x KA8-3 | 222 | 3 x 50 | 1 x 77 | n. gas | - | yes | Turkey |
| 43 | Trakya 3/4 | Turkey | 1989/90 | 2 x KA13D-2 | 600 | 4 x 100 | 2 x 100 | n. gas | - | - | Turkey |
| 42 | Trakya 1/2 | Turkey | 1987/88 | 2 x KA13D-2 | 65 | 4 x 100 | 2 x 100 | n. gas | - | - | Turkey |
| 41 | Kabul 3/4 | Afghanistan | 1988 | 1 x KA9-2 | 85 | 2 x 28 | 1 x 28 | l. oil | - | - | Turkey |
| 40 | Hemweg 7 | The Netherlands | 1988 | 1 x KA13E-1 | 600 | 1 x 135 | 1 x 465 | n. gas | yes | - | GT + ST + Eng. |
| 39 | Helmond 2 | The Netherlands | 1988 | 1 x KA13E-1 | 28 | 1 x 21 | 1 x 7 | n. gas | - | yes | ST + Eng. |
| 38 | HKW Kassel | F. R. Germany | 1987 | 1 x KA11-1 | 30 | 2 x 10 | 1 x 10 | n. gas | - | yes | ST |
| 37 | Almere | The Netherlands | 1987 | 1 x KA8-1 | 69 | 1 x 48 | 1 x 21 | n. gas | - | yes | Turkey |
| 36 | Lage Weide 5 | The Netherlands | 1987 | 1 x KA11-1 | 270 | 1 x 65 | 1 x 205 | n. gas | yes | yes | GT + Eng. |
| 35 | El Ameriya | Egypt | 1986 | 1 x KA9-1 | 46 | 1 x 28 | 1 x 18 (36) | n. gas / l. oil | - | - | Turkey |
| 34 | Lujan de Cuyo | Argentina | 1986 | 1 x KA9-2 | 81 | 2 x 26 | 1 x 29 | n. gas / l. oil | - | - | Turkey |
| 33 | El Sauz | Mexico | 1985 | 1 x KA11-3 | 232 | 3 x 51 | 1 x 79 | n. gas / l. oil | - | - | Turkey |
| 32 | MK 11 (PEGUS 11) | The Netherlands | 1984 | 1 x KA9-2 | 112 | 2 x 36 | 1 x 40 | n. gas / l. oil | - | yes | Turkey |
| 31 | Helmond 1 | The Netherlands | 1984 | 1 x KA11-1 | 28 | 1 x 21 | 1 x 7 | n. gas | - | yes | ST + Eng. |
| 30 | Leiden | The Netherlands | 1983 | 1 x KA11-1 | 92 | 2 x 30 | 1 x 32 | n. gas | - | yes | ST |
| 29 | Federal Paper | California, USA | 1983 | 1 x KA11-1 | 30 | 1 x 24 | 1 x 6 | n. gas | - | yes | ST |
| 28 | Harculo 6 | The Netherlands | 1982 | 1 x KA11-3 | 330 | 1 x 80 | 1 x 250 | n. gas / l. oil | yes | - | ST |
| 27 | Tung Hsiao 3 | China (Taiwan) | 1982 | 1 x KA11-3 | 273 | 3 x 60 | 1 x 93 | h. oil / l. oil | - | - | GT + ST + HRSG + Eng. |
| 26 | HKW Barmen | F. R. Germany | 1982 | 1 x KA13D-2 | 108 | 2 x 35 | 1 x 38 | n. gas | - | yes | ST |
| 25 | Hegen Kabel | F. R. Germany | 1982 | 1 x KA13D-1 | 230 | 2 x 75 | 1 x 80 | n. gas / l. oil | - | yes | Turkey |
| 24 | Korneuburg B | Austria | 1980 | 1 x KA11-2 | 128 | 1 x 81 | 1 x 47 | n. gas | - | - | Turkey |
| 23 | Beluga | Alaska, USA | 1980 | 1 x KA11-2 | 177 | 2 x 60 | 1 x 57 | n. gas | - | - | GT + ST + Eng. |
| 22 | MK 10 (PEGUS 10) | The Netherlands | 1979 | 1 x KA9-2 | 100 | 2 x 31 | 1 x 38 | n. gas / l. oil | - | yes | GT + ST + Eng. |
| 21 | Lausward E | F. R. Germany | 1977 | 1 x KA13D-1 | 445 | 2 x 72.5 | 1 x 300 | n. gas / l. oil | yes | - | GT + ST + Eng. |
| 20 | Manz 2 | F. R. Germany | 1977 | 1 x KA13D-1 | 335 | 1 x 65 | 1 x 270 | n. gas / l. oil | yes | - | GT + Eng. |
| 19 | Monclova 5 | Mexico | 1976 | 1 x KA11-2 | 25 | 1 x 15 | 1 x 10 | b. f. gas | yes | - | GT + ST + Eng. |
| 18 | Monclova 2 | Mexico | 1976 | 1 x KA11-2 | 38 | 2 x 14 | 1 x 10 | n. gas | - | - | GT + ST + Eng. |
| 17 | Everlingsen | F. R. Germany | 1976 | 1 x KA13D-2 | 209 | 2 x 74 | 2 x 18 (1 x 21) | l. oil | - | - | GT + ST + Eng. |
| 16 | Braintree | Massachusetts, USA | 1976 | 1 x KA11-1 | 80 | 1 x 55 | 1 x 25 | l. oil / h. oil | - | - | GT + ST + Eng. |
| 15 | Timekam | Austria | 1975 | 1 x KA13D-1 | 107 | 1 x 72 | 1 x 35 | h. oil | - | - | GT + ST + Eng. |
| 14 | Dongje | The Netherlands | 1975 | 1 x KA13D-1 | 118 | 1 x 74.5 | 1 x 42.5 | n. gas | - | - | GT + ST + Eng. |
| 13 | Veltheim 4 | F. R. Germany | 1975 | 1 x KA13D-1 | 366 | 1 x 51 | 1 x 217 | n. gas / l. oil | yes | yes | GT + ST + HRSG + Eng. |

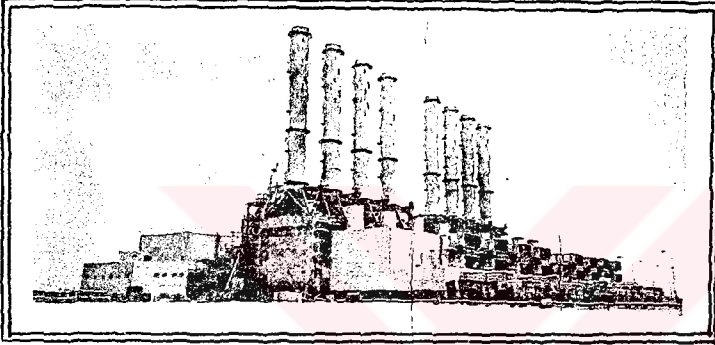
Tablo 4.3.
ABB firmasının dünya üzerinde kurduğu gaz türbinli, buhar türbinli ve kojenerasyonlu 100 tesisin güçleri ve teknik özellikleri (12 - 1 arası)

| No. | Plant | Country | In-Operation | KA-Series | P (MW) | P (MW) | P (MW) | Fuel | GT | Boller fired | Codes | Scope of Supply | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|--------|-----------|-----------------|----|--------------|-------|-----------------|--|
| 12 | Long Beach | California, USA | 1974/75 | | 581 | 7 x 62 | 1x65/1x82 | n. gas / l. oil | | - | - | GT + Eng. | |
| 11 | Ensland | F. R. Germany | 1974/75 | | 245 | 1 x 70 | 1 x 162 | n. gas | | yes | - | GT + Eng. | |
| 10 | Theiss A | Austria | 1974 | | 282 | 1 x 70 | 1 x 162 | n. gas | | yes | - | GT + Eng. | |
| 9 | Marbach | F. R. Germany | 1974 | | 455 | 1 x 55 | 1 x 250 | n. gas | | yes | - | GT + Eng. | |
| 8 | Robert Frank | F. R. Germany | 1973 | | 510 | 1 x 55 | 1 x 455 | n. gas | | yes | - | Turnkey | |
| 7 | Garsleinwerk | F. R. Germany | 1973 | | 455 | 1 x 55 | 1 x 400 | n. gas | | yes | - | GT + Eng. | |
| 6 | Huls KW 3 | F. R. Germany | 1973 | | 165 | 2 x 55 | 1 x 55 | n. gas | | yes | yes | Turnkey | |
| 5 | Viry-Stein | Fransa | 1972 | | 280 | 1 x 15 | 1 x 7 | n. gas / l. oil | | yes | - | GT + Eng. | |
| 4 | Brownsville | Texas, USA | 1968 | | 22 | 1 x 15 | 1 x 7 | n. gas / l. oil | | - | - | GT + Eng. | |
| 3 | Castellano | Italy | 1967 | | 75 | 2 x 25 | 1 x 25 | n. gas | | yes | - | GT + Eng. | |
| 2 | Korneuburg A | Austria | 1961 | | 75 | 2 x 25 | 1 x 25 | n. gas | | yes | - | GT + ST + Eng. | |
| 1 | Dudelange | Luxembourg | 1955 | | 135 | 1 x 55 | 1 x 35 | n. gas | | yes | - | GT + ST + Eng. | |
| Total | | | | 130 units | 31015 MW | | | | | | | | |

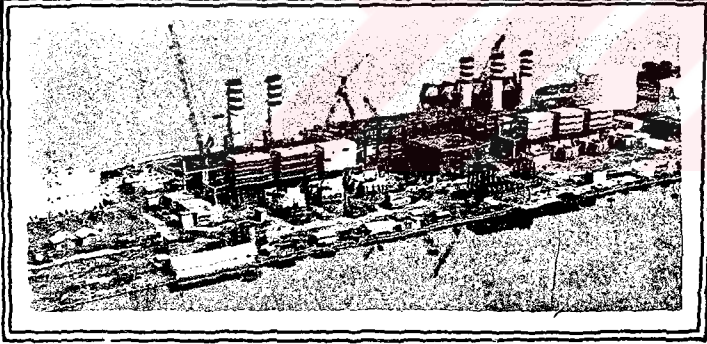
GT : Gaz Türbini (Gas Turbine)
ST : Buhar Türbini (Steame Turbine)
Ptot : Toplam Güç
b. f. gas: Yüksek fırın gazı (blast furnace gas)
c. gas : Kömür gazı (coal gas)
c. o. gas: Kok fırın gazı (coke oven gas)
cr. oil : İşlenmemiş petrol (crude oil)
h. oil : Ağır petrol (heavy oil)
l. oil : Hafif petrol (light oil)
LNG : Sıvı doğal gaz (liquefied natural gas)
LPG : Sıvı petrol gaz (liquefied petroleum gas)
n. gas : Doğal gaz (natural gas)
r. gas : Rafineri gazı (refinery gas)



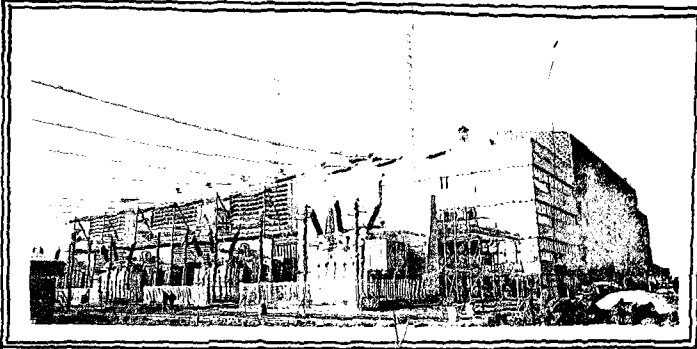
Şekil 4.5.
Taiwan'daki petrole çalışan Tung
Hsio 4/5 birleşik çevrimli
santralinin resmi (Bkz. Tablo
4.2. 56 nolu satır)



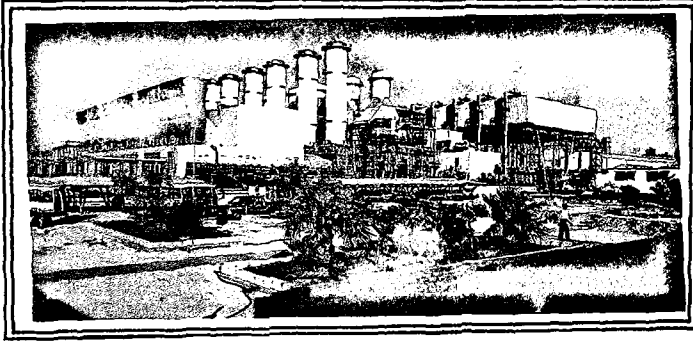
Şekil 4.6.
Suudi Arabistan'daki
Rabigh gaz türbinli
santrallerin yeni yapılan
ilave üniteleri (Bkz.
Tablo 4.1. 66 nolu satır)



Şekil 4.7.
Jawa adasındaki 1180 MW
elektrik gücü üreten
Tanjung Priok santralinin
resmi (Bkz. Tablo 4.1. 78
nolu satır)



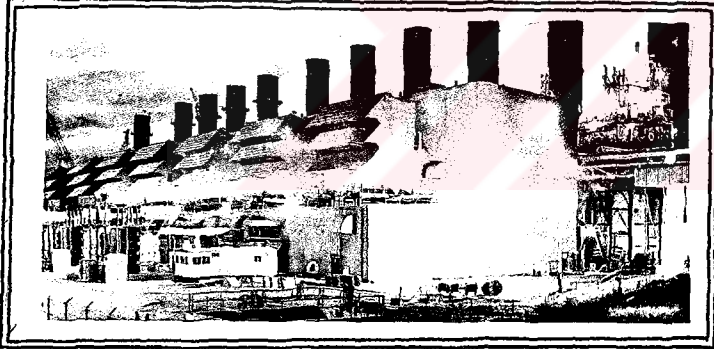
Şekil 4.8.
İngiltere'de doğal gazdan
elektrik enerjisi üreten
Killingholme A
santrallerinin resmi
(Bkz. Tablo 4.1. 60 nolu
satır)



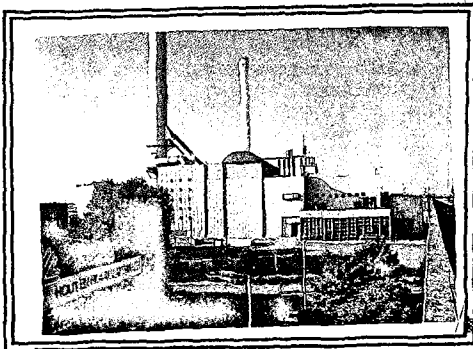
Şekil 4.9.
Bahreyn'de 700 MW
gücündeki ALBA
santralinin resmi (Bkz.
Tablo 4.1. 64 nolu
satır)



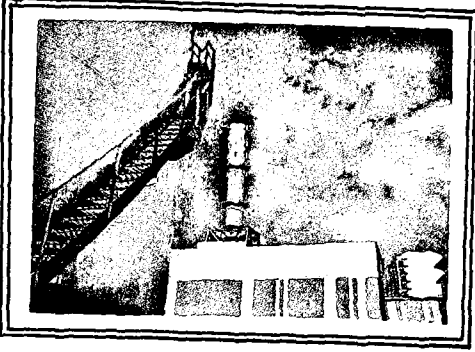
Şekil 4.10.
A.B.D.'nin California
eyaletinde NOx emisyonu oldukça
düşük olan AES Placerita
santralinin resmi (Bkz. Tablo
4.2. 45 nolu satır)



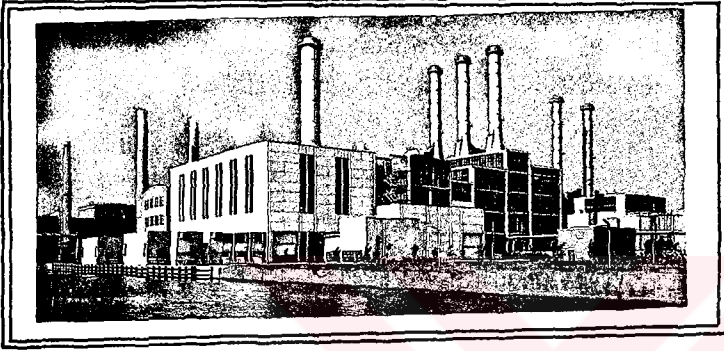
Şekil 4.11.
A.B.D.'nin Mighigan
eyaletinde 12 tane gaz
türbinini ile oluşturulan
Midland güç ünitesinin
resmi (Bkz. Tablo 4.2.
52 nolu satır)



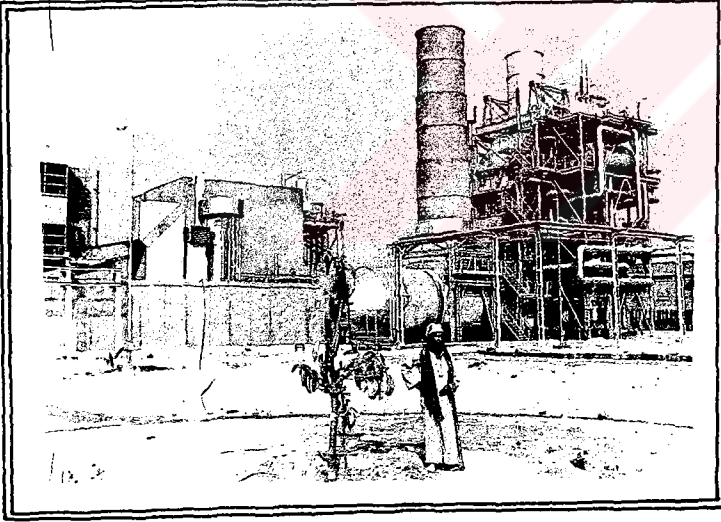
Şekil 4.12.
Hollanda'da 220 MW elektrik
gücü üreten ve aynı zamanda
bölgesel merkezi ısıtmada da
faydalanılan Galileistraat
santralinin resmi (Bkz. Tablo
4.2. 44 nolu satır)



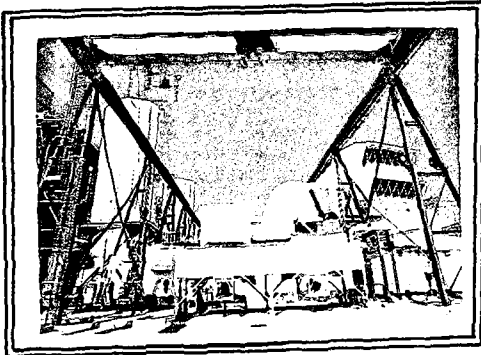
Şekil 4.13.
İngiltere'deki 225 MW'lik Roosecote santralinin resmi bu santrali teknik özellikleri (bkz.Tablo 4.1. 59 nolu satır)



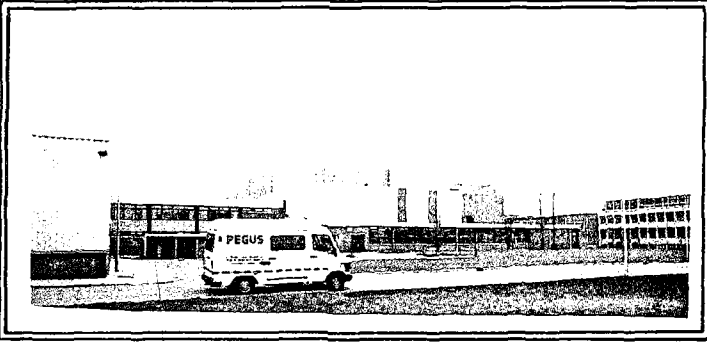
Şekil 4.14.
Hollanda'daki yüksek verimli MK 12 (PEGUS 12) santralinin resmi (bkz. Tablo 4.2. 47 nolu satır)



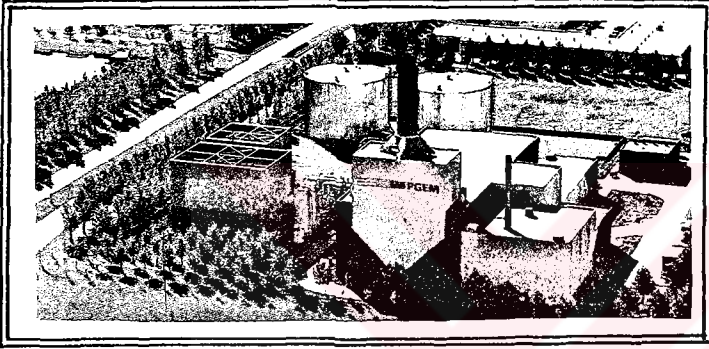
Şekil 4.15.
Mısır'daki elektrik ve proses buharı üretiminde kullanılan birleşik çevrimli El Ameriya santralinin resmi (Bkz. Tablo 4.2. 35 nolu satır)



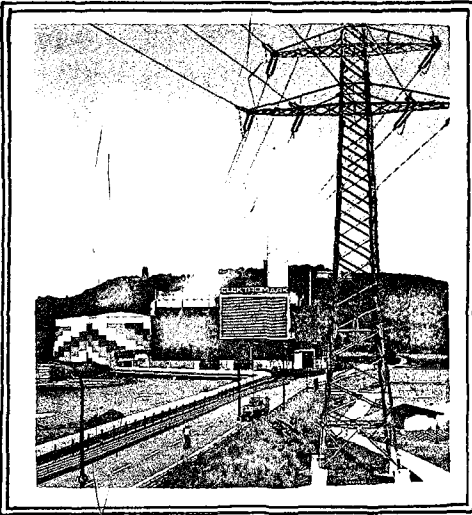
Şekil 4.16.
Meksika'daki 240MW gücündeki El Sauz güç ünitesinin resmi (Bkz. Tablo 4.2. 33 nolu satır)



Şekil 4.17.
Hollanda'da birleşik ısı elektrik ünitesi olarak ilk tesis edilen santrallerden MK 10 (PEGUS 10)'nun resmi (Bkz. Tablo 4.2. 22 nolu satır)



Şekil 4.18.
Hollanda'da 70 MW gücündeki birleşik çevrimli Almere santralinin resmi (Bkz. Tablo 4.2. 37 nolu satır)



Şekil 4.19.
Almanya'daki 230 MW gücündeki Hagen Kabel santralinin resmi (bu santralın teknik özellikleri Tablo 4.2'de 25 nolu satırda belirtilmiştir),

4.3. Siemens Power Generation

Şekil 4.20'de Türkiye'de 1350 MW gücünde birleşik çevrimle çalışan Ambarlı Santralının resmi (3. bölümde şekil 3.11'de şematik resmi verilen kojenerasyon sisteminin güzel bir uygulamasıdır),

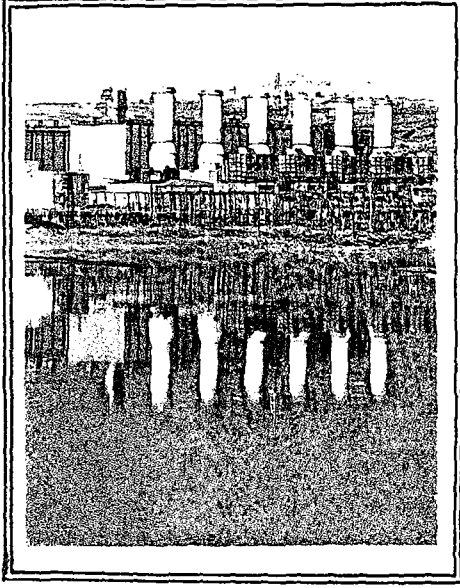
Şekil 4.21'de Almanya'daki 750 MW gücünde buhar ve gaz türbinlerinden oluşum Gersteinwerk santralının resmi (3. bölümde şekil 3.9'da şematik resmi verilen kojenerasyon sisteminin güzel bir uygulamasıdır),

Şekil 4.22'de Ambarlı Santralini oluşturan, Rusya'dan gelen doğalgaz veya ağır fuel-oil ile çalışan, V 94,2 modeli 6 adet gaz türbini ve 3 adet buhar türbini içeren birleşik çevrimli santralin resmi (3. bölümde şekil 3.6'da sistemin çalışma şekli ana elemanlarıyla şematik olarak göstermiştir),

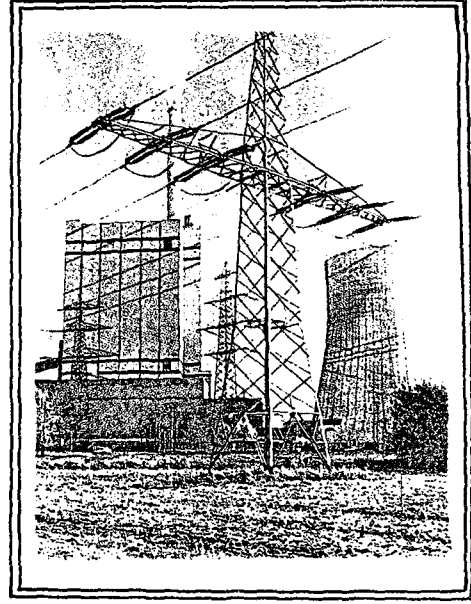
Şekil 4.23'de Katar'da V93 modeli gaz türbini -jeneratör sistemi esasına dayanılarak inşa edilmiş, deniz suyundan hergün 180,000 m içilebilir su damıtan Ras Abu Fontas güç merkezinin resmi,

Şekil 4.24'de Siemens V 64.3 model gaz türbini ve buhar türbini kullanılarak tesis edilmiş, atık ısının merkezi ısıtmada faydalandığı 70 MW gücündeki Hillerød santralının resmi (3.bölümde şekil 3.19'da sistemin çalışma şekli şematik olarak gösterilmiştir),

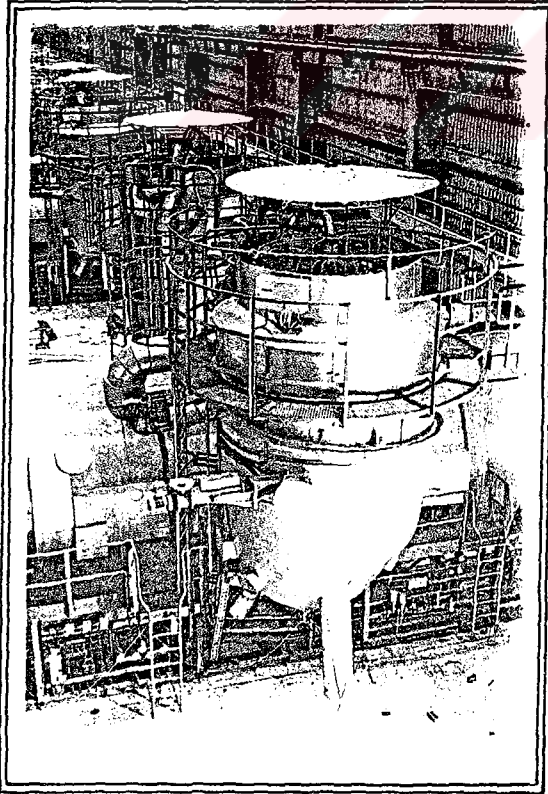
görülmektedir.



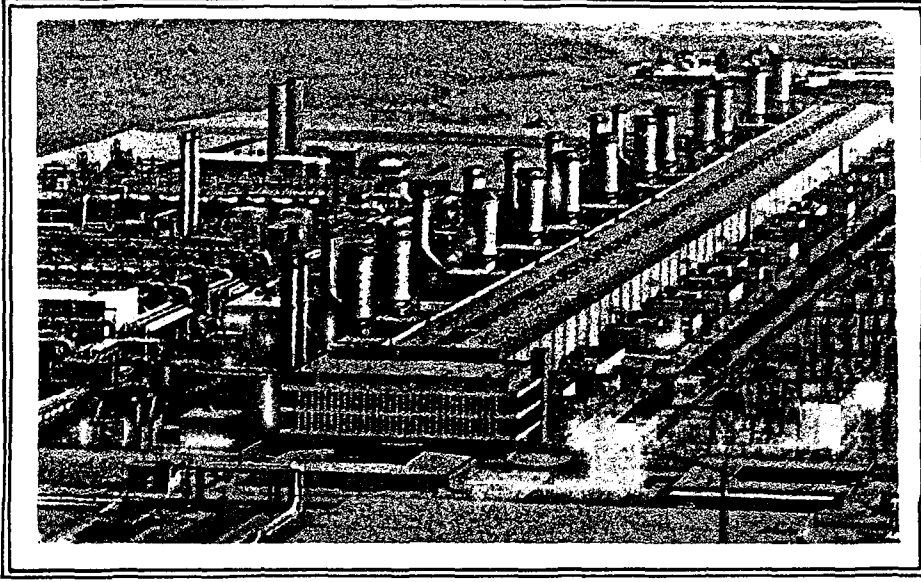
Şekil 4.20.
Türkiye'de 1350 MW gücünde
birleşik çevrimle çalışan
Ambarlı Santralinin resmi
(Bkz. Şekil 3.11.)



Şekil 4.21.
Almanya'daki 750 MW gücünde
buhar ve gaz türbinlerinden
oluşum Gersteinwerk
santralinin resmi
(Bkz. Şekil 3.9.)

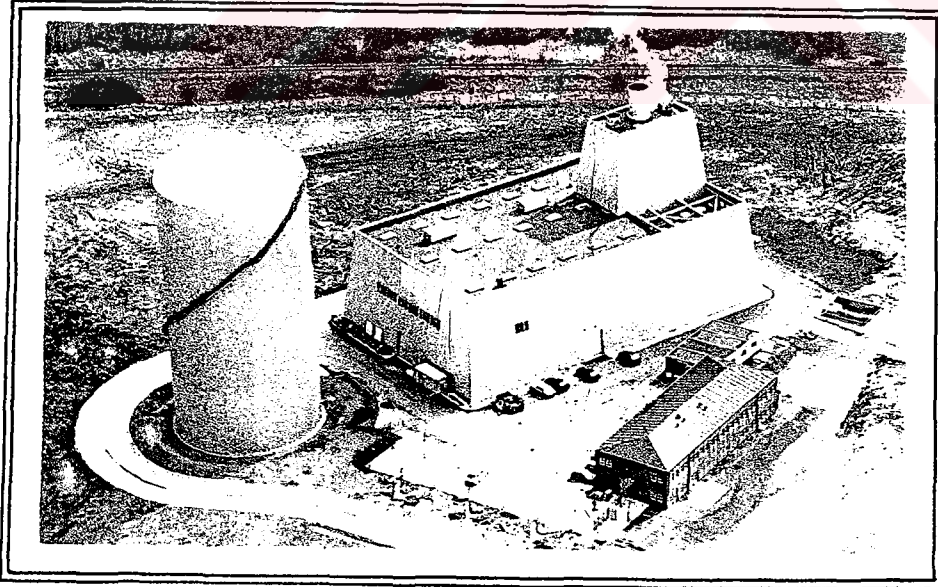


Şekil 4.22.
Ambarlı Santralini oluşturan,
Rusya'dan gelen doğalgaz veya
ağır fuel - oil ile çalışan,
V 94.2 modeli 6 adet gaz
türbini ve 3 adet buhar
türbini içeren birleşik
çevrimli santralin resmi
(Bkz. Şekil 3.6.)



Şekil 4.23.

Katar'da V93 modeli gaz türbini -jeneratör sistemi esasına dayanılarak inşa edilmiş, deniz suyundan hergün 180,000 m içilebilir su damıtan Ras Abu Fontas güç merkezinin resmi



Şekil 4.24.

Siemens V 64.3 model gaz türbini ve buhar türbini kullanılarak tesis edilmiş, atık ısının merkezi ısıtmada faydalandığı 70 MW gücündeki Hillerod santralinin resmi (Bkz. Şekil 3.19)

4.4. Caterpillar (Solar Turbines Company)

Şekil 4.25'de Tablo 4.4'de teknik özellikleri verilen G3612 TA modeli gaz motorunun resmi,

Tablo 4.4'de CAT şirketinin imal ettiği gaz motorları ve teknik özellikleri,

Şekil 4.26'de Tablo 4.5'de teknik özellikleri verilen 3516 TA modeli jeneratörün resmi,

Tablo 4.5'de CAT şirketinin imal ettiği kojenerasyon sistemlerinin temel elemanlarından jeneratör tiplerinin teknik özellikleri,

EkII CAT firmasının imal ettiği jeneratör setiyle ilgili

Şekil E.1'de 3600 modeli jeneratör setinin resmi,

Tablo E.2'de 3600 modeli jeneratör setinin teknik özellikleri,

Şekil E.2'de 3600 modeli jeneratörün önden görünüşü

Şekil E.3'de 3600 modeli jeneratörün sağdan görünüşü,

Şekil E.4'de 3600 modeli jeneratörün arkadan görünüşü,

Şekil E.5'de 3600 modeli jeneratörün üstten görünüşü,

Şekil 4.27'de Tablo 4.6'da teknik özellikleri verilen G3516 modeli gaz motoru jeneratörünün resmi,

Tablo 4.6'da CAT şirketinin imal ettiği gaz motoru ve jeneratörlerinden oluşan gaz jeneratörü kojenerasyon paket sistemlerinin teknik özellikleri,

Ek III Doğalgaz yanmalı birleşik güç santrallerinin kapasiteleriyle ilgili,

Tablo E.3'de Borusan Makina Bigs / Caterpillar

3400 serisi gaz motorları,

Tablo E.4'de Borusan Makina Bigs / Caterpillar

3500 serisi gaz motorları,

Tablo E.5'de Borusan Makina Bigs / Caterpillar

3600 serisi gaz motorları,

Şekil 4.28'de Five Centaur 50 modeli gaz türbini,

Şekil 4.29'da Endonezya'da Five Centaur 50 modeli gaz türbinleri ile oluşturulmuş güç ünitesi,

Şekil 4.30'da Saturn modeli gaz türbini,

Şekil 4.31'de A.B.D.'nin Massachusetts eyaletindeki Saturn 20 modeli gaz türbinlerinden oluşan Nantucket santrali,

Şekil 4.32'de Mars 90 modeli gaz türbini,

Şekil 4.33'de A.B.D.'nin Chicago eyaletindeki Mars 90 modeli gaz türbininden oluşan Illinois santrali,

Şekil 4.34'de Taurus 60 modeli gaz türbini,

Şekil 4.35'de A.B.D.'nin Texas eyaletindeki Taurus 60 modeli gaz türbinlerinden oluşmuş güç santrali,

Şekil 4.36'da CAT Solar Turbines şirketinin imal ettiği Taurus 60 modeli endüstriyel gaz türbininin kesit resmi,

Ek IV CAT - Solar gaz türbinleriyle ilgili,

Şekil E.6'da Solar türbinlerinin imal edildiği San Diego'daki fabrikanın resmi,

Tablo E.6'da Solar türbinlerinin modelleri ve boyutları,

Şekil E.7'de Solar türbinlerinden Mars 90

modeliyle yapılmış kojenerasyonlu sistemin resmi,

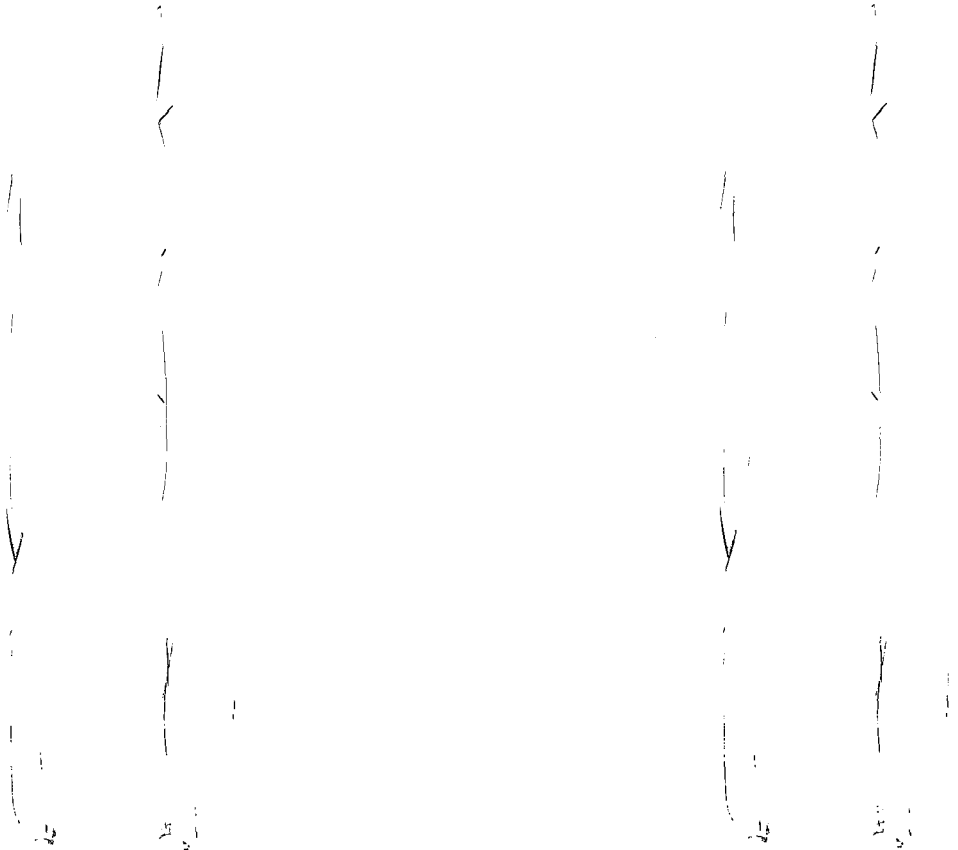
Tablo E.7'de Solar türbinlerinin modelleri ve

teknik özellikleri,

Şekil 4.37'de A.B.D.'nin Pennsylvania eyaletinde elektrik ve buhar üretimi için kullanılan 6 adet Mars 90 modeli gaz türbininin bir arada kullanıldığı bileşik çevrimli santral,

Şekil 4.38'de A.B.D.'nin California eyaleti Irvine kasabasında elektrik ve buhar üretiminde kullanılan Centaur 40 modeli gaz türbinlerinin kullanıldığı 3.5 MW'lık Kendall Mc Gaw santrali,

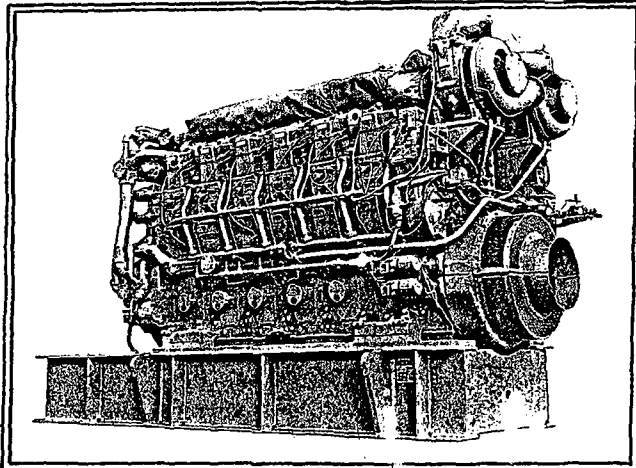
Şekil 4.39'da CAT Solar Turbines şirketinin tesis ettiği gaz türbinli kojenerasyon sistemini izah eden temsili resim,



Tablo 4.4.

CAT şirketinin imal ettiği gaz motorları ve teknik özellikleri

| Engine | 1800 rpm BHP (BkW) | 1600 rpm BHP (BkW) | 1500 rpm BHP (BkW) | 1400 rpm BHP (BkW) | 1200 rpm BHP (BkW) | 1100 rpm BHP (BkW) | 1000 rpm BHP (BkW) | 900 rpm BHP (BkW) | 800 rpm BHP (BkW) | 700 rpm BHP (BkW) | Compressi Ratio |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| G3304-NA | 85 (63) | 75 (56) | 70 (52) | 65 (48) | 55 (41) | 50 (37) | 45 (34) | 40 (30) | — | — | L |
| G3304-NA | 95 (71) | 85 (63) | 80 (60) | 75 (56) | 65 (48) | 60 (45) | 55 (41) | 50 (37) | — | — | H |
| G3306-NA | 125 (93) | 110 (82) | 105 (78) | 95 (71) | 80 (60) | 75 (56) | 70 (52) | 60 (45) | — | — | L |
| G3306-NA | 145 (108) | 130 (97) | 120 (90) | 115 (86) | 100 (75) | 90 (67) | 80 (60) | 75 (56) | — | — | H |
| G3306-TA* | 195 (145) | 175 (131) | 165 (123) | 150 (112) | 130 (97) | 120 (90) | 110 (82) | 100 (75) | — | — | L |
| G3306-TA' | 220 (164) | 195 (145) | 185 (138) | 170 (127) | 145 (108) | 135 (101) | 120 (90) | 110 (82) | — | — | H |
| G3406-NA | 215 (160) | 200 (149) | 185 (138) | 175 (131) | 150 (112) | 135 (101) | 125 (93) | 110 (82) | — | — | H |
| G3406-TA* | — | — | — | 250 (187) | 215 (160) | 195 (145) | 180 (134) | 160 (119) | — | — | H |
| G3406-TA' | — | — | — | 280 (209) | 245 (183) | 220 (164) | 205 (153) | 185 (138) | — | — | H |
| G3406-TA* | 305 (228) | 290 (216) | 270 (201) | 250 (187) | 215 (160) | 195 (145) | 165 (123) | 110 (82) | — | — | H |
| G3406-TA' | 345 (257) | 325 (242) | 305 (228) | 280 (209) | 245 (183) | 220 (164) | 190 (142) | 130 (97) | — | — | H |
| G3408-NA | 255 (190) | 235 (175) | 225 (168) | 210 (157) | 175 (131) | 160 (119) | 145 (108) | 130 (97) | — | — | H |
| G3408-TA* | — | — | — | 310 (231) | 265 (198) | 245 (183) | 225 (168) | 200 (149) | — | — | H |
| G3408-TA' | — | — | — | 350 (261) | 300 (224) | 275 (205) | 250 (187) | 225 (168) | — | — | H |
| G3408-TA* | 400 (298) | 355 (265) | 335 (250) | 310 (231) | 265 (198) | 215 (160) | 150 (112) | — | — | — | H |
| G3408-TA' | 450 (336) | 400 (298) | 375 (280) | 350 (261) | 300 (224) | 240 (179) | 175 (131) | 130 (97) | — | — | H |
| G3412-NA | 365 (272) | 340 (254) | 325 (242) | 315 (235) | 275 (205) | 255 (190) | 235 (175) | 215 (160) | — | — | H |
| G3412-TA* | — | — | — | 465 (347) | 400 (298) | 365 (272) | 335 (250) | 300 (224) | — | — | H |
| G3412-TA' | — | — | — | 525 (392) | 450 (336) | 410 (306) | 375 (280) | 335 (250) | — | — | H |
| G3412-TA* | 600 (448) | 535 (399) | 500 (373) | 465 (347) | 400 (298) | 365 (272) | 335 (250) | 290 (216) | — | — | H |
| G3412-TA' | 675 (504) | 600 (448) | 565 (421) | 525 (392) | 450 (336) | 410 (306) | 375 (280) | 325 (242) | — | — | H |
| G3406-TA* | — | — | — | 250 (187) | 215 (160) | 195 (145) | 180 (134) | 160 (119) | — | — | L |
| G3406-TA' | — | — | — | 280 (209) | 245 (183) | 220 (164) | 205 (153) | 185 (138) | — | — | L |
| G3406-TA* | 325 (242) | 290 (216) | 270 (201) | 250 (187) | 160 (119) | 90 (67) | 70 (52) | — | — | — | L |
| G3406-TA' | 365 (272) | 325 (242) | 305 (228) | 280 (209) | 200 (149) | 125 (93) | 100 (75) | — | — | — | L |
| G3408-TA* | — | — | — | 300 (224) | 260 (194) | 240 (179) | 215 (160) | 190 (142) | — | — | L |
| G3408-TA' | — | — | — | 330 (246) | 285 (213) | 265 (198) | 235 (175) | 210 (157) | — | — | L |
| G3408-TA* | 400 (298) | 355 (265) | 335 (250) | 310 (231) | 195 (145) | 110 (82) | 86 (64) | — | — | — | L |
| G3408-TA' | 450 (336) | 400 (298) | 375 (280) | 345 (257) | 245 (183) | 155 (116) | 123 (92) | — | — | — | L |
| G3412-TA* | — | — | — | 450 (336) | 385 (287) | 350 (261) | 320 (239) | 285 (213) | — | — | L |
| G3412-TA' | — | — | — | 495 (369) | 425 (317) | 385 (287) | 350 (261) | 315 (235) | — | — | L |
| G3412-TA* | 600 (448) | 535 (399) | 500 (373) | 465 (347) | 400 (298) | 165 (123) | 130 (97) | — | — | — | L |
| G3412-TA' | 675 (504) | 600 (448) | 565 (421) | 525 (392) | 450 (336) | 230 (172) | 185 (138) | — | — | — | L |
| G3508-TA* | — | — | — | 630 (470) | 540 (403) | 495 (369) | 450 (336) | 405 (302) | — | — | H/L |
| G3508-TA' | — | — | — | 670 (500) | 575 (429) | 525 (392) | 478 (357) | 430 (321) | — | — | H/L |
| G3512-TA* | — | — | — | 945 (705) | 810 (604) | 745 (556) | 675 (504) | 610 (455) | — | — | H/L |
| G3512-TA' | — | — | — | 1005 (750) | 860 (642) | 790 (589) | 720 (537) | 650 (485) | — | — | H/L |
| G3516-TA* | — | — | — | 1265 (944) | 1085 (809) | 995 (742) | 900 (671) | 810 (604) | — | — | H/L |
| G3516-TA' | — | — | — | 1340 (1000) | 1150 (858) | 1050 (783) | 955 (712) | 860 (642) | — | — | H/L |
| G3508-NA | — | — | — | — | 310 (231) | 285 (213) | 260 (194) | 230 (172) | — | — | L |
| G3508-TA* | — | — | — | — | 525 (392) | 485 (362) | 440 (328) | 395 (295) | — | — | L |
| G3508-TA' | — | — | — | — | 545 (407) | 500 (373) | 450 (336) | 410 (306) | — | — | L |
| G3512-NA | — | — | — | — | 525 (392) | 485 (362) | 440 (328) | 395 (295) | — | — | L |
| G3512-TA* | — | — | — | — | 790 (589) | 725 (541) | 660 (492) | 595 (444) | — | — | L |
| G3512-TA' | — | — | — | — | 815 (608) | 745 (556) | 675 (504) | 610 (455) | — | — | L |
| G3516-NA | — | — | — | — | 660 (492) | 625 (466) | 585 (436) | 525 (392) | — | — | L |
| G3516-TA* | — | — | — | — | 1050 (783) | 965 (720) | 875 (653) | 790 (589) | — | — | L |
| G3516-TA' | — | — | — | — | 1085 (809) | 995 (742) | 905 (675) | 815 (608) | — | — | L |
| G3606-TA* | — | — | — | — | — | — | 1665 (1242) | 1500 (1119) | 1330 (992) | 1165 (869) | H |
| G3606-TA' | — | — | — | — | — | — | 1765 (1317) | 1590 (1186) | 1410 (1052) | 1235 (921) | H |
| G3608-TA* | — | — | — | — | — | — | 2225 (1660) | 2000 (1492) | 1775 (1324) | 1555 (1160) | H |
| G3608-TA' | — | — | — | — | — | — | 2350 (1753) | 2120 (1582) | 1880 (1402) | 1645 (1227) | H |
| G3612-TA* | — | — | — | — | — | — | 3335 (2488) | 3000 (2238) | 2665 (1988) | 2335 (1742) | H |
| G3612-TA' | — | — | — | — | — | — | 3530 (2633) | 3180 (2372) | 2825 (2107) | 2470 (1843) | H |
| G3616-TA* | — | — | — | — | — | — | 4450 (3320) | 4000 (2984) | 3555 (2652) | 3110 (2320) | H |
| G3616-TA' | — | — | — | — | — | — | 4700 (3506) | 4240 (3163) | 3765 (2809) | 3295 (2458) | H |



Şekil 4.25.

Yukarıdaki tabloda teknik özellikleri verilen G3612 TA modeli gaz motorunun resmi

Tablo 4.5.

CAT şirketinin imal ettiği kojenerasyon sistemlerinin temel elemanlarından jeneratör tiplerinin teknik özellikleri

| Gen Set Model | 1500 rpm With Fan | |
|---------------|-------------------|------------|
| | Standby kV•A | Prime kV•A |
| 3304 T | 125 | 112 |
| 3208 T | 175 | 150 |
| 3208 ATAAC | 200 | — |
| 3306 TA | — | 225 |
| 3306 ATAAC | 275 | 244 |
| 3406 TA | 350 | 320 |
| 3406 TA | 400 | 365 |
| 3408 TA | — | 365 |
| 3412 T | 500 | 455 |
| 3412 TT | 550 | 500 |
| 3412 TA | 650 | 590 |
| 3508 TA | 700 | 635 |
| 3508 TA | 775 | 700 |
| 3508 TA | 800 | 725 |
| 3508 TA | 900 | — |
| 3508 TA | 1000 | 910 |
| 3512 TA | 1100 | 1000 |
| 3512 TA | 1250 | 1150 |
| 3512 TA | 1400 | 1275 |
| 3516 TA | 1500 | 1360 |
| 3516 TA | 1600 | 1500 |
| 3516 TA | 1750 | 1600 |
| 3516 TA | 2000 | 1825 |
| 3516 TA | 2250 | — |
| | 1000 rpm | |
| 3406 TA | — | 188 |
| 3408 TA | — | 256 |
| 3412 TA | — | 350 |
| 3508 TA | 525 | 500 |
| 3508 TA | 550 | 500 |
| 3512 TA | 612 | 750 |
| 3512 TA | 950 | 856 |
| 3516 TA | 950 | 875 |
| 3516 TA | 1300 | 1169 |

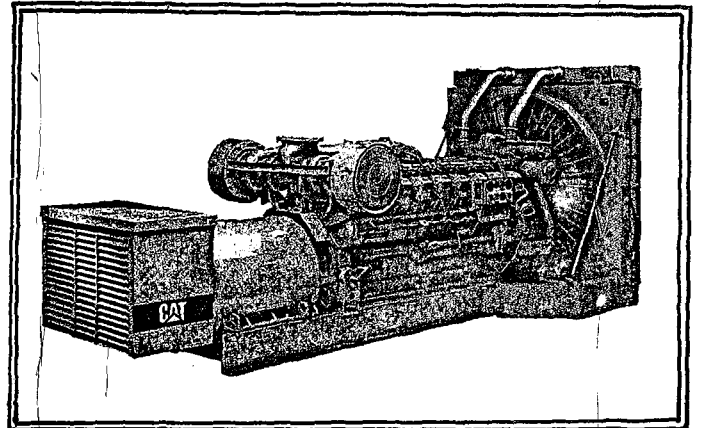
| Gen Set Model | 1800 rpm With Fan | |
|---------------|-------------------|-----------|
| | Standby ekW | Prime ekW |
| 3304 T | 125 | 113 |
| 3208 T | 175 | 160 |
| 3208 ATAAC | 200 | — |
| 3306 TA | — | 205 |
| 3306 ATAAC | 250 | 225 |
| 3406 TA | 300 | 275 |
| 3406 TA | 350 | 320 |
| 3406 TA | 400 | 365 |
| 3408 TA | — | 365 |
| 3412 T | 500 | 455 |
| 3412 TA | 600 | 545 |
| 3508 TA | 700 | 650 |
| 3508 TA | 750 | 680 |
| 3508 TA | 800 | 725 |
| 3508 TA | 900 | 820 |
| 3512 TA | 1000 | 910 |
| 3512 TA | 1100 | 1000 |
| 3512 TA | 1250 | 1135 |
| 3516 TA | 1400 | 1275 |
| 3516 TA | 1500 | 1360 |
| 3516 TA | 1750 | 1600 |
| 3516 TA | 2000 | — |
| | 1200 rpm | |
| 3406 TA | — | 170 |
| 3408 TA | — | 225 |
| 3412 TA | — | 325 |
| 3508 TA | 465 | 425 |
| 3508 TA | 615 | 550 |
| 3512 TA | 700 | 650 |
| 3512 TA | 925 | 830 |
| 3516 TA | 975 | 900 |
| 3516 TA | 1250 | 1100 |

| Gen Set Engine Only | 1000 rpm Without Fan | | |
|---------------------|----------------------|------------|-------|
| | Standby | Continuous | Prime |
| 3606 TA | 2690 | 2200 | 2425 |
| 3608 TA | 3575 | 2940 | 3250 |
| 3612 TA | 5375 | 4400 | 4850 |
| 3616 TA | 7150 | 5875 | 6500 |
| | 750 rpm | | |
| 3606 TA | 2160 | 1775 | 1960 |
| 3608 TA | 2860 | 2365 | 2600 |
| 3612 TA | 4325 | 3550 | 3925 |
| 3616 TA | 5725 | 4725 | 5200 |

| Gen Set Engine Only | 900 rpm Without Fan | | |
|---------------------|---------------------|------------|-------|
| | Standby | Continuous | Prime |
| 3606 TA | 2000 | 1650 | 1820 |
| 3608 TA | 2660 | 2200 | 2420 |
| 3612 TA | 4000 | 3300 | 3640 |
| 3616 TA | 5320 | 4400 | 4840 |
| | 720 rpm | | |
| 3606 TA | 1680 | 1375 | 1525 |
| 3608 TA | 2220 | 1830 | 2020 |
| 3612 TA | 3360 | 2750 | 3050 |
| 3616 TA | 4440 | 3660 | 4040 |

T : Turboşarjlı
 TA: Turboşarjlı soğutma
 TT: İkiz turboşarjlı

Şekil 4.26.
 Yukardaki tabloda teknik özellikleri verilen 3516 TA modeli jeneratörün resmi

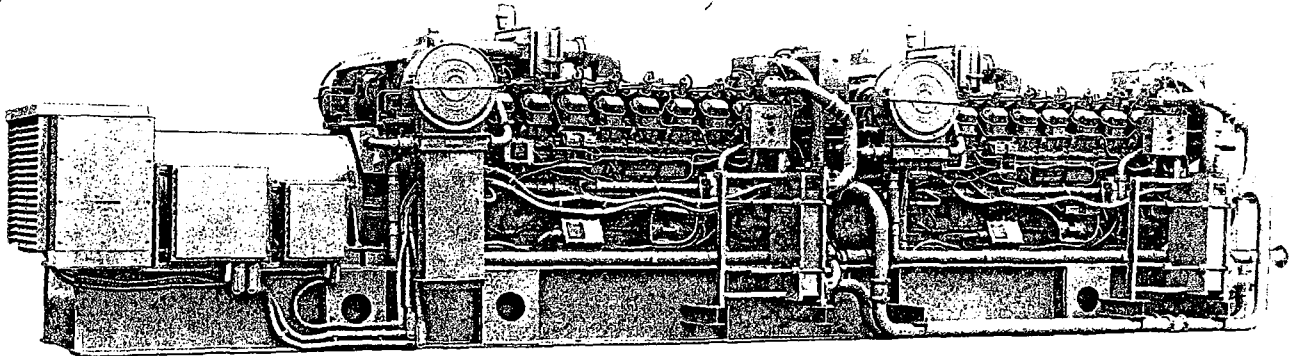


Tablo 4.6.

CAT şirketinin imal ettiği gaz motoru ve jeneratörlerinden oluşan gaz jeneratörü kojenerasyon paket sistemlerinin teknik özellikleri

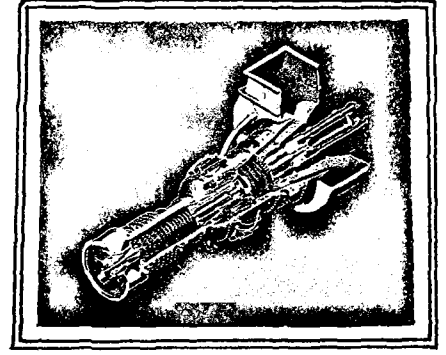
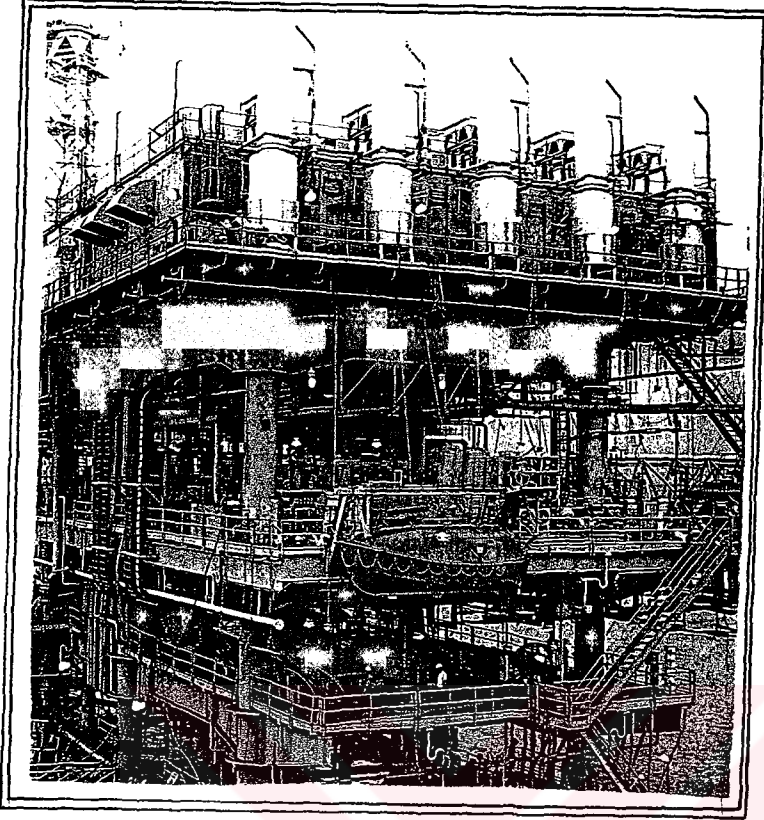
| Gen Set Model | 1500 rpm | | Compression Ratio | Gen Set Model | 1000 rpm | | Compression Ratio |
|-------------------------|-------------|-----------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| | Without Fan | | | | 1200 rpm | | |
| | 50 Hz ekW | 60 Hz ekW | | | 50 Hz ekW | 60 Hz ekW | |
| G3304-NA | 45 | 55 | L | G3508-NA | 170 | 210 | L |
| G3304-NA | 55 | 65 | H | G3508-TA ² | — | 365 | L |
| G3306-NA | 70 | 85 | L | G3508-TA ¹ | — | 375 | L |
| G3306-NA | 85 | 100 | H | G3508-TA ^{2,4} | — | 375 | H |
| G3306-TA ² | 110 | 135 | L | G3508-TA ^{1,4} | — | 395 | H |
| G3306-TA ¹ | 125 | 150 | H | G3512-NA | 300 | 365 | L |
| G3406-NA | 125 | 150 | H | G3512-TA ³ | 430 | — | L |
| G3406-TA ² | 185 | 210 | H | G3512-TA ² | 460 | 555 | L |
| G3406-TA ¹ | 210 | 240 | H | G3512-TA ¹ | 475 | 570 | L |
| G3406-TA ³ | 185 | — | L | G3512-TA ^{3,4} | 445 | — | H |
| G3406-TA ² | 195 | 225 | L | G3512-TA ^{2,4} | 475 | 570 | H |
| G3406-TA ¹ | 210 | 250 | L | G3512-TA ^{1,4} | 500 | 600 | H |
| G3408-NA | 155 | 175 | H | G3516-NA | 395 | 465 | L |
| G3408-TA ² | 225 | 270 | H | G3516-TA ³ | 580 | — | L |
| G3408-TA ¹ | 255 | 310 | H | G3516-TA ² | 620 | 750 | L |
| G3408-TA ³ | 225 | — | L | G3516-TA ¹ | 635 | 770 | L |
| G3408-TA ² | 240 | 270 | L | G3516-TA ^{3,4} | 600 | — | H |
| G3408-TA ¹ | 255 | 310 | L | G3516-TA ^{2,4} | 635 | 770 | H |
| G3412-NA | 220 | 250 | H | G3516-TA ^{1,4} | 675 | 820 | H |
| G3412-TA ² | 345 | 420 | H | | | | |
| G3412-TA ¹ | 390 | 475 | H | | | | |
| G3412-TA ³ | 345 | — | L | | | | |
| G3412-TA ² | 370 | 420 | L | | | | |
| G3412-TA ¹ | 390 | 475 | L | | | | |
| G3508-NA ⁴ | 240 | — | L | | | | |
| G3508-TA ^{3,4} | 450 | — | H | | | | |
| G3508-TA ^{2,4} | 475 | — | H | | | | |
| G3508-TA ^{1,4} | 505 | — | H | | | | |
| G3512-NA ⁴ | 435 | — | L | | | | |
| G3512-TA ^{3,4} | 675 | — | H | | | | |
| G3512-TA ^{2,4} | 720 | — | H | | | | |
| G3512-TA ^{1,4} | 760 | — | H | | | | |
| G3516-NA ⁴ | 555 | — | L | | | | |
| G3516-TA ^{3,4} | 910 | — | H | | | | |
| G3516-TA ^{2,4} | 965 | — | H | | | | |
| G3516-TA ^{1,4} | 1020 | — | H | | | | |

| Gen Set Engine Only | 1000 rpm | | Compression Ratio |
|-------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| | 900 rpm | | |
| | 50 Hz ekW | 60 Hz ekW | |
| G3606-TA ^{3,4} | 1125 | — | L |
| G3606-TA ^{2,4} | 1195 | 1075 | L |
| G3606-TA ^{1,4} | 1265 | 1135 | L |
| G3608-TA ^{3,4} | 1495 | — | L |
| G3608-TA ^{2,4} | 1590 | 1430 | L |
| G3608-TA ^{1,4} | 1685 | 1515 | L |
| G3612-TA ^{3,4} | 2260 | — | L |
| G3612-TA ^{2,4} | 2400 | 2160 | L |
| G3612-TA ^{1,4} | 2540 | 2285 | L |
| G3616-TA ^{3,4} | 3010 | — | L |
| G3616-TA ^{2,4} | 3195 | 2880 | L |
| G3616-TA ^{1,4} | 3385 | 3050 | L |



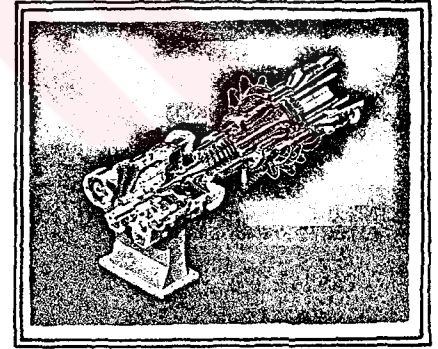
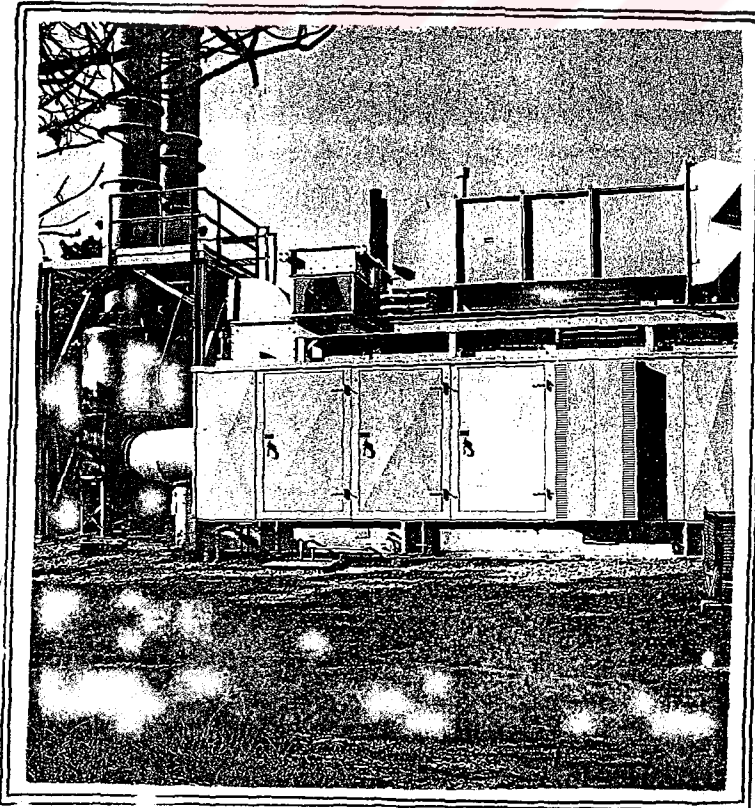
Şekil 4.27.

Yukarıdaki tabloda teknik özellikleri verilen G3516 modeli gaz motoru jeneratörünün resmi



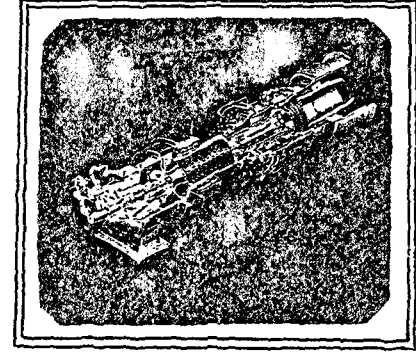
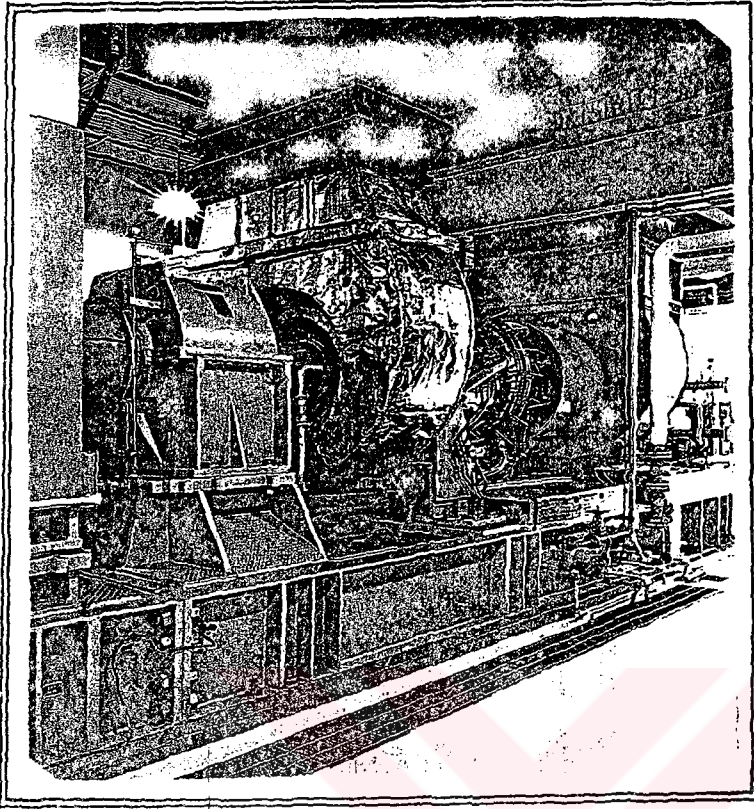
Şekil 4.28.
Five Centaur 50
modeli gaz türbini

Şekil 4.29.
Endonezya'da Five
Centaur 50 modeli
gaz türbinleri ile
oluşturulmuş güç
ünitesi



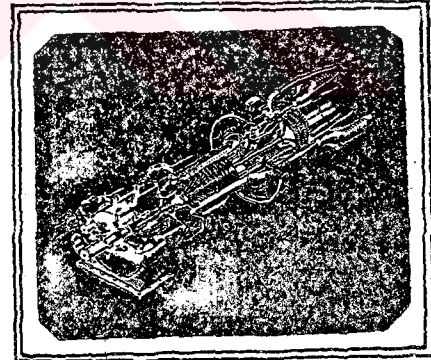
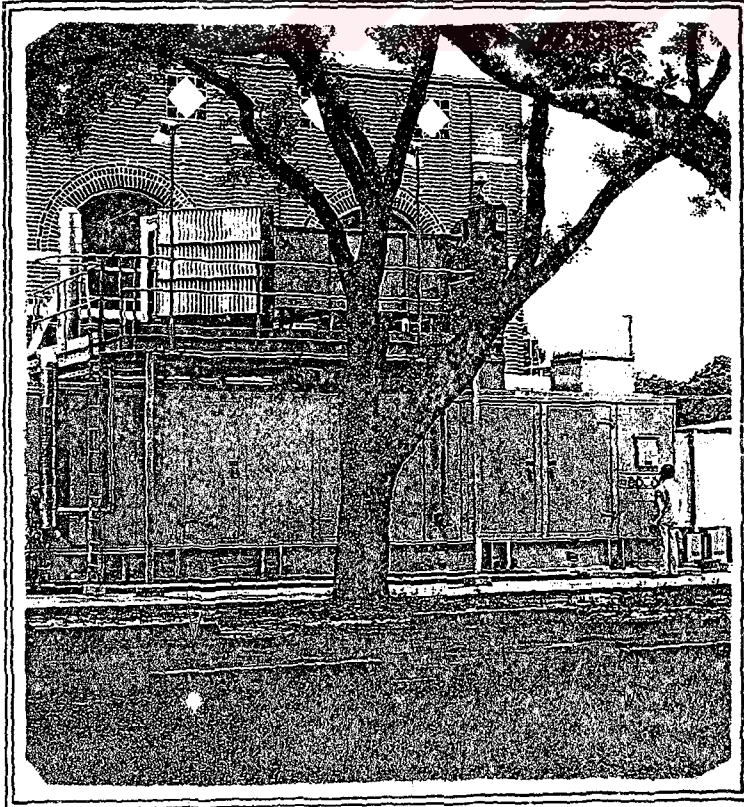
Şekil 4.30.
Saturn modeli gaz
türbini

Şekil 4.31.
A.B.D.'nin
Massachusetts
eyaletindeki Saturn
20 modeli gaz
türbinlerinden
oluşan Nantucket
santrali



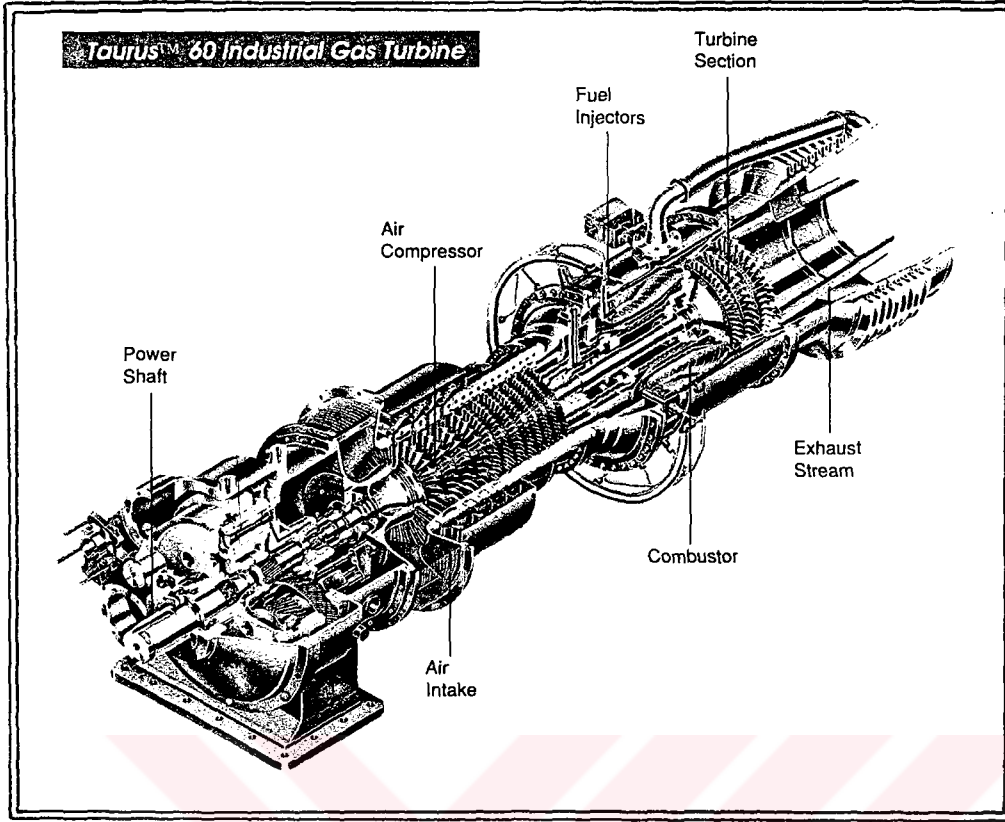
Şekil 4.32.
Mars 90 modeli gaz
türbini

Şekil 4.33.
A.B.D.'nin Chicago
eyaletindeki Mars 90
modeli gaz türbininden
oluşan Illinois santrali



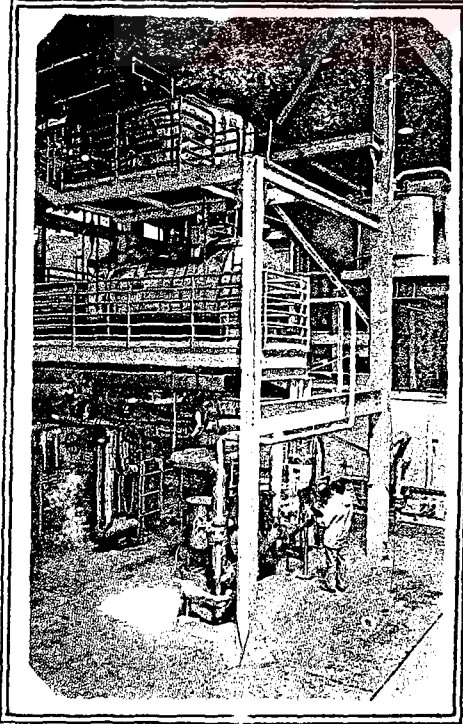
Şekil 4.34.
Taurus 60 modeli gaz
türbini

Şekil 4.35.
A.B.D.'nin Texas
eyaletindeki Taurus 60
modeli gaz türbinlerinden
oluşmuş güç santrali



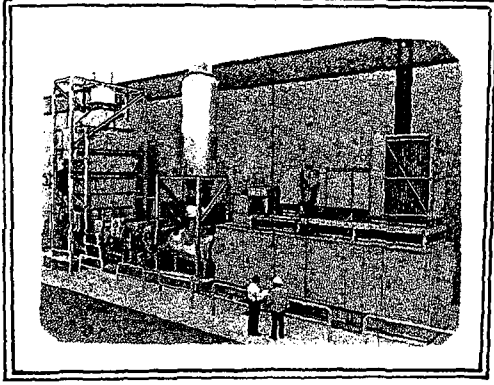
Şekil 4.36.

CAT Solar Turbines şirketinin imal ettiği Taurus 60 modeli endüstriyel gaz türbininin kesit resmi

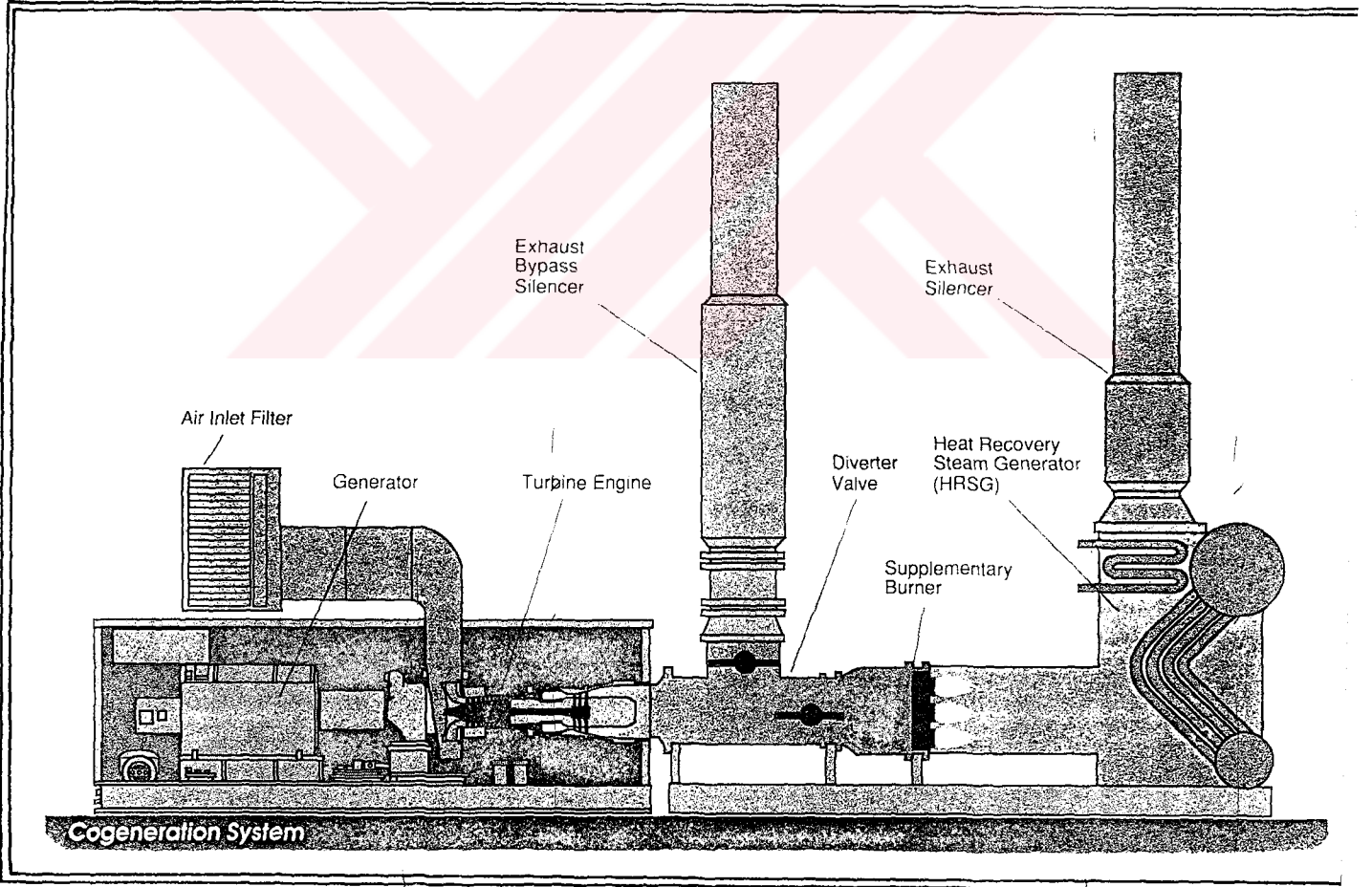


Şekil 4.37.

A.B.D.'nin Pennsylvania eyaletinde elektrik ve buhar üretimi için faydalanılan 6 adet Mars 90 modeli gaz türbininin bir arada kullanıldığı bileşik çevrimli santral



Şekil 4.38.
A.B.D.'nin California eyaleti Irvine kasabasında elektrik ve buhar üretiminde kullanılan Centaur 40 modeli gaz türbinlerinin kullanıldığı 3.5 MW'lık Kendall Mc Gaw santrali



Şekil 4.39.
CAT Solar Turbines şirketinin tesis ettiği gaz türbinli kojenerasyon sistemini izah eden temsili resim

4.5. Waukesha - Dresser (Rama Enerji Serv. Ltd. Şti.)

Şekil 4.40'da Waukesha - Dresser şirketinin dizel motor kojenerasyon sistemiyle ilgili yaptığı çalışmayı ifade eden şematik resim (bu konuyla ilgili detaylı açıklama 3.3.1' de yapılmıştır),

Şekil 4.41'de A.B.D.'nin California eyaletinde Windowmaster şirketinin enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan 7100G tipi 1500 KW'lık dizel motor kojenerasyonu uygulanmasının resmi,

Şekil 4.42'de A.B.D.'nin Utah eyaletinde Central Valley Sewage Treatment'nin enerji ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılan 9500 G tipi 2400 KW'lık dizel motor kojenerasyonu uygulamasının resmi,

Şekil 4.43'de şekil 4.42'de bahsi geçen uygulamanın değişik açıdan çekilmiş resmi,

Şekil 4.44'de şekil 4.42'de bahsi geçen uygulamanın kontrol odası,

4.6. Kamata Engineering Co. Ltd. and Sumitomo Co. Ltd.

Şekil 4.45'de Kamata-Sumitomo şirketinin imal ettiği KM - 6-S modeli kojenerasyon , paket enerji sistemi ve özellikleri,

Şekil 4.46'da Kamata-Sumitomo şirketinin imal ettiği KM - 6-W modeli kojenerasyonlu paket enerji sistemi ve özellikleri,

Şekil 4.47'de Kamata-Sumitomo şirketinin imal ettiği KM-10 modeli kojenerasyonlu paket enerji sistemi ve özellikleri,

4.7. Ulstein Bergen As

Şekil 4.48'de Ulstein şirketinin imal ettiği Danimarka'da Langa kasabasının 2,6 MW elektrik enerjisi ve 3,6 MW merkezi ısıtma kapasitesine sahip ağır fuel-oil kullanan K tipi dizel motorlu kojenerasyon uygulaması,

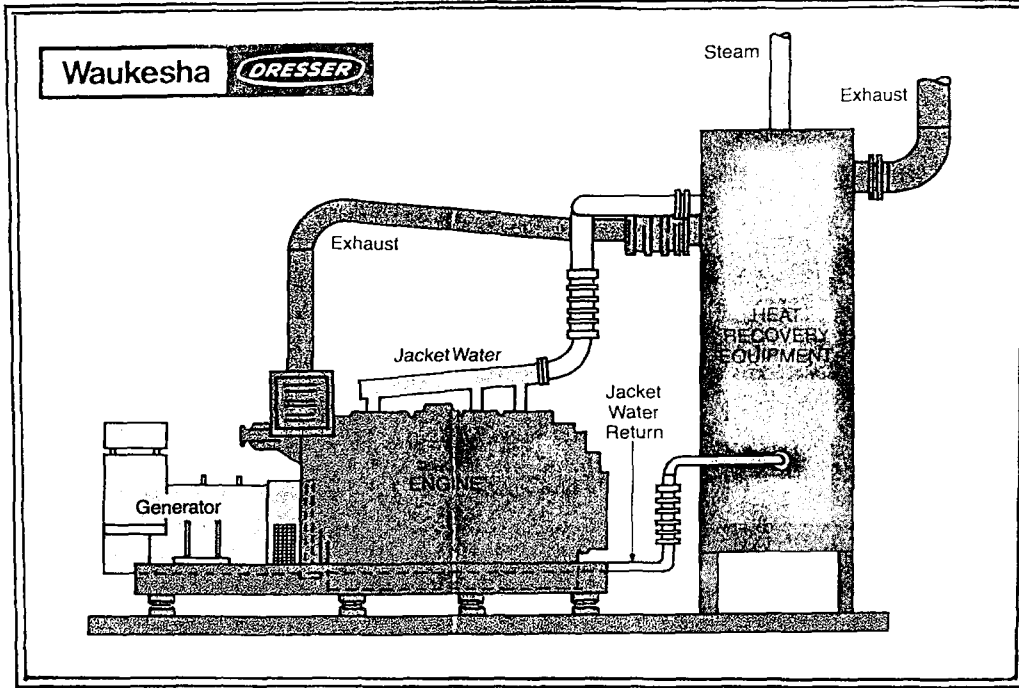
4.8. United Technologies Turbo Power

Şekil 4.49'da United Technologies şirketinin imal ettiği FT 8 modeli endüstriyel gaz türbininin resmi,

Şekil 4.50'de şekil 4.49'da bahsi geçen FT 8 endüstriyel gaz türbininin şematik resmi,

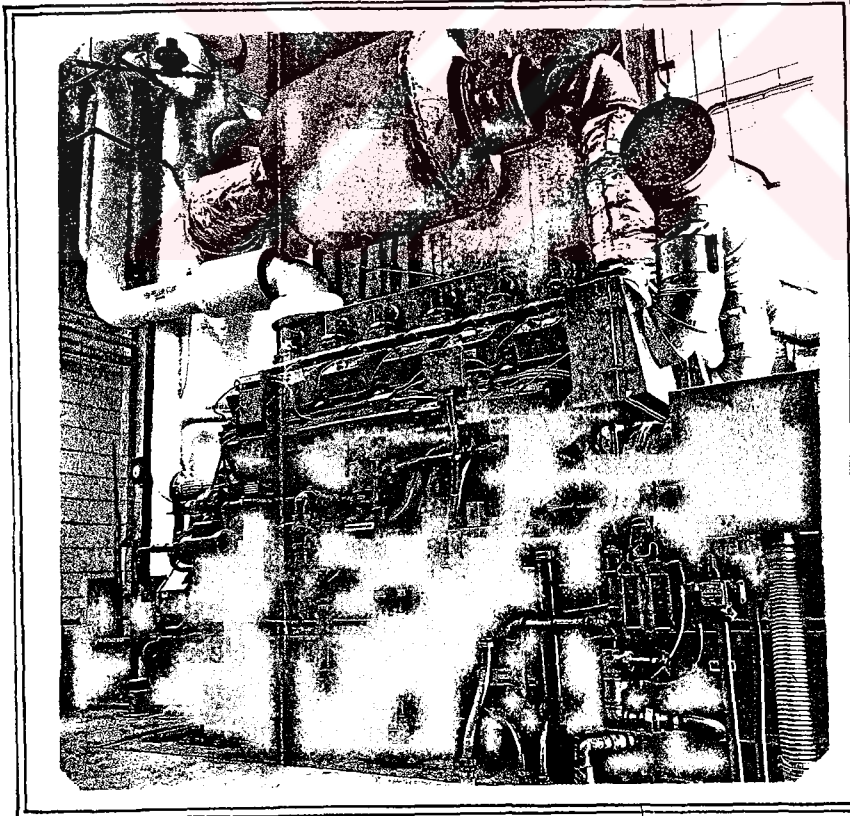
Şekil 4.51'de A.B.D.'nin East Hartford kasabasında FT 8 endüstriyel gaz türbini kullanılarak tesis edilmiş 27 MW gücündeki birleşik çevirimli tesisin resmi,

Şekil 4.52'de şekil 4.51'de bahsi geçen tesisin akış diyagramının resmi görülmektedir.



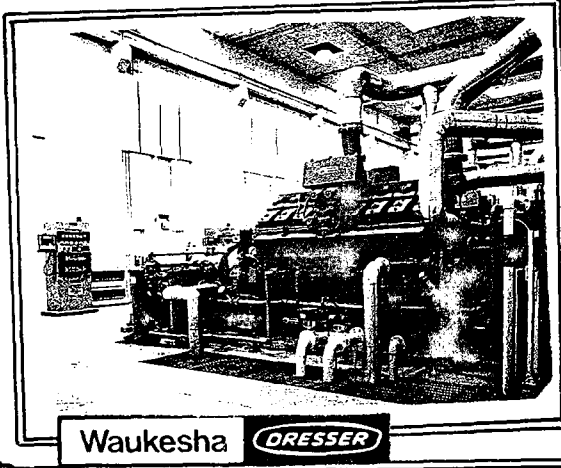
Şekil 4.40.

Waukesha - Dresser şirketinin dizel motor kojenerasyon sistemiyle ilgili yaptığı çalışmayı ifade eden şematik resim

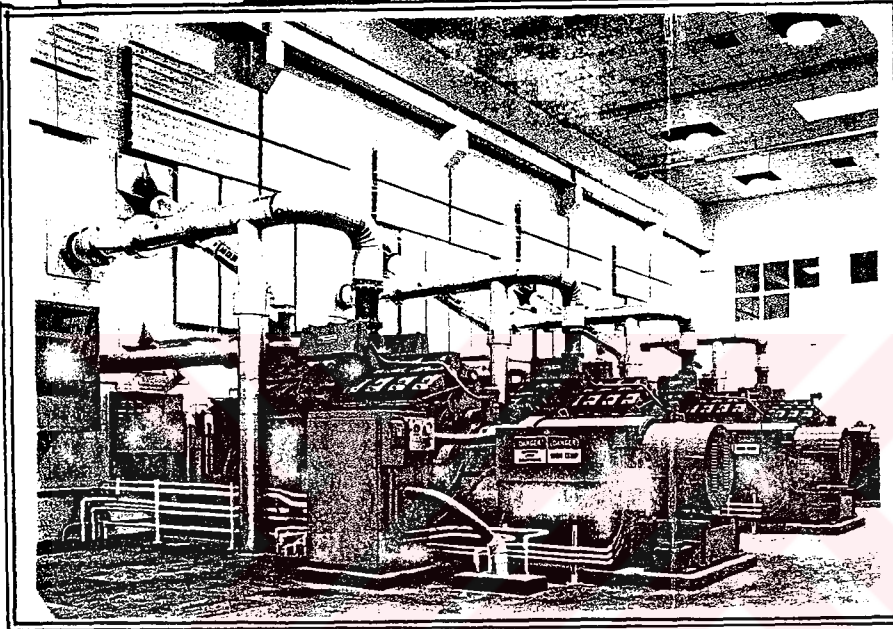


Şekil 4.41.

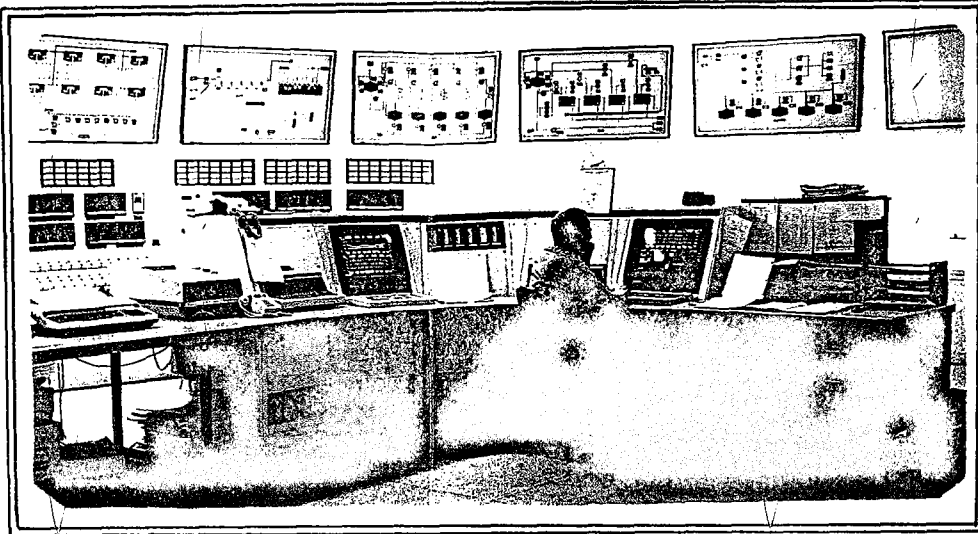
A.B.D.'nin California eyaletinde Windowmaster şirketinin enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan 7100G tipi 1500 KW'lık dizel motor kojenerasyonu uygulanmasının resmi



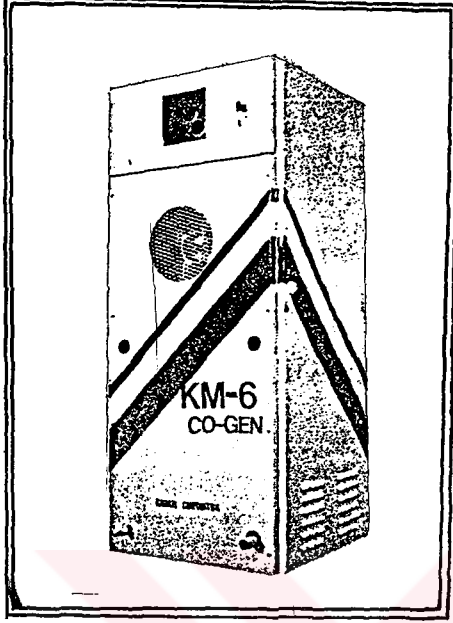
Şekil 4.42.
A.B.D.'nin Utah eyaletinde
Central Valley Sewage
Treatment'nin enerji ve sıcak
su ihtiyacını karşılamak için
kullanılan 9500 G tipi 2400
KW'lık dizel motor
kojenerasyonu uygulamasının
resmi



Şekil 4.43.
Yukarıdaki bahsi geçen uygulamanın değişik açıdan çekilmiş
resmi



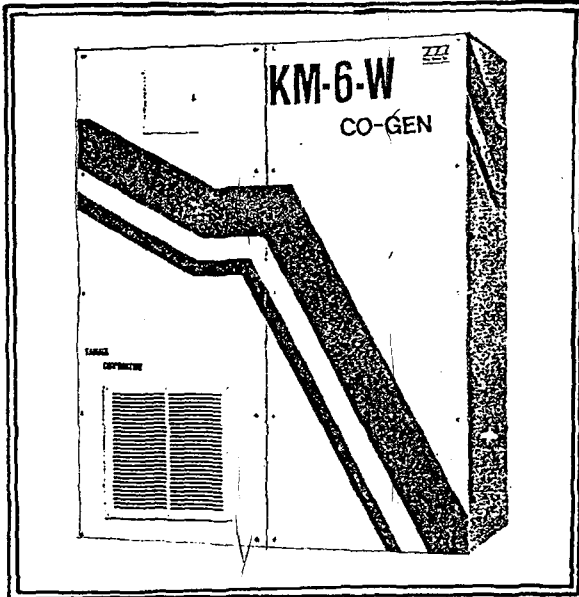
Şekil 4.44.
Yukarıdaki bahsi geçen uygulamanın kontrol odası



Şekil 4.45.
Kamata - Sumitomo şirketinin
İmal ettiği KM 6 - S modeli
kojenerasyon paket enerji
sistemi

Özellikleri:

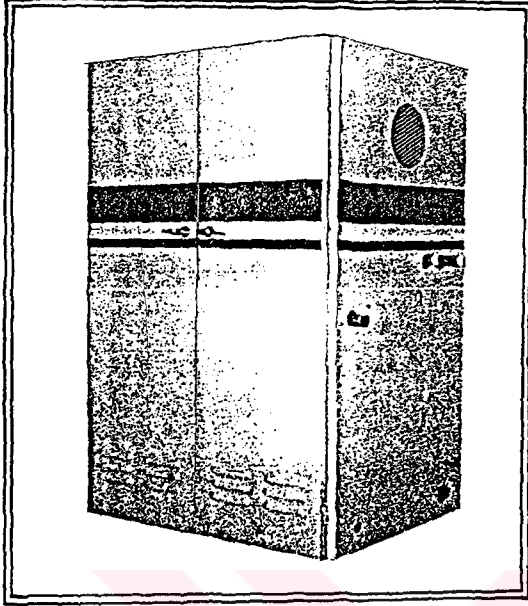
| | |
|-----------------|-------------|
| Kullanılan akım | 60 - 70 A |
| Elk. Çıkış Gücü | 6 - 7 KWe |
| Isı Çıkış Gücü | 10320Kcal/h |



Şekil 4.46.
Kamata-Sumitomo şirketinin
imal ettiği KM-6-W modeli
kojenerasyonlu paket enerji
sistemi
(Sıcak su tank depolu)

Özellikleri:

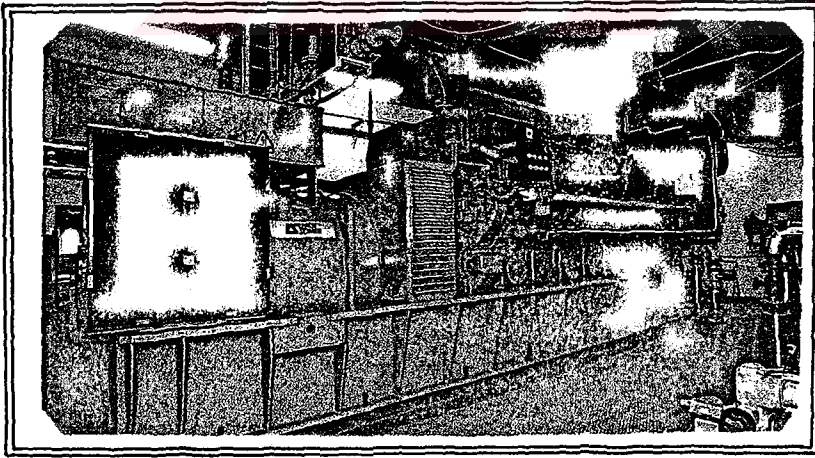
| | |
|-----------------|-------------|
| Kullanılan akım | 60 - 70 A |
| Elk. Çıkış Gücü | 6 - 7 KWe |
| Isı Çıkış Gücü | 10320Kcal/h |



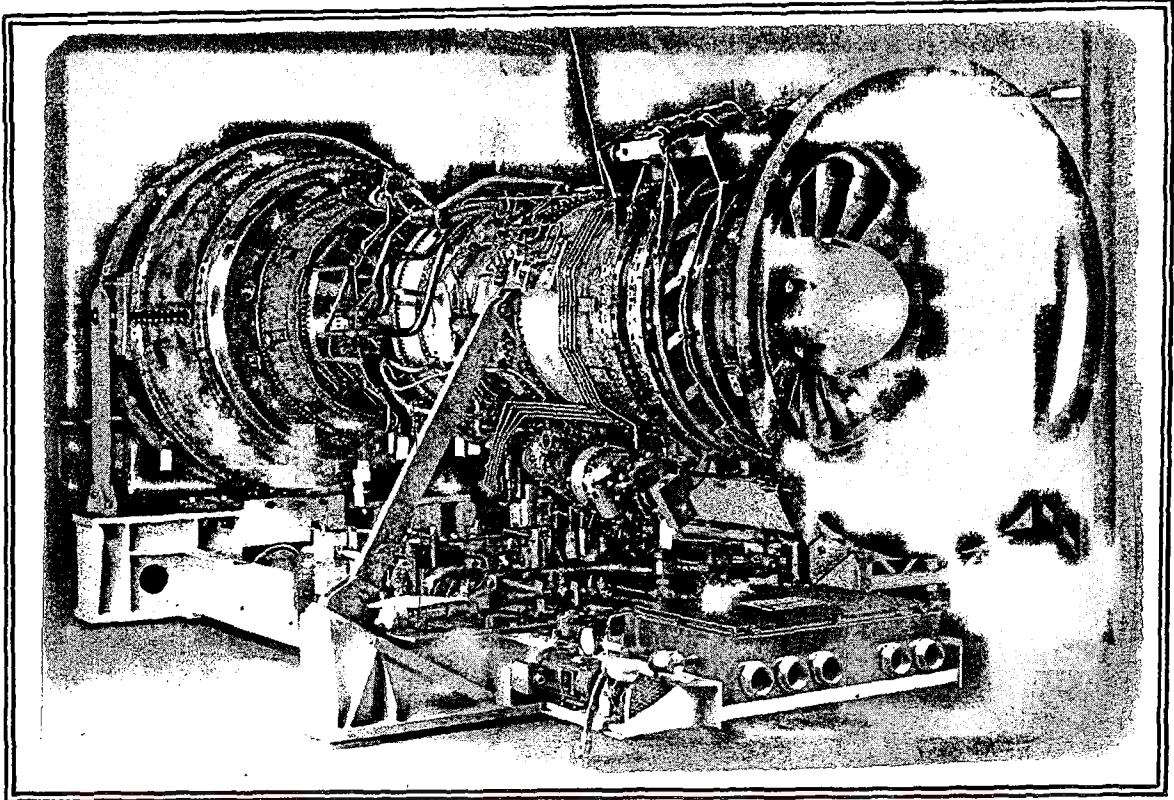
Şekil 4.47.
Kamata - Sumitomo şirketinin
imal ettiği KM-10 modeli
kojenerasyonlu paket enerji
sistemi ve özellikleri

Özellikleri:

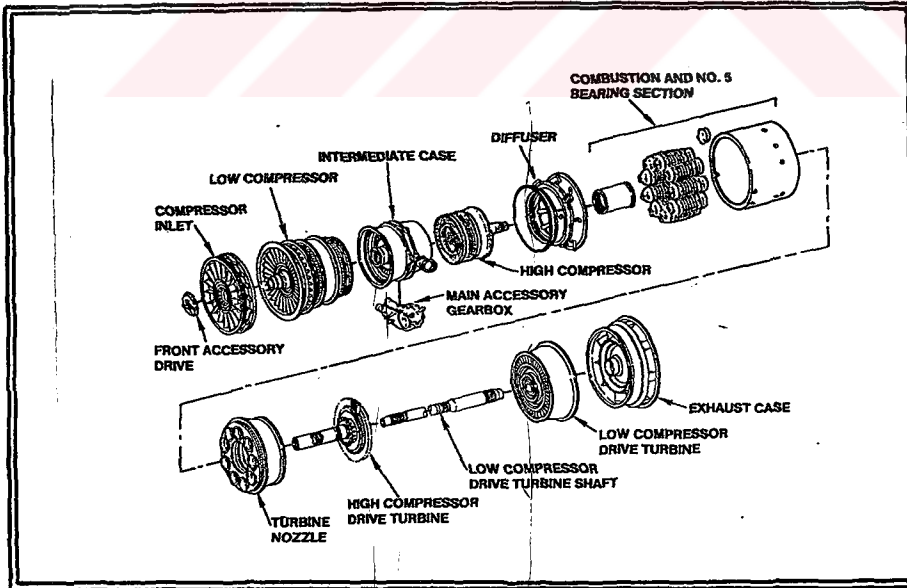
| | |
|-----------------|-------------|
| Kullanılan akım | 120 -140 A |
| Elk. Çıkış Gücü | 12 -14 KWe |
| Isı Çıkış Gücü | 22500Kcal/h |



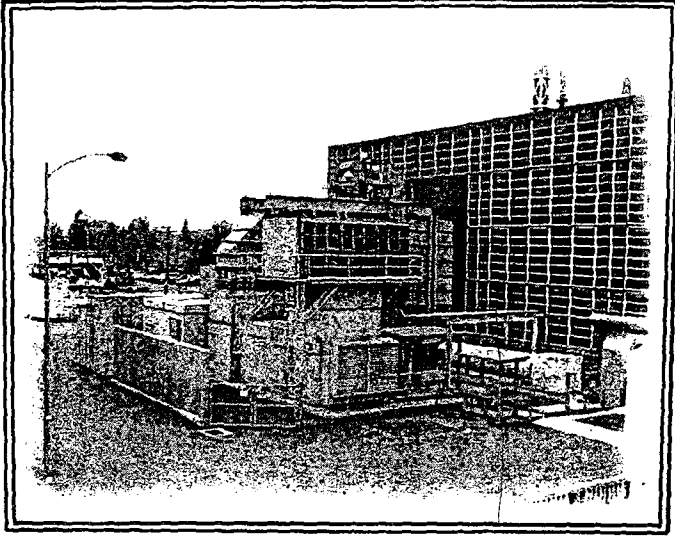
Şekil 4.48.
Ulstein şirketinin imal ettiği Danimarka'da Langa kasabasının
2,6 MW elektrik enerjisi ve 3,6 MW merkezi ısıtma
kapasitesine sahip ağır fuel-oil kullanan K tipi dizel
motorlu kojenerasyon uygulaması



Şekil 4.49.
United Technologies şirketinin imal ettiği FT 8 modeli
endüstriyel gaz türbininin resmi

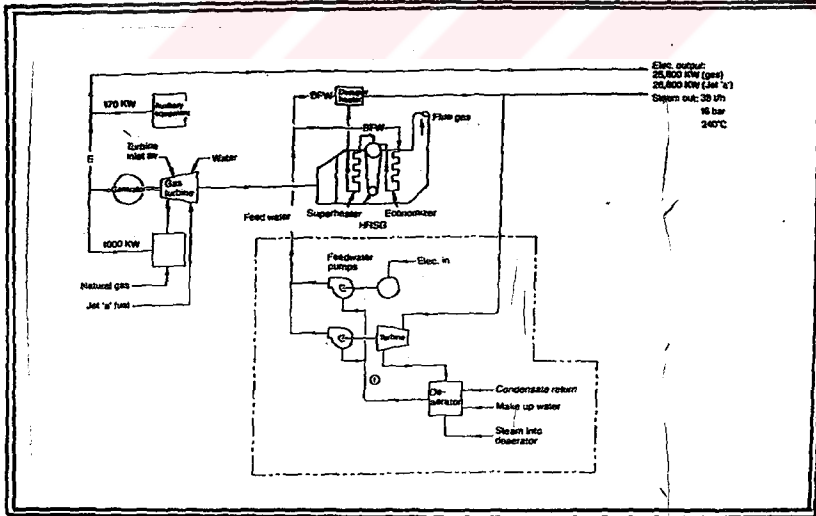


Şekil 4.50.
Yukarıda bahsi geçen FT 8 endüstriyel gaz türbininin şematik
resmi



Şekil 4.51.

A.B.D.'nin East Hartford kasabasında FT 8 endüstriyel gaz türbini kullanılarak tesis edilmiş 27 MW gücündeki birleşik çevirimli tesisin resmi



Şekil 4.52.

Yukarıdaki bahsi geçen tesisin akış diyagramının resmi

5. ISIL GÜÇ SANTRALLARI ÇEVİRİM YAPISI VE ANALİZİ

5.1. Isıl Güç Çevrim Yapısı ve Termodinamik Esasları

Birincil enerji türleri, enerji dönüşüm sistemleri ile doğrudan kullanılabilen ikincil enerji biçimlerine dönüştürülmektedir.

Isıl güç santrallarında birincil enerji (fosil yakıtlar, nükleer yakıtlar) ilk aşamada belli süreçlerle (yanma, nükleer tepkime) ısıya dönüştürülmekte, oluşan ısı iş akışkanına (buhar, yanma gazları, diğer akışkanlar) aktarılmakta, iş akışkanı türbinlerden geçirilerek ısının bir bölümü türbin milinden mekanik enerjiye dönüşmüş olarak alınmaktadır. Türbin miline bağlı olan elektrik jeneratöründe mekanik enerji, elektrik enerjisine dönüşmektedir.

Isıl güç çevrimlerinin temeli termodinamiğin ikinci yasası uyarınca iki ısı deposu arasında çalışan Rankine çevrimine dayanır.

Isıl güç santralları için teorik referans çevrim özelliği taşıyan Carnot çevriminde olduğu, Rankine çevriminde de çevrim verimi, doğrudan iki ısı deposu arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Isıl güç santrallarında yüksek sıcaklık ısı deposunu yanma odası, alçak sıcaklık ısı deposunu ise çevre (atmosfer, denizler) oluşturmaktadır. Alçak sıcaklık ısı deposu atmosferik koşullarca belirlenmesine karşın, yüksek sıcaklık ısı deposu özelliği, yakıt ve sistem tasarımına bağlıdır.

Rankine çevriminde iş akışkanı olarak buhar kullanılmakta, çevrim sıkıştırma (pompalama), ısı ilavesi (buhar üretimi), genleşme (buhar türbini) ve atık ısının çevrimden atılması (yoğuşma) süreçlerinden oluşmaktadır.

Santral akış diyagramı, çevrim süreçleri ile ilgili santral ana elemanları ve T-s diyagramı üzerinde çevrim şekil 5.1'de gösterilmiştir.

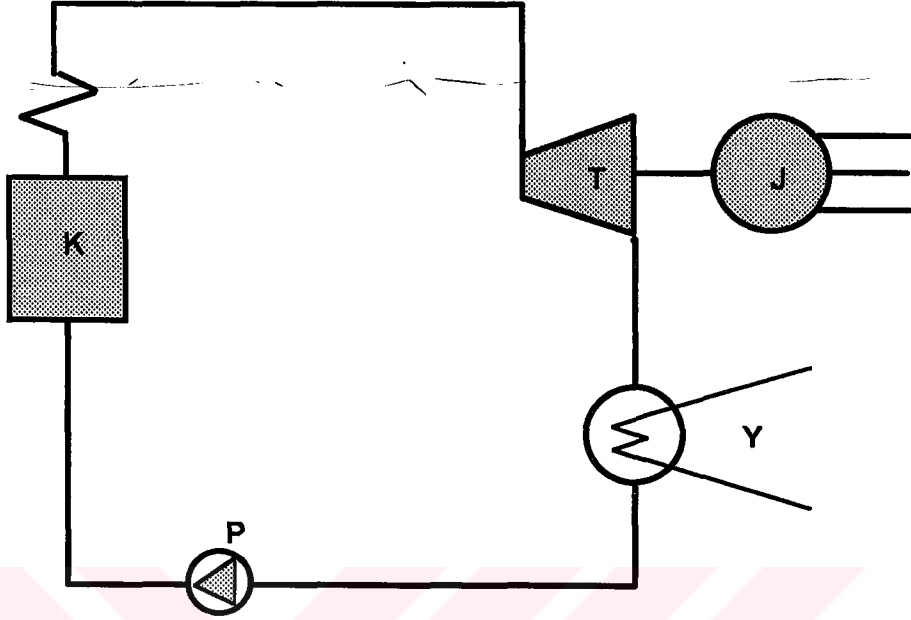
Referans çevrim özeliğindeki Carnot çevrimi, enerji mühendisliğinde, enerji ekonomisi yönünden uygun Rankine Çevrim tasarımıyla yol gösterici ve etken bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla Rankine çevrimi, eşdeğer Carnot çevrimine dönüştürülmekte, Carnot çevrimi ile ilgili basit verim artırma yaklaşımları, Rankine çevrimi içinde uygulanabilir biçime getirilmektedir. Böylelikle Rankine çevrimi özellikleri ve davranışı, eşdeğer Carnot çevrimi üzerinde incelenmektedir.

Teorik Rankine çevrimi ve eşdeğer Carnot çevrimi şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi Rankine çevrimi, ortalama sıcaklığı \bar{T}_Y olan yüksek sıcaklık ısı deposu ile, ortalama sıcaklığı \bar{T}_A olan alçak sıcaklık ısı deposu arasında çalışan bir eşdeğer Carnot çevrimine dönüştürülmüştür. Her iki çevrimde de çevrim süreçleri tarafından çevrelenen olan, eşit olduğundan çevrimlere verilen ısı ve çevrimlerden alınan mekanik enerji aynı boyutta olup, aynı miktardaki atık ısı da çevreye atılmaktadır. Bu yöntemle Rankine çevrim verimi ile eşdeğer Carnot çevrimi arasındaki aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\eta_R \approx \eta_{CE} = \frac{Q_V - Q_A}{Q_V} = 1 - \frac{Q_A}{Q_V} = 1 - \frac{\bar{T}_A}{\bar{T}_Y} \quad (5.1)$$

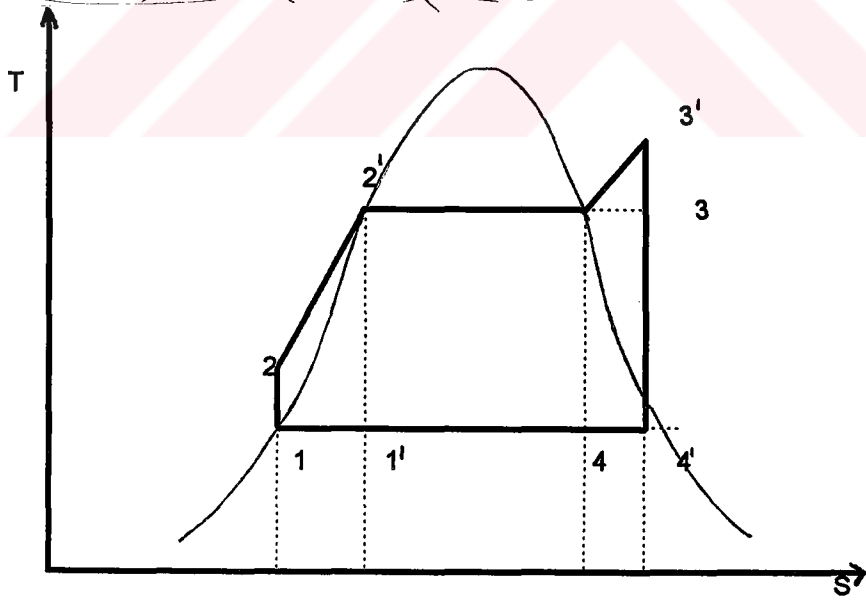
Burada Q_V yüksek sıcaklık ısı deposunda çevrime verilen ısı, Q_A çevrimden çevreye atılan atık ısı, \bar{T}_Y yüksek sıcaklık ısı deposu ortalama sıcaklığı, \bar{T}_A ise alçak sıcaklık ısı



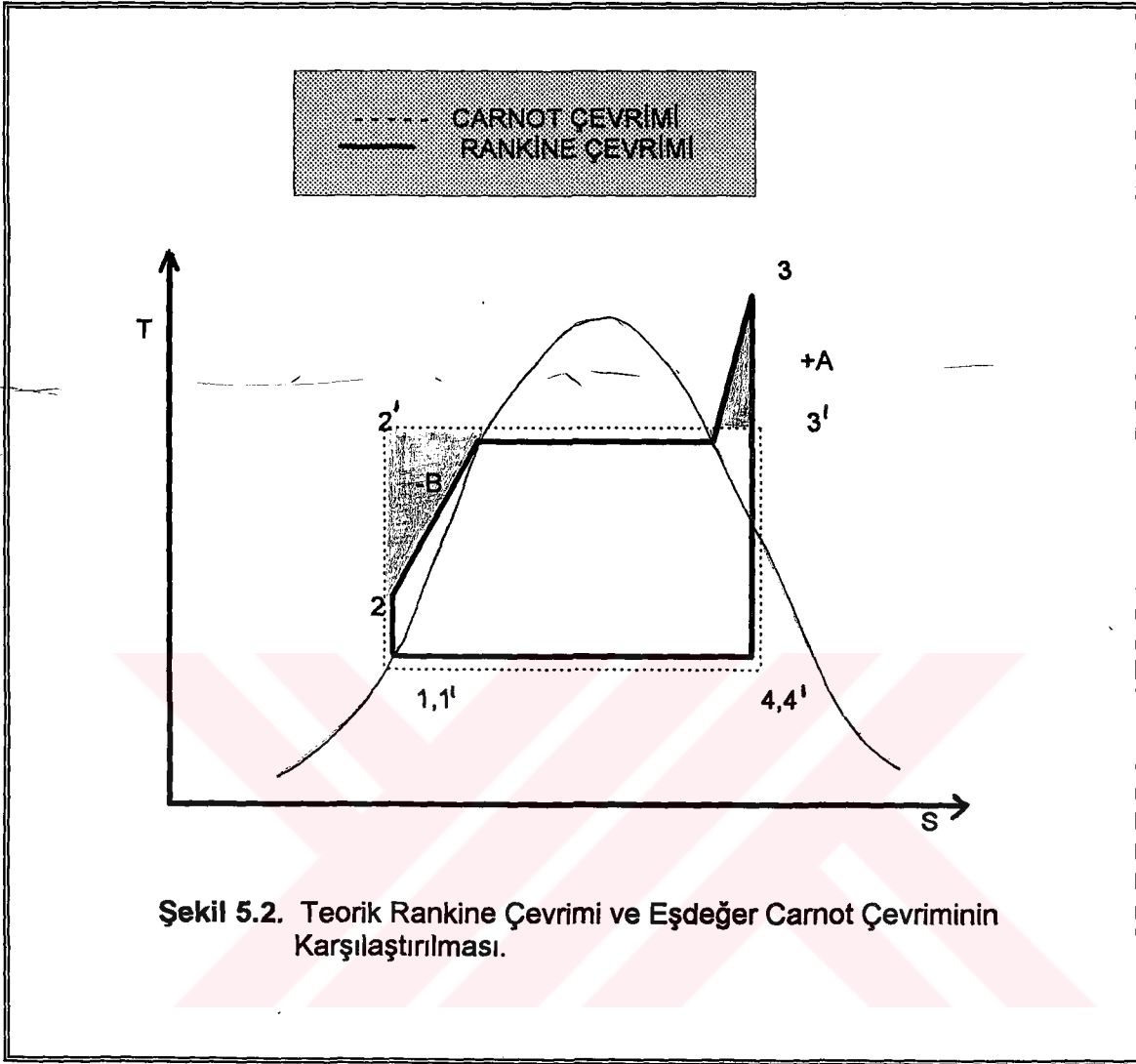
K : KAZAN
P : POMPA

T : TÜRBİN
Y : YOĞUŞTURUCU

J : JENERATÖR



Şekil 5.1. Temel Isıl Güç Çevrimi Akış Diyagramı ve Çevrimin T - S Diyagramında Gösterilmesi.

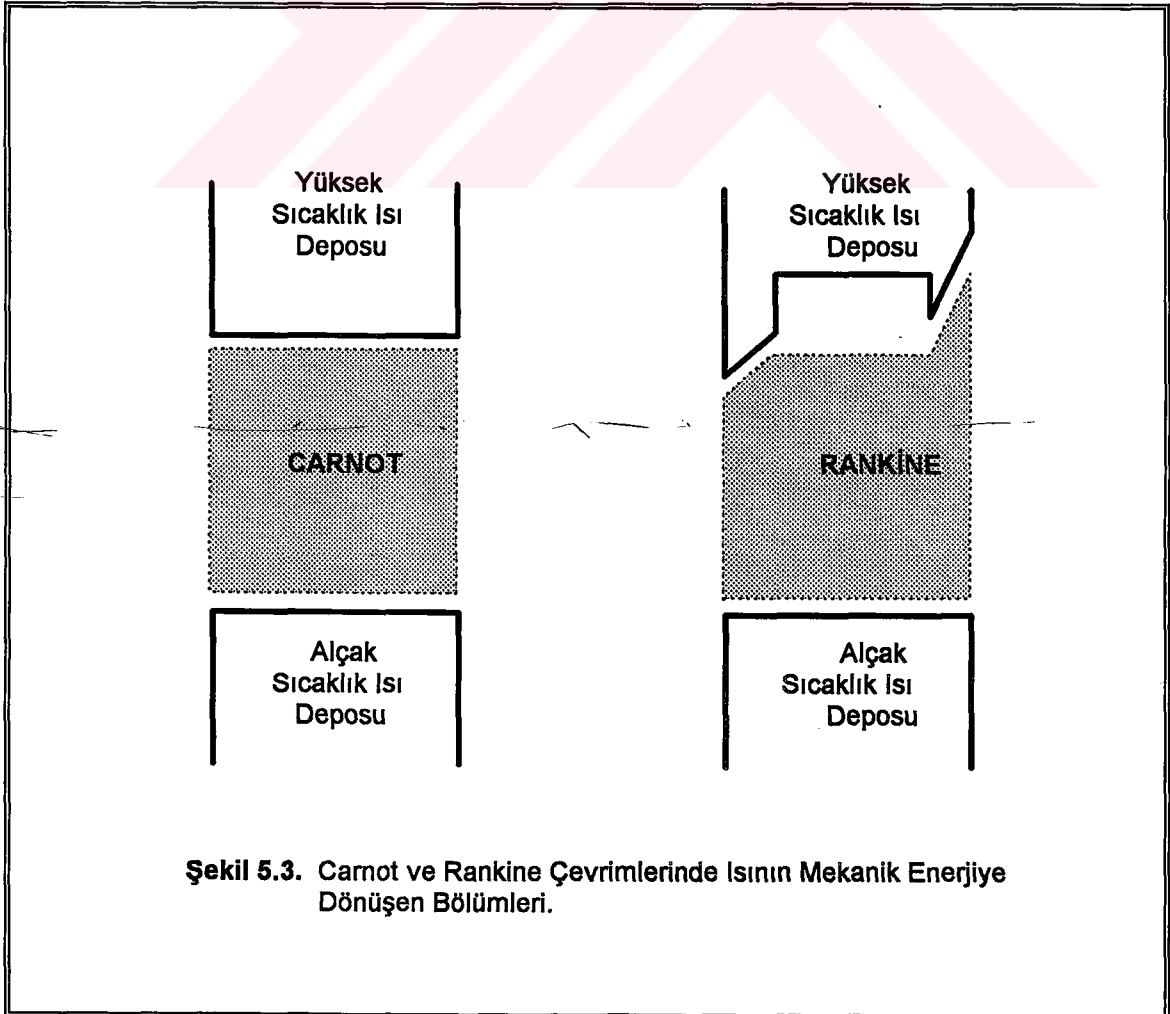


deposu ortalama sıcaklığını göstermektedir.

Denklem 5.1 eşdeğer çevrim verimini vermektedir. Çevrim veriminin artırılması, yüksek sıcaklık ısı deposu \bar{T}_Y ile alçak sıcaklık ısı deposu arasındaki sıcaklık farkının artırılmasına bağlıdır. \bar{T}_Y nin yükseltilmesi, eksik olan -A'nın azaltılması, artı olan +A'nın artırılmasını gerektirmektedir. Eksik alanın küçültülmesi, besleme suyu ön ısıtma yöntemi ile, artı alanın büyütülmesi ise, taze buhar sıcaklık ve basınçlarının artırılması ve ara kızdırma uygulaması yöntemleri ile sağlanmaktadır. \bar{T}_A sıcaklığı ise

doğrudan soğutma sistemine ve atmosferik koşullara bağlıdır.

Yüksek sıcaklık ısı deposu ile alçak sıcaklık ısı deposu arasında çalışan tersinir Carnot çevriminde iş akışkanı ile ısı depoları arasındaki sıcaklık farkının sıfır olması nedeniyle ısı transferi sonsuz zamanda olmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ısı deposu olarak kabul edilen yanma gazı (YO) sıcaklığı ile iş akışkanı sıcaklığı arasındaki büyük sıcaklık farkını ısı aktarımı sürecinde oluşturduğu tersinmezlik nedeni ile ideal Rankine çevrimi'nin verimi, aynı ısı depoları arasında çalışan Carnot Çevrimi'ne kıyasla çok daha düşüktür. Şekil 5.3'de ideal Carnot Çevrimi ve Rankine Çevrimi'nde yüksek sıcaklık ısı deposunda çevrime verilen ısının mekanik enerjiye dönüşen bölümleri alan olarak görülmektedir.



Bu bilgiler ışığında ilerliyen teknolojik olanaklar kullanılarak, Rankine çevrimi üzerinde birçok değişiklikler yapılmış ve günümüz yakıt fiyatlarına uygun ısıl güç çevrimlerine ulaşılmıştır. Uygulanabilir ısıl güç santrali çevrim yapısı, yakıt fiyatlarındaki gelişmelere bağlı olarak, sürekli değişim göstermektedir.

Yoğuşturuculu ısıl güç santrallerinde, fazla miktarda ısı, soğutma sistemleri üzerinden, alçak sıcaklık ısı deposuna (atmósfer, denizler) aktarılmaktadır. Isıl güç çevrimi veriminin artırılması ile, çevreye atılan ısı miktarı azaltılabilir. Ancak atılan bu ısı belli bir değerin altına düşürülemez.

5.2. Tersinmezliklerin Etkisi ve Gerçek Çevrim Analizi

Çevrimleri oluşturan süreçlerde (sıkıştırma, genleşme, ısı ilavesi, atık ısının uzaklaştırılması v.b) bazı tersinmezlikler oluşmakta bu nedenle gerçek çevrim, teorik termodinamik çevrime kıyasla oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. Gerçek çevrimde verim düşmesine neden olan tersinmezlikler ve bazılarının nedenleri aşağıda özet olarak verilmiştir.

- Yanma sürecinin içerdiği tersinmezlikler.
- Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki ısı aktarımının işletme ekonomisi yönünden sıcaklık farkı gerektirmesinin yarattığı tersinmezlikler (Isıtma yüzeyleri için gerekli yatırımın azaltılması).
- Sürtünme kayıpları.
- İş akışkanında sıcaklık dengelenmesi.
- İş akışkanında basınç dengelenmesi.
- İş akışkanında kısma süreci vb.

Bu tersinmezlikler çevrimde entropi artışlarına, dolayısı ile iş akışkanının mekanik enerjiye dönüşüm özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Böylelikle, iş akışkanının ekserjisinin bir bölümü enerjiye dönüşmekte, Carnot çevrimine kıyasla çok daha fazla bir atık ısının çevreye yararlanılmadan atılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Carnot çevrimi, ideal bir referans çevrimi olup, fiziksel yönden kaçınılmaz olan tersinmezlikler nedeni ile hiçbir zaman gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır.

Gerçek çevrimde sıkıştırma işi artmakta, iş akışkanı teorik çevrimle aynı basınçtaki daha yüksek bir sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Gerçek çevrimde kazan içerisinde basınç düşüşü meydana gelir. Bu sebeple, kazan çıkışında istenen basınç değerinin elde edilebilmesi için, kazan besleme suyu bu basınç değerinden daha yüksek bir basınca pompalaması gerekir. Gerçek çevrimde türbin çıkışındaki iş akışkanının entalpi değerleri, türbinde genleşme sırasında oluşan akım kayıplarından kaynaklanan entropi artışı nedeni ile isentropik genleşmeye kıyasla daha yüksek, bu nedenle gerçek çevrimde türbin işi daha küçüktür.

Çevrimin çevre ile olan ilişkisi göz önünde tutularak teorik ve gerçek çevrim üzerinde, toplam entropi değişimleri hesaplanırsa, gerçek çevrimde entropinin daha fazla arttığını, dolayısı ile daha fazla atık ısının enerji biçiminde çevreye verildiği görülür. Buda Termodinamiğin İkinci Yasasına göre gerçek Rankine çevriminin teorik Rankine çevrimine kıyasla veriminin düşük olduğunu gösterir.

Türbindeki genleşme süreci isentropik ise, açık sistemde, sürekli enerji denklemi uyarınca ($\Delta C = 0$, $\Delta Z = 0$)

tüm entalpi düşüşü, türbin işine dönüşebilir. Bu durumda;

$$w_{T,s} = h_{TG} - h_{TÇ,s} \quad (5.2)$$

olur. Tersinmezlikler nedeni ile akışkan enerjisinin bir bölümü mekanik enerjiye değil ısıya dönüşmekte, bu ısı çıkış entalpisi ve entropisinin artmasına neden olmaktadır. Entropi artışı ekserjinin enerjiye dönüşümü yönünden bir ölçek, entalpi artışı ise sürtünme kayıplarının, daha sonraki genişlemeye katkısı ile ilgili bir gösterge olarak görülebilir.

Gerçek genişleme durumunda, türbin işi:

$$w_T = h_{TG} - h_{TÇ} \quad (5.3)$$

olarak ifade edilebilir.

Bu durumda, bir türbinin kademesi için iç verim $\eta_{T,k}$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\eta_{T,k} = \frac{\Delta h_k}{\Delta h_{k,s}} \quad (5.4)$$

Bu çalışma ile ilgili çevrim tasarımı ve analizlerinde, türbin kademe veriminin tüm kademelerde sabit olduğu varsayılmıştır. ($\eta_{T,k} = \eta_T$) Kademe verimi sabit kabul edildiğinde türbin verimi,

$$\eta_{T,k} = \frac{h_{TG} - h_{TÇ}}{h_{TG} - h_{TÇ,s}} = \frac{w_T}{w_{T,s}} \quad (5.5)$$

Aynı şekilde, sıkıştırma süreci tersinmezlikleri göz önüne alınmaz ise, birim kütle isentropik pompa işi, açık sistemlerde sürekli enerji denklemi uyarınca ($\Delta C = 0$, $\Delta Z = 0$)

$$w_{p,s} = \Delta u + v \Delta P \quad (5.6)$$

olarak yazılabilir. Sıkıştırılamaz akımlarda $\Delta u \approx 0$ kabul edilir ve isentropik pompa işi:

$$w_{p,s} = v \Delta P = \frac{\Delta P}{\rho} \quad (5.7)$$

biçiminde bulunur. Buradan, gerçek pompa işi, pompa verimi η_p gözönüne alınır:

$$w_p = \frac{\Delta P}{\rho \eta_p} \quad (5.8)$$

biçiminde olur.

Türbinde üretilen mekanik enerjinin bir bölümü, türbin, jeneratör grubu bağlantısı ile yatak sürtünmelerinden oluşan dirençlerin karşılanmasında kullanılır. Sarf edilen bu iş, türbinin mekanik verimi biçiminde çevrim analizinde göz önünde tutulur. Mekanik verim, türbinden jeneratöre aktarılan işin, buharın türbinden genişmesi sonucunda alınan işe oranı olarak tanımlanabilir.

Isının mekanik enerjiye dönüştüğü basit bir Rankine Çevrimi'nde gerçek çevrim verimi, çevrimden alınan net işin, çevrime verilen ısı enerjisine oranı biçiminde tanımlanabilir.

$$\eta_R = \frac{w_{net}}{q_v} \quad (5.9)$$

Burada q_v yüksek sıcaklık ısı deposundan (kazanda yanma gazlarından), çevrime (iş akışkanına) aktarılan ısıyı, w_{net} ise sıkıştırma işi çıktıktan sonra çevrimden alınan net mekanik enerjiyi ($w_T - w_p$) göstermektedir.

Yakıtlarda depolu bulunan ısı eşdeğer birim kimyasal enerjinin, buhar üretim sürecinde kazan verimi ile orantılı bir bölümü, çevrim yüksek sıcaklık ısı deposuna aktarılır. İş akışkanına aktarılan ısı miktarı aşağıdaki biçimde tanımlanır.

$$q_v = l \cdot \eta_K \quad (5.10)$$

Burada η_K , kazan verimini tanımlamakta ve kazan kayıpları gözönünde tutularak, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_K = \frac{l}{100} (100 - \sum_{i=1}^n V_i)$$

Kazan kayıpları V_i , genel olarak yanma kaybı $V_Y = V_1$, kazan kabuğu ısı kaybı $V_R = V_2$ baca kaybı $V_{BG} = V_3$ ve işletme kaybı olmak üzere 4 grupta toplanabilir. Bu kayıplar, yakıt türü, kazan tipi, işletme, bakım onarım vb. koşullara göre işletmeden işletmeye değişmektedir.

Çevrime aktarılan ısı q_v 'nin, çevrim verimi η_R 'ye orantılı olarak, bir bölümü mekanik enerjiye dönüşmektedir.

birim kimyasal enerjinin, mekanik enerjiye dönüşen bölümü

$$w = l \cdot \eta_K \cdot \eta_R \quad (5.11)$$

olarak ifade edilebilir. Mekanik kayıplar ve elektrik jeneratörü kayıpları göz önünde tutularak, birim yakıt enerjisinin elektrik enerjisine dönüşen bölümü;

$$P_{EL} = l \cdot \eta_K \cdot \eta_m \cdot \eta_j \cdot \eta_R \quad (5.12)$$

olarak hesaplanabilir.

Bu yaklaşımla, yakıt enerjisinin ısı gücü santrallerinde elektrik enerjisine dönüşmesi ile ilgili ısı gücü santrali verimi

$$\eta_{IGS} = \frac{P_{EL}}{M_y \cdot H_u} = \eta_K \cdot \eta_R \cdot \eta_m \cdot \eta_j \quad (5.13)$$

olarak hesaplanabilir. Denklem (5.13) de görüldüğü gibi, ısı güç santrali verimi η_{IGS} , kazan verimi η_K , çevrim (Rankine) verimi η_R , türbin-jeneratör grubu mekanik kayıplarını belirleyen mekanik verim η_m ve jeneratör verimi η_j ile çarpımından bulunur.

Bu bölümde genel olarak ısı güç çevrim yapısı, termodinamik esasları üzerinde durulmuş, bölgesel ısıtma ısı güç çevrim yapısı ve özellikleri ileriki bölümde açıklanmıştır.

6. BİRLEŞİK ISI GÜÇ SANTRALLERİNİN BÖLGE ISITMASINDA KULLANIMI

6.1. Genel Bakış

Dünya'daki mevcut uygulamalarda bölge ısıtması için gerekli ısı sadece sıcak su veya buhar kazanlarından oluşan klasik ısı santralleri ile birleşik ısı elektrik santrallerinden sağlanmaktadır. Bunun yanında çöp yakma santralleri nükleer enerji santralleri ve jeotermal enerjiden de yararlanılmaktadır. Isı santralının türünü bölgenin büyüklüğü, bölgenin büyüme potansiyeli, santralin bölge içindeki konumu, enerji kaynakları, enerji üretim politikası ve ekonomik faktörler belirler. Bölge büyüklüğünün santral türü üzerine belirleyici etkisi vardır. Polonya'da 35 MW'a kadar klasik ısı santralleri, daha büyük güçlerde ise birleşik ısı elektrik santralleri kullanılmaktadır. Türkiye koşulları için yapılan bir çalışmada birleşik ısı elektrik santralıyla bölge ısıtmasının 19 MW ve aşağısı için ekonomik olmadığı görülmüştür.

6.2. Bölge ısıtmasında kullanılan Birleşik Isı Güç Santral Türleri

Klasik ısı santralleri basınçlı sıcak su ve/veya buhar üreten kazanlardan oluşmakta ve fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Santralden çıkan suyun sıcaklığı 110 - 150 °C arasında değişir. Ancak bazı eski sistemlerde su sıcaklığı 180 °C'a kadar çıkabilmektedir. Kazan sayıları ısı yükteki %20'lik değişimlerde santral verimi sabit kalacak şekilde seçilir. Yüksek basınçlı buhar kazanlarının maliyeti fazla olduğu için daha çok endüstriyel ısı ihtiyacının olduğu

bölgelerde tercih edilirler.

Bölge ısıtmasında faydalanılan birleşik ısı elektrik santralleri gaz türbinli, buhar türbinli veya dizel motorlu türdendirler. Birleşik ısı elektrik üretiminde sık kullanılan bir terim olan ısı elektrik oranı "santralden alınan ısının santralde üretilen elektriğe orandır". Bu oranın alt sınırını termodinamik, üst sınırını ise ekonomik faktörler belirlerler. Tablo 6.1'de birleşik ısı elektrik üretiminde kullanılan sistemler ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.1 Birleşik Isı Elektrik Üretiminde Faydalanılan Sistemler ve Özellikleri.

| Sistem | Güç (MW) | Isı - Elektrik Oranı | EFO (%) | İzafi Maliyet |
|---------------------------------------|----------|----------------------|---------|---------------|
| Yoğusturuculu Ara Buhar Almalı Türbin | 3 - 100 | 7 - 1 | 65 | 1 |
| Karşı Basıncılı Buhar Türbini | 3 - 50 | 5 | 85 | 1,2 |
| Dizel ve Atık Isı Kazanları | 3 - 30 | 1 | 70 | 1 |
| Gaz Türbini ve Atık Isı Kazanları | 5 - 100 | 1 | 85 | 1 |

Birleşik ısı elektrik üretiminde kullanılan buhar türbinleri yoğusturuculu ve ara buhar almalı veya karşı basınçlıdır. Karşı basınçlı türbinlerde ısı elektrik oranı yüksek olduğundan daha çok endüstriyel ısı ihtiyacı olan bölgelerde kullanılır. Bölge ısıtmasına en uygun türbin ara buhar almalı olanlardır. Çünkü bunlarda ısı elektrik oranı geniş bir aralık içinde değiştirilebildiğinden ısı yükteki değişikliklere rahatlıkla uyum sağlanır. Hatta ısı yükün sifıra yaklaştığı zamanlarda türbin sadece yoğusturuculu

klasik buhar türbini şeklinde çalışabilir. Bu durumda verim aynı şartlardaki klasik yoğuşturuculu türbine göre sadece % 1 oranında azalmaktadır. Ara buhar almalı türbinlerde ara buhar miktarı türbin girişindeki değerin % 50'sini geçmemelidir. Ara buhar almalı türbinin bölge ısıtmasında kullanılan mevcut en büyük tek ünitesi Rusya'da olup gücü 250 MW'tır.

Yaptığı bir çalışmada Horlock ara buhar almalı birleşik ısı elektrik santralını termodinamik olarak incelemiş ve elektrik üretimi verimi ile enerjisinden faydalanma oranının ısı elektrik oranı ile değişimini şekil 6.1'deki gibi bulmuştur. Bu çalışmada kazan ve ısı değiştirgeci verimleri % 100 alınmıştır.

Şekil 6.2 incelendiğinde küçük ısı elektrik oranlarında bile enerjiden faydalanma oranının % 70-80'lere çıktığı görülmektedir. Bu durum ısı elektrik santrali ile bölge ısıtmasının üzerinde düşünülmesi gereken önemli bir konu olduğunu açık bir şekilde anlatmaktadır.

Gaz türbini ve diesel motorunda eksoz ısı yüksek sıcaklıklarda atıldığından, bunların birleşik ısı elektrik santralıyla bölge ısıtmasında kullanımları çekici hale gelmektedir. Son 15-20 yıldır gaz türbinli birleşik ısı elektrik santralıyla bölge ısıtması önemli aşamalar kaydetmiştir. Gaz türbinli santrallerin ilk yatırım maliyetleri atık ısı kazanları ve diğer yardımcı elemanlarla birlikte ara buhar almalı türbin kullanan bir santralinki ile aynı mertebededir. Buda gaz türbininde kullanılabilecek yakıtın ekonomik olarak bulunabileceği yerlerde gaz türbinli santralı daha avantajlı kılar. Çünkü kül ve filtre problemi yoktur. Tablo 6.2'de Broyton-joule çevrimine göre çalışan ve

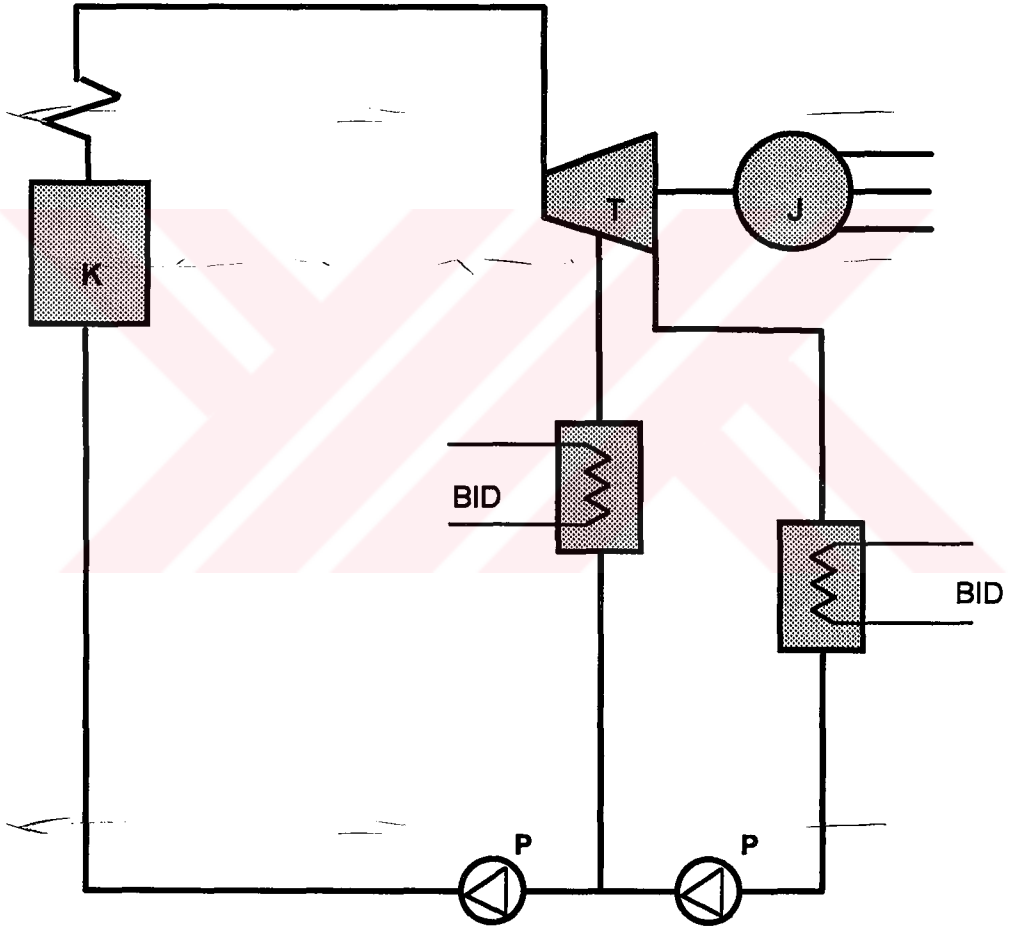
K : KAZAN

T : TÜRİN

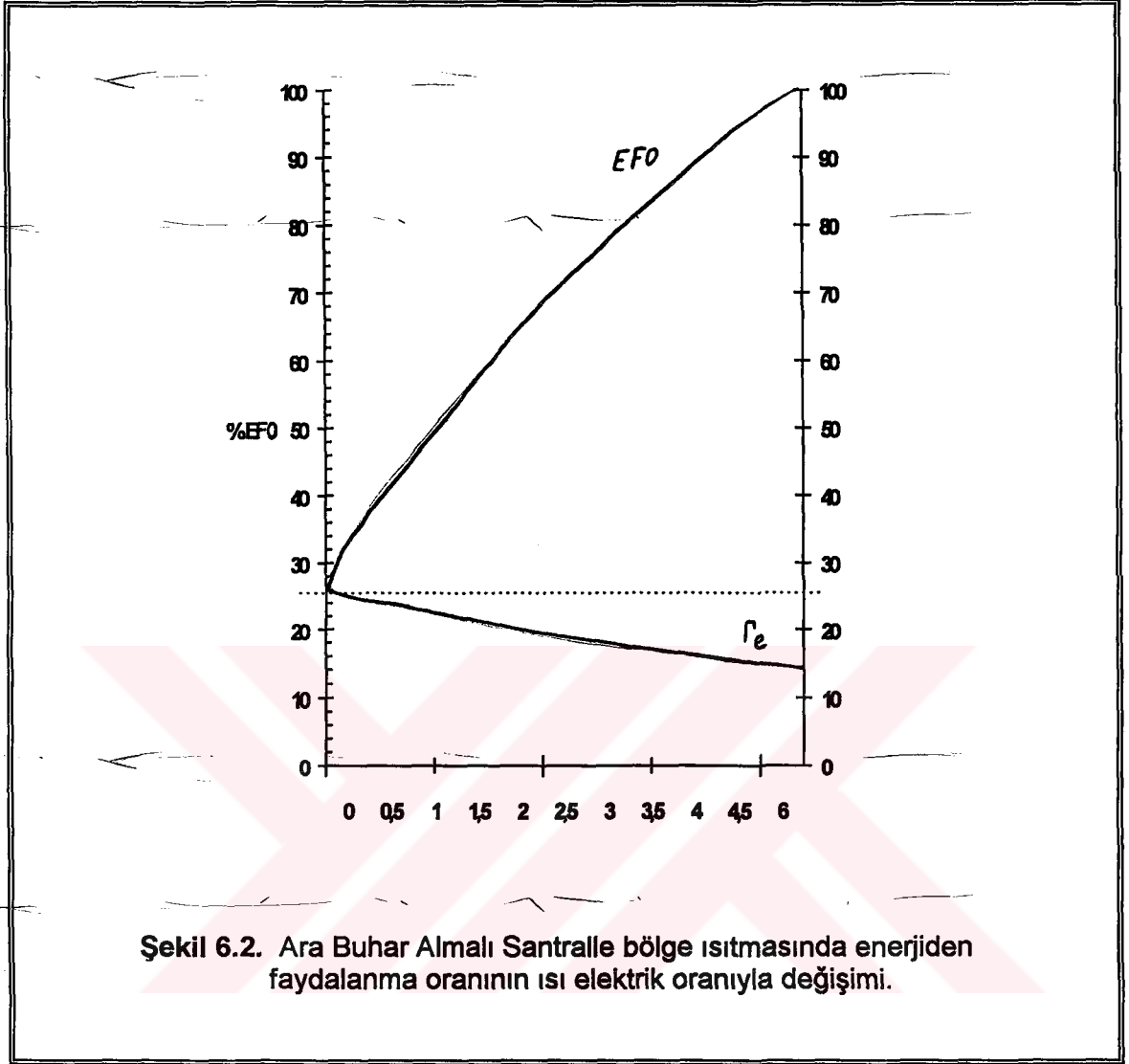
J : JENERATÖR

P : POMPA

BİD : BÖLGE İSİ DEĞİŞTİRGEÇİ



Şekil 6.1. Ara Buhar Almalı Birleşik Isı Elektrik Santralının Tesisat Şeması.



Tablo 6.2 Enerjiden Faydalanma Oranının (EFO) Eksoz Sıcaklığı ile değişimi.

| Eksoz Sıcaklığı (°C) | EFO (%) |
|-------------------------|---------|
| 38 | 96 |
| 94 | 88 |
| 149 | 80 |
| 177 | 76 |
| 205 | 72 |
| 371 | 47 |

atık ısı kazanlarıyla donatılmış bir bileşik ısı elektrik santralında enerjiden faydalanma oranının eksoz sıcaklığıyla değişimi verilmiştir. Burada sıkıştırma oranı 4, maksimum sıcaklık 815 °C dir.

Bölge ısıtmasında küçük güçlerde bileşik ısı elektrik santralından diesel motoru ile yararlanılır. Bu tür bir uygulamaya örnek olarak Aldershot santrali verilebilir. Bu santralin gücü 17 MW'tır.

Jeotermal enerjiyle bölge ısıtması yapılabilir. Jeotermal kuyulardan sağlanan suyun sıcaklığı elektrik üretimi amacıyla kullanılmayacak kadar düşüktür. Bu ise en ideal kullanım yeri olarak bölge ısıtmasını ön plana çıkarır. Jeotermal enerji ile bölge ısıtmasının ilk ve en önemli uygulaması Reykjavik'te (İzlanda) yapılmıştır. Sistem 1930'da kurulmuş, daha sonra iki kez büyütülmüştür. Son kapasitesi 250 MW'tır. Su sıcaklığı ise 80-127 °C arasında değişmektedir. Boru şebekesinin yarısı tek boruludur.

Ekonomikliği tartışılmakla birlikte çöp yakma santrallerinden da bölge ısıtması için faydalanılmaktadır. Artan hayat hayat standardı kentlerde oluşan çöp ve benzeri katı artıkların klasik yöntemlerle arazide ekonomik olarak zararsızlaştırılmayacağı miktarlara ulaşmasına sebep olmuştur. Çözüm olarak otariteler çöpün bir santralde yakılıp elde edilen ısının bölge ısıtmasında kullanılmasını görmüşlerdir. Ancak bu yolla elde edilen ısının maliyeti diğer üretimin metodlarına göre çok yüksektir. Çünkü çöpün değeri en iyi halde bile linyitin asıl değerinden azdır ve yanmayan madde miktarı ile nem oldukça yüksektir. Ayrıca çöp

yakma santrallerinde yatırım maliyeti klasik ısı santrallerinkinden çok yüksek ve yanma verimi en iyi halde bile %60'ı geçememektedir.

Çöpün ısı değerini yükseltmek fosil yakıtlarla karıştırılarak yakılması düşünülmüşse de, ısı değerinin arttırılması ile elde edilen kazancın karışımdaki fosil yakıtın düşük verimde yanması sonucu oluşan kayıptan daha az olduğu görülmüştür.

Çöp yakma santralının bölge ısıtmasında kullanılabilmesi için yıl boyunca tam yükte çalışması, çöp miktarının 3 ton/saat'ten az olması ve ısı maliyetinin diğer yollarla üretilmesi halinde oluşan farkının çöpten sorumlu otorite tarafından karşılanması gerektiği görülmüştür.

Bölge ısıtmasında kullanılan tipik çöp yakma santrallerine örnek olarak Sundbyberg (İsveç), Lyons (Fransa), Viyana (Avusturya), Rosemheim (Batı Almanya) gösterilebilir. Bunlardan Lyons ve Rosemheim ara buhar almali birleşik ısı elektrik santrali olarak çalışmaktadır.

Şimdilik diğer ısı santrallerine tam bir alternatif olmamakla birlikte nükleer enerji bazı bölge sistemlerinde ısı santrali olarak kullanılmaktadır. Nükleer enerji santralleri ucuz yakıt ve iyi bir kontrolle yok denecek kadar az çevre kirliliği gibi avantajları yanında yüksek ilk yatırım, santralin yerleşim bölgesinden uzağa kurulması, kısmi yükte çalışmama gibi dezavantajlara da sahiptir. Nükleer enerji ile bölge ısıtması ancak birleşik ısı elektrik üretimi ile birlikte yapılmak zorundadır. Çünkü nükleer reaksiyonun ve dolayısıyla ısı üretiminin zamanla arttırılıp

azaltılması oldukça zordur. Aynı zamanda ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu enerji maliyetinin düşük tutulabilmesi için santralin tam yükte çalışmasını zorunlu kılar. Nükleer enerjiden bölge ısıtmasında faydalanılan ilk uygulama Frasta (İsveç)'daki gazete santralidir. santral 1957'de yapılmış olup birleşik ısı elektrik santrali olarak çalışmaktadır ve ısıl gücü 55 MW'dir. Bu güç kentin toplam ısıl yükünü %60'ını karşılamaktadır. Santral granit oyulmuş bir hacim içinde yer altına yapılmış, en yakın konuta 2 km daha uzakta konumlandırılmıştır.

6.3 Bazı Yabancı Ülkelerdeki Uygulamalar

Birleşik ısı-elektrik santralleri konusunda bazı yabancı ülkelerdeki uygulamalara burada kısaca değinmek yararlı olacaktır. Birleşik santraller doğu bloku ülkelerde olduğu gibi batı ülkelerinde de yaygın olarak kullanılmakta ve giderek daha da yaygınlaştırılmaktadır. Romanya'da 1957'de daha çok kağıt endüstrisi ve rafinerilerde uygulama alanı olan toplam 127 MW kapasiteli birleşik santral varken 1975'te 8539 MW'lık birleşik santral kapasitesine ulaşmıştır (Toplam kapasitesinin % 38.6'sını). Elde edilen ısı enerjisinin % 85 kadarının endüstride, % 10 merkezi ısıtmada, geri kalan da seracılıkta kullanılmaktadır. 150 °C - 70 °C sıcaklıklar arasında çalışan 750 km'lik ısı taşıma boru şebekesi kurulmuştur. Birleşik ısı elektrik üretiminden yılda 2.2 TET(Ton eşdeğer taşkömürü) tasarruf sağlanmaktadır. Doğu Almanya'da yaklaşık bir milyon konut birleşik santrallerden elde edilen ısı ile ısıtılmaktadır. Bir fikir

edinmek üzere Batı Almanya'da kurulması tasarlanan 30 km'lik bir bölgesel ısıtma şebekenin toplam maliyetinin 175 milyon DM. olarak hesaplandığı kaydedilebilir.

Finlandiya'da 1975'te toplam ısı enerjisinin yarısı santrallerden elde edilmekteydi. Bu ısı ülkenin kağıt endüstrisinde geniş kullanım alanları bulmaktadır. Finlandiya'da 1000 MW'lık bir nükleer santral olarak kurulması planlanmakta ve müşteriye maliyeti 10.5 \$/kişi olarak hesaplanmaktadır. Birleşik santraller İsveç ve Polonya'da da yaygın olup nükleer birleşik ısı elektrik santralleri kurulması tasarlanmaktadır. İsveç'te 1976'da 10000 MW'lık bölgesel ısıtma şebeke kapasitesi ve 2000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine sahip birleşik santral bulunmaktaydı. Rusya'da 1975'te 60 GW olan birleşik santral kapasitesi toplam termik santral kapasitesinin % 35'ini teşkil etmekte olup yılda 30 milyon TET tasarruf sağlamaktadır. Birleşik santraller ve büyük bölgesel buhar kazanları, Rusya'nın toplam ısı ihtiyacının % 70 'ini karşılamaktadır. İngiltere'de son yıllarda birleşik santrallara bir yönelme mevcuttur. Yeni kurulan 15 MW'lık bir birleşik santral, elektrik üretimi yanında endüstriye (bira fabrikası ve tavuk çiftliği) ısı temin ederek yılda 1 milyon tasarruf sağlayacaktır. Büyük bir şehir için planlanan bölgesel ısıtma sisteminin ise konut başına toplam maliyeti 2200 L olarak tahmin edilmektedir.

6.4. Türkiye'de Birleşik Isı Güç Santrallerinin Bölgesel Isıtmada Kullanılması

1973 Dünya Enerji Krizi'nden sonra enerji tasarrufu ön

plana çıkmıştır. Bol, ucuz enerji dönemi koşullarından sıyrılıp kıt ve pahalı enerji koşullarına uyumun bir gereği olmuştur. Dünyada mevcut olan enerji kaynaklarının en verimli ve en ekonomik biçimde kullanılması ana amaç olmuştur. Bu petrol krizi ülkemizde öz kaynaklara dönülmesi gerekliliğini ortaya çıkartmış, elektrik enerjisi üretimi için yapılan yatırımların, kaynak itibari ile oranlarında değişme olmuştur. İstatistikler incelendiğinde elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımında petrole dayalı üretimin hissedilir ölçüde azaldığı, özellikle linyite dayalı üretimin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. 1972 yılında toplam üretimin %44'ü fuel-oil'e dayalı iken, 1986 yılında %30'a, 1988 yılında ise bu pay %18,6'a düşmüştür.

Isının maliyeti önemli bir faktördür. 1970'lerin ortasına kadar ucuz yakıt giderleri nedeni ile bireysel ısıtma bölgesel ısıtmaya kıyasla genelde daha ucuz olmaktaydı. Fosil yakıtların maliyetinin ve kentsel alanlardaki nüfus yoğunluğunun aşırı biçimde artması bölgesel ısıtma seçeneğini daha geçerli hale getirmiştir. Ayrıca düşük kaliteli yakıtların ve diğer katı atıkların büyük ısı santrallerinde temiz ve verimli bir biçimde yakılarak kent ısıtılmasında kullanılması çevre sağlığı ve ulusal ekonomi yönünden büyük önem taşımaktadır.

Birleşik ısı güç santralleri genelde temel yüklerde kullanılmakta tepe ısı yükleri ise alışılmış ısı santralleri ile karşılanmaktadır. Bölgesel ısı-güç santrallerinde türbin kademelerinden sistem özelliklerine uygun olarak alınan ara buharlarla bölgesel ısıtma sistemi dolaşım suyu

ısıtılmaktadır. Bunun için işletme koşulları ve yük özelliklerine göre santral kapasitesi ve türbin özelliklerinin uygun seçilmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin elektrik enerjisine yoğun ihtiyacı olduğu ve elindeki enerji kaynaklarını ilgili sektörlerde en iyi biçimde değerlendirmesi gerektiği düşünülürse, mevcut düşük kaliteli linyitlerin elektrik üretimi ve kent ısıtılmasında kullanımı için birleşik ısı güç santralleri, bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

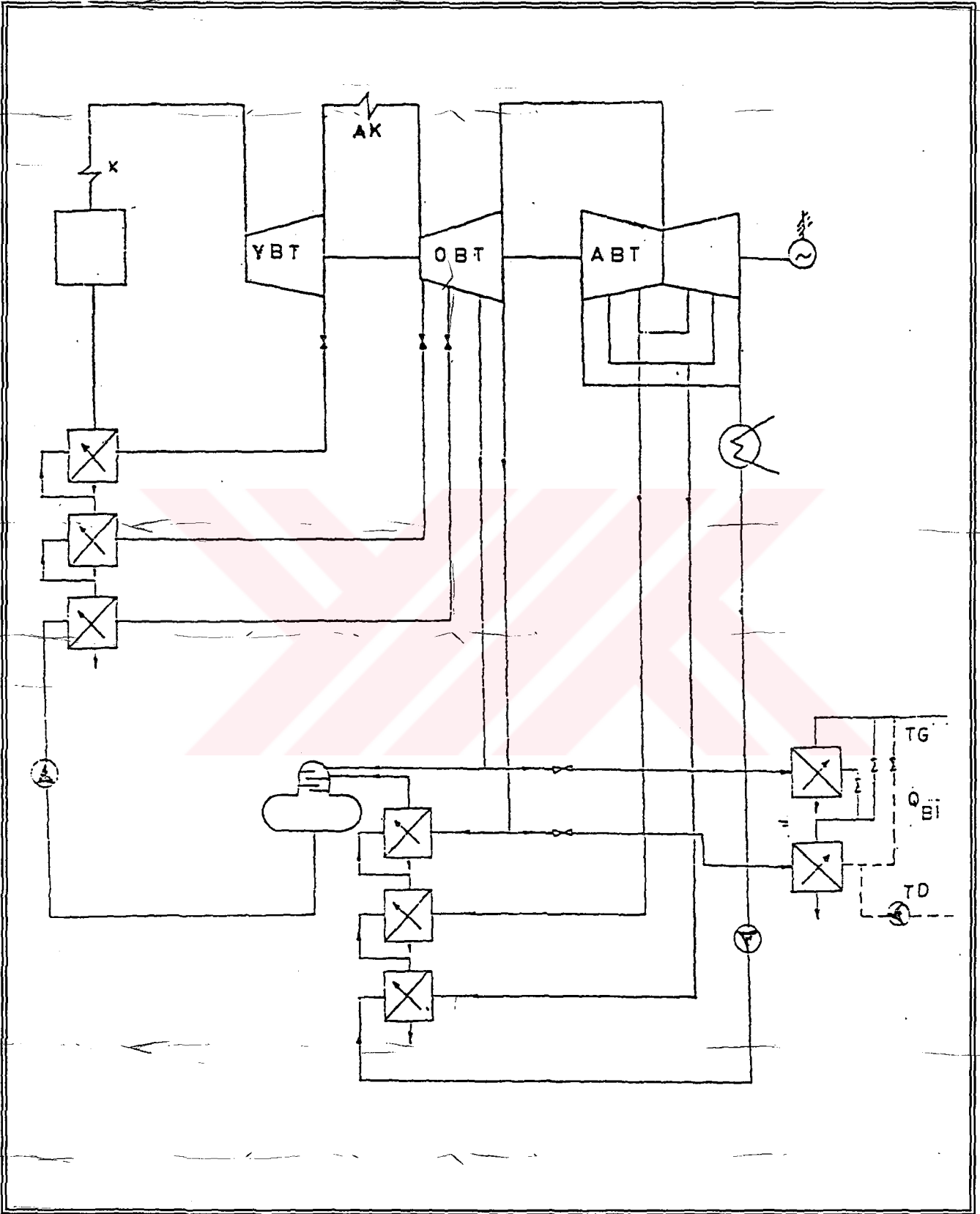
Dünyada toplam enerji tüketiminin %30'dan fazlası binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Diğer taraftan santrallerde üretilen toplam enerjinin %60'ından fazlası atık ısı olarak çevreye verilmektedir. Bu ısı, binaların ısıtılmasında ve sıcak su ihtiyaçları için bir kaynak olarak kullanılabilir. Birleşik ısı güç santralleri bu amacın gerçekleştirilmesinde en etken araç olmaktadır.

Bölgesel ısıtmada kullanılan bir birleşik ısı güç santrali için genel bir bağlantı şeması Şekil 6.5'de verilmiştir.

6.5. İncelenen Bölgesel Isıtma Bileşik Isı Güç Santralının Sistem Yapısı ve Yük Özelliklerinin Belirlenmesi

Türkiye'de birincil enerji kaynakları rezervlerinin gün geçtikçe azalması, bir yandan yeni enerji kaynaklarının bulunmasını, diğer yandan da, eldeki düşük kalite kaynakların, en verimli ve istenilen amaçlara uygun şekilde kullanılması gerekmektedir.

Düşük kaliteli kömürler, ısı güç santrallerinin kazan



Şekil 6.3.
Bir birleşik ısı güç santrali için genel bağlantı şeması

nitelerinde yakma teknolojisinin tüm olanakları kullanılarak verimli bir biçimde yakılabilmekte ve değerlendirilebilmektedir. En uygun yakma sisteminin seçimi, hava ve evre kirliliği için gerekli önlemlerin alınması, yatırım maliyetlerini artırmaktır. Kurulacak sistemin tüm yıl en ekonomik ve verimli Şekilde alışması gerekir. Karşı basınçlı tip bir bileşik ısı güç santralında elektrik üretimi doğrudan ısı tüketimine bağlıdır. Dolayısıyla ısı tüketimi durduğu zaman elektrik üretimi de olmamaktadır. Santral tüm yıl kullanılamamakta ve ekonomik olmamaktadır. Karşı basınçlı sistemlerin sürekli ısı tüketen süreçlerde kullanılması daha uygundur. Yoğuşturuculu tip birleşik ısı güç santrallerinde elektrik ve ısı üretimi birbirinden bağımsızdır. Kışın bölgesel ısıtma için çekilen arabuharlar yazın yoğuşturucudan geçirilerek ek olarak elektrik üretimi arttırılabilmektedir. Dolayısıyla bu tip santral seçimi uygulama koşullarına göre genelde daha ekonomik olmaktadır.

Temel yük santralleri, bakımdan bakıma temel yük gereksinimini karşılamak için sürekli olarak çalıştıklarından, en ucuz yakıtla ve en yüksek verimle çalışacak biçimde tasarlanırlar. Bu nedenle yatırım, dolayısıyla amortisman giderleri yüksektir. Tasarıma yapılan santralın temel ısıtma ısı yükünü karşılaması, tepe ısı yüklerinin ise bireysel ısı santralleri tarafından karşılanması öngörülmektedir.

7.ELEKTRİK VE ISI ENERJİSİ ÜRETİMİNDE YÜKSEK VERİMLİ DİĞER ALTERNATİF SİSTEMLER

7.1 Genel Bakış

Şu ana kadarki bölümlerde yapılan açıklamalar özellikle içinde bulunduğumuz son zamanlarda dünyada oldukça yaygın bir şekilde kullanım alanı bulan ve ülkemizde de günden güne bilgi birikimi ile doğru orantılı olarak artan kojenarasyon (kombine ısı ve güç üretimi) teknolojileri ağırlıklı olarak ele alınıp incelenmişti. Bu bölümde ise kısaca,

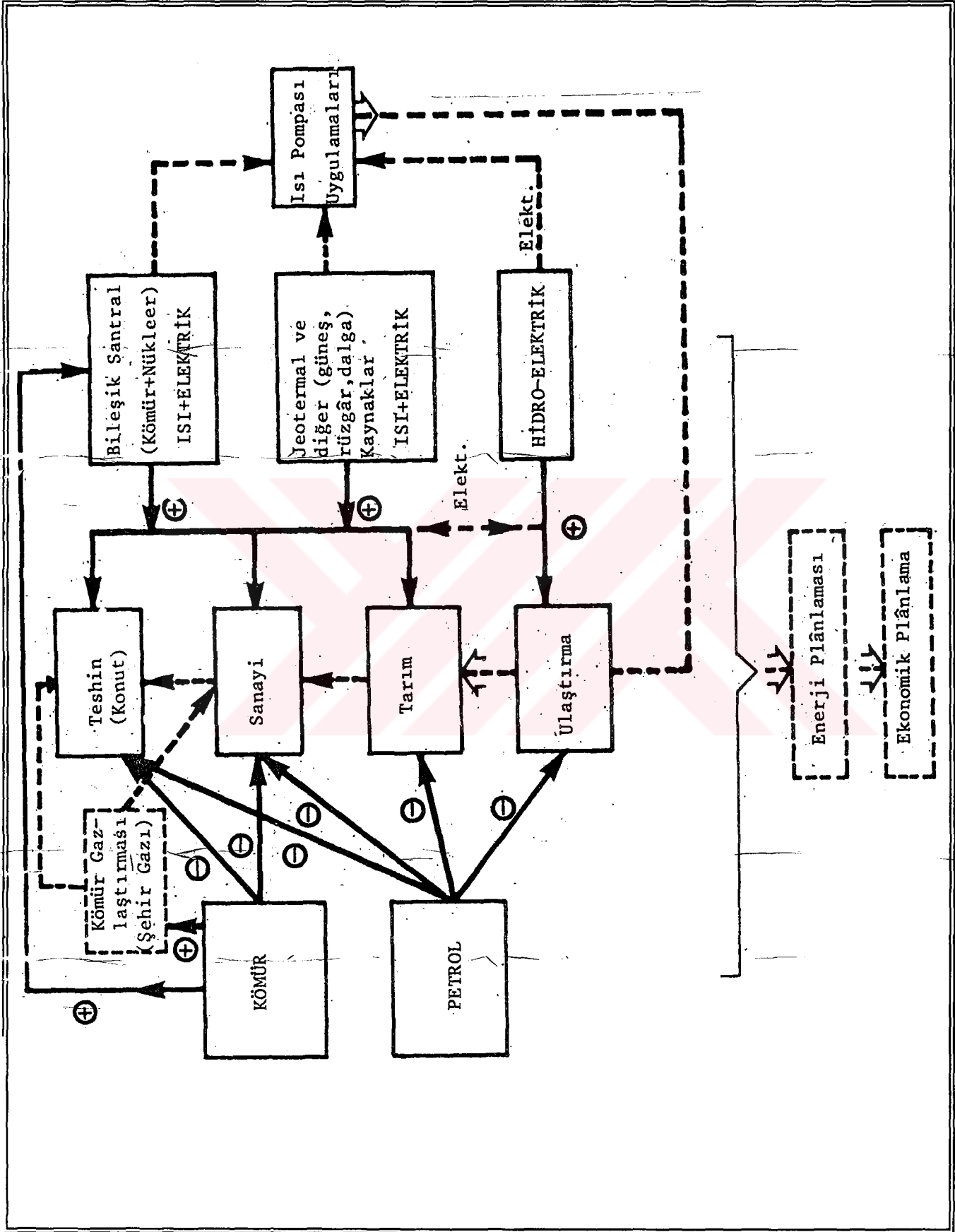
- * Jeotermal Kaynaklarımız
- * Isı Pompası Uygulamaları
- * Nükleer Santral Uygulamaları
- * Kömür Santrali Uygulamaları

ele alınıp incelenecektir.

Şekil 7.1'de ise birleşik santraller, jeotermal enerji (ve diğer yeni enerji kaynakları) kullanımının, birincil kaynaklar ve tüketim sektörleri arasındaki enerji akışına etkisi şematik olarak gösterilmiştir.

7.2. Jeotermal Kaynaklarımız

Ülkemizin jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengin olduğu bilinmektedir. Fakat bugün için sadece Denizli-Kızıldere sahasında 15 MW'lık elektrik üretimi ve 3000m² lik sera ısıtılması uygulaması mevcuttur. Jeotermal kaynaklarımızın rasyonel kullanım planlamasının, birleşik ısı-elektrik santralleri planlaması ile birlikte elektrik ve ısı üretimi için öncelikle ele alınması gerekmektedir. Hemen hemen bütün yurdu kaplayan 600'den fazla sıcak su kaynağı



Şekil 7.1. Birleşik santraller, jeotermal enerji (ve diğer yeni enerji kaynakları) kullanımının, birincil kaynaklar ve tüketimi sektörleri arasındaki enerji akışına

tespit edilmiş bulunmaktadır. Bunlar 20°C ile 100°C arasında (ve daha yüksek sıcaklıklarda buhar halinde) olup, birçok kaynağın rezervuar sıcaklığı 200°C'nin üzerinde tahmin edilmektedir. Kaba tahminlere göre, jeotermal enerjiden yararlanarak birkaç bin MW'lık elektrik üretimi (1200 MW - 4500 MW) ile bunun birkaç misli kentsel-endüstriyel-tarımsal ısıtma uygulaması mümkün görülmektedir. Maliyet açısından, jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi, katı yakıt kullanan termik santrallerden %40 -%50 daha ekonomik, ısıtmada kullanım ise %60 -%70 daha ekonomik olabilecektir. Böylece, jeotermal kaynaklarımızın daha ayrıntılı bir dökümünün yapılması ve ülke çapında birleşik ısı ve elektrik üretimi planlamasında öncelikle değerlendirilmesi gereği açıklıkla görülmektedir.

7.3. Isı Pompası Uygulamaları

Isı pompası esas olarak soğutma gayesi ile buzdolaplarında kullanılan donanımdan ibarettir. Fakat ısı pompasında gaye ısının absorbe edilerek ortamın soğutulması değil, ısı temin edilerek ortamın ısıtılmasıdır. Bu işlem, ısı pompasında kapalı bir devre içinde kullanılan düşük buharlaşma ısısına sahip bir akışkanın (genel olarak Freon flüorokarbonlarından biri, diklorodifluorometan gibi) bir kompresör vasıtasıyla periyodik olarak buharlaştırılıp tekrar yoğunlaştırılması ile yapılır. Havada (güneş enerjisinin depoladığı), veya, atık sularda, düşük entalpili jeotermal kaynaklarda bol miktarda bulunan düşük kaliteli ısıdan, ısı pompası yardımı ile az miktarda enerji harcamasıyla istenilen

ortamı kademeli olarak daha yüksek sıcaklıklara yükseltecek ısı temin edilir. Isı pompasının ısıtılacak ortama temin ettiği ısı enerjisiyle ısı pompasının bu iş için harcadığı enerji arasındaki oran, pompanın performans katsayısı (coefficient of performance=c.o.p.) olarak tanımlanır. Bu oran, piyasada mevcut ısı pompalarında 3.0 civarında olup, ısı alınan ortam ve ısı temin edilen ortamın sıcaklıklarına (ve diğer bazı şartlara) bağlı olarak değişebilmektedir. Bazı pompalarla ve bazı durumlarda, daha yüksek c.o.p değerleri (5.0'den büyük) elde edilebilmektedir. Görülüyorki ısı pompası, enerji verimliliği açısından birleşik santrallerden ısı üretimi ile karşılaştırılabilecek durumdadır.

Isı pompasının, binaların tek tek merkezi ısıtılmalarında kullanılmasında dahi önemli yakıt tasarrufu imkanı görülmektedir. Fuel-oil kullanan merkezi ısıtma sistemlerinde verim %40-%60 civarında olup, gene fuel-oil ile çalışan ısı pompası ile c.o.p=2.5 bile olsa %75'in üzerinde verim elde edilebilmekte, %60 verim için c.o.p=2.0, %50 verim için c.o.p 1.6 olması yeterli olmaktadır. Dolayısıyla c.o.p=3.0 olan bir ısı pompası önemli tasarruf sağlayabilecektir.

İngiltere'de, bölgesel merkezi ısıtma için bileşik santraller ve konut merkezi ısıtması için doğalgaz ile çalıştırılan ısı pompalarını karşılaştıran çalışmalar (Marshall komitesi raporu-The Economist), faiz oranı %10'un üzerinde ve yerleşim yoğunluğu 20 konut/akr altında olduğu zaman, doğalgaz ile çalıştırılan ısı pompasının birleşik santraldan daha ekonomik olacağını göstermiştir.

7.4.Nükleer Santral Uygulamaları

Nükleer yakıtlı kojenerasyon santrallerinde hemen hemen aynı mantıkla çalışırlar. Fakat bu santrallerin kuruluş yerlerinin uzak oluşu ve çevrelerinde fazla yerleşim yerlerinin olmayışı, kojenerasyon uygulamalı nükleer santrallerinin sınırlı olmasında büyük rol oynamıştır. Ayrıca yakıtın özelliğinden dolayı ekstra tedbirlerin uygulanmasını gerektirmektedir.

Genel olarak sanayide ihtiyaç duyulan yüksek basınçlı buharın bu tür sistemlerden elde edilmesi zordur. Bu yüzden, düşük basınçlı buhar, sıcak su ve merkezi ısıtma gibi yerlerde uygulama alanı bulabilmektedir. (Tablo 7.1)

Tablo 7.1: Proses basıncına göre buharın kullanıldığı endüstri türü ve uygulamaları

| Endüstri Türü | Tip | Proses Basıncı | Uygulama / Ürün |
|--------------------|-----|--------------------------|--|
| Kimya | G/K | 4-45 Bar | Rafineri, petrokimya, polimer kimyası, kömür temizleme, gübre sanayi, deniz suyu arıtma. |
| Ağaç işleme, fiber | G | 3-20 Bar | Kağıt, mobilya, tekstil. |
| Gıda Sanayi | G | 1.5-5 Bar | Süt, şeker, konserve, içecek. |
| Metal | K | 70 Bar 510°C'ye kadar | Alüminyum, otomotiv, çelik. |
| Atık Kazanım | K | 40 Bar, 450°C | Atık çöp işleme, termal atık kazanım |

G: Geri basınçlı türbin öncelikli

K: Kondensasyonlu türbin öncelikli

7.5.Kömür Santralı Uygulamaları

Kömür, çöp, atık malzeme (yan ürünler; orman ürünleri artıkları v.b.) gibi yakıtlar asal yakıt olarak kullanılarak

elektrik üretilmektedir. Bu tür sistemlerde kömür genel olarak tek başına kullanılmaktadır. Diğer yakıtlar ise değerlendirilmeleri açısından kömürle birlikte kullanılmaktadır. Yakıtların özelliklerine göre değişik türlerde yakma işlemleri uygulanmaktadır. (Normal pulvarize kömür kazanları, akışkan yatak tipli kazanlar v.b.) Bu türde yakma sistemleriyle çalışan santrallarda kojenarasyon kullanılarak, kondenserden dışortama bırakılan ısıdan faydalanılmaktadır. Elektrik üretimi ve ısı üretimi arasındaki koordinasyon buhar türbini sistemindeki yapısal değişikliklerle optimumhale getirilmektedir. Bu türbinler hemgeribasınçlı şekilde hemde kondensasyonlu şekilde çalışabilmektedirler. Amaç kondenserden atılacak olan ısının kazanılarak başka alanlarda kullanılmasıdır.

8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji, toplumsal hayatın hemen her kesimini yakından ilgilendiren bir unsur olduğundan, ekonominin bütünü ile yakın ilişkisi açıkça görülecektir. Dolayısıyla, enerji planlamasının ekonomik planlama ile bir bütünlük içinde ele alınması gerekmektedir.

Ülkemizin bugünkü koşullarında yerli enerji kaynaklarımıza dayalı enerji üretiminin mümkün olan en hızlı gelişimi ve en verimli kullanımı gerekmekte, bu kaynakların tamamı 2000'lerdeki enerji talebini ancak karşılayabileceğinden, daha sonraki dönemler için yeni enerji kaynaklarını devreye sokabilmemiz gerekmektedir. Bu durumda, bilinen rezervlerde dikkate alındığında kısa dönem enerji politikasının stratejisi ana hatlarıyla kendiliğinden belirlenmiş olmakta (ki bu, birincil kaynaklardan linyit ve hidro-elektrik potansiyele dolaylı enerji üretimi olarak ifade edilebilir) ve uzun dönem için hazırlık olmak üzere izlenecek yol ortaya çıkmaktadır. Bunlar, önümüzdeki 10-15 yıllık dönemin, yeni enerji kaynaklarının teknolojisini değerlendirme, geliştirme ve üretimin yanısıra, bu yeni kaynakların mevcut sistemle uyumlu, ekonomik yönden en iyilenmiş bir şekilde kullanımını sağlamak olarak belirmektedir.

Birleşik ısı-elektrik santralleri projesi, ısı enerjisinden elektrik üretimi, sanayi ve ısıtmada ortak kullanılma yollarının araştırılması ve ekonomik bakımdan en iyilenmiş bir çözüm bulunmasına yönelik olacaktır. Ülkemizde kısa ve orta dönemde kullanılması planlanan termik santraller büyük ölçüde linyite dayalı olacaktır. Bunların

bileşik santral olması durumunda, elektrik üretimi yanında, sanayi kuruluşlarının buhar ihtiyacı ve planlanacak merkezi ısıtma sistemlerinin ısı enerjisi bileşik santrallardan karşılanacaktır. Böylece, yakıtın verimli kullanımından dolayı önemli ölçüde tasarruf sağlanacak, ayrıca, çevre kirliliğine katkı azaltılmış olacaktır (Bu arada, sadece elektrik üretiminde kullanılan mevcut termik santrallerin de bileşik santrallara dönüştürülmesi düşünülebilir).

Orta ve uzun dönemde, birleşik ısı-elektrik santrallerinin planlamasının, kömür üretim ve tüketim planlaması ve sanayi ve yerleşme bölge planlamalarıyla yakın ilişki içine gireceği öngörülebilir. Gene uzun dönemde, nükleer santrallerin de birleşik ısı-elektrik santralleri olarak kurulması beklenebilir. Bu durumda, birleşik ısı-elektrik santralleri planlaması, uzun dönem enerji-ekonomi-endüstriyel planlamalar üzerinde etkin olabilecektir.

KAYNAKLAR

- 1- Ar, M., 1985. Sanayide Enerji Tasarrufu, T. Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. , İstanbul, 620.9:339.5
- 2- Baden, A.S. , 1987. Economic Design of District Heating Power Plants, Brown Boweri Review, vol.64, no 9
- 3- Derbentli, T., and Thomas, H., 1987. Thermodynamic and Economic Analysis of Cogeneration Steam Cycles, vol 93, Part 2, pp. 309-320
- 4- Derbentli, T., Eylül, 1987. Bölge Isıtmasında Birleşik Isı Güç Üretimi, Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği, Ankara
- 5- Diamand, R.M., 1990. Total Energy, Pergamon Presse, Oxford
- 6- Durmaz, A., 1987. "Birleşik Isı-Güç Santralleri ve Enerji Tasarrufundaki Önemi" ODTÜ Isılmaren Yayınları, Yayın no 6 Ankara
- 7- Genel Enerji Master Planı (1989-2003) Ara Rapor, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Planlama ve Koordinasyon Dairesi ve Danışma Kurulu Başkanlığı, Mart 1989
- 8- Genel Enerji, 1992. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT
- 9- Isles, J., May 1993. Dual Fuel Engine Solves the Solvent Problem, MPS Model Power Systems, Vol.13, No: 5 p.p. 79-8
- 10- Johansen, U.N., Lauridsen, T., and Orsslef, F., 1993. Advanced Fluidized Bed Set for Cogeneration
- 11- Kehlhafer, R., 1993. Combined Cycle Plants for Cogeneration of Process Steam and Power; Pub. No: CH-KW 201890 E, Siemens Power Journal Vol. 1

- 12- Orchard, W.R.H., and Sherratt, A.F.C., 1990. Combined Heat and Power, George Goldwin Ltd., London
- 13- Özgürel, B., and Şahin, S. (TEK Sant. Dai. Bşk.), Nisan 1994. Energy with All Aspects, in 21st. Century Symposium, İstanbul
- 14- Paren, J., and Parietti, C., Jan. 1991. Combined Cycle Plants Three Pressure Reheat Vega 109 F. Gec Alstom Technical Review No: 4 p.15
- 15- Riedle, K., 1991. Efficiency & Emissions Development Trends for Fossil Fueled Power Plants, Siemens Review p.p. 11-15
- 16- Schenck, K., and Zörner, W., Oct. 1990. Advanced Steam Turbines with Heat Extraction Walsum and Herne Power Plants; Siemens Reprint of Asme Paper for JPGC, Boston
- 17- Schmidbauer, R., Sep. 1991. Implementing Strategies for Reduced Energy Consumption, Siemens Review p.p. 4-6
- 18- Schulte, H., 1987. The Combined Generation of Heat and Electricity as a Means of Saving Primary Energy, 14. Dünya Enerji Konferansı
- 19- Stangberg, G., Jan. 1992. Two-Cylinder Concept Optimises Cogeneration, MPS Modern Power Systems, Vol. 12, No:1, p.p. 39-47
- 20- Sulzer, 1988. "Boiler Plant Handbook " Sulzer Brother Lmt. Winterhur, Switzerland
- 21- Tomlinsan, L.O., Chase, D.L., and Smith, R.W., 1991. GE Combined Cycle Product Line and Performance, p.p. 30-40, GE Company

- 22- Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğü "Türkiye Elektrik İstatistikleri Özeti (1993 yılı sonu) " Ağustos, 1994
- 23- Turna, T., Nisan 1993. Termodinamik Dergisi, Total Enerji Sistemi Makalesi
- 24- Viereck, D., 1993. GT13E2 The Most Efficient Low-Emission Gas Turbine in the 160 MW Class, ABB Review, p.p. 11-16, Vol. 6/7

Tablo E.1

Türkiye'de bilinen linyit rezervinin sahalar itibarıyla dağılımı, kül, nem, kükürt oranları ve ısıl değerleri

| Bölge No. | Sahanın yeri | | REZERV (1000 Ton) | | | | Damar kalınlıkları (m) | Kömür Analizleri | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|--|-------------------|---|---------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | | | Özel ve Kamu | | | | | Nem (%) | Kül (%) | S (%) | Hu | | |
| | İl | İlçe, Bucak, Köy | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam | kcal/kg | | | | LJ/kg | | |
| I | Edirne | Demirhisarlı | 20 000 | 35 000 | | 55 000 | 3. Damar 0.75-1.35 | 40,00 | 11,65 | — | 2700 | 11220 | |
| | | Keçan K. Değanca | | 5 000 | | 5 000 | — | 21,10 | 42,10 | 1,59 | 2140 | 8985 | |
| | | Meriç - Karayusuflı | | 10 000 | | 10 000 | 1 - 1,25 | 49 15 | 6,78 | 1,02 | 2631 | 11000 | |
| | | Uzunköprü - Harmanlı | | 14 500 | | 14 500 | 0,70 | 19,20 | 23,29 | 0,71 | 3500 | 14630 | |
| | | Enez - Çavuşköy | | 1 500 | | 1 500 | 1,80 | 27,29 | 19,89 | 3,58 | 3165 | 13230 | |
| | Tekirdağ | Malkara - Hasköy | G.M. 35 000 | | | 35 000 | 3. damar 1.5 | 29,78 | 25,70 | 1,53 | 2490 | 10410 | |
| | | Malkara - Evrenbey | | 7 000 | | 7 000 | 1.5 | 33 47 | 18,06 | 1,50 | 2728 | 11405 | |
| | | Malkara - Atometpaşa | | 8 500 | | 8 500 | III d 1,54 IV d 1,10 V. d 0,80 | 26,81 | 27,53 | 1,37 | 3115 | 13020 | |
| | İstanbul | Saray | | 40 000 | 20 000 | 60 000 | 0.55 - 3.50 | 38,02 | 17 52 | 2,02 | 2500 | 10450 | |
| | | Eyüp - Aşağı | | 10 000 | | 10 000 | 3 damar 1 d 3 2 d 2 3 d 1 | 25,78 | 15,59 | 2,32 | 3400 | 14210 | |
| | Bursa | Şile - Üvezli | | | 250* | 500* | 750* | 1,20 | 8,00 | 12,43 | — | 4560 | 19000 |
| | | Çatalca | | | 1 300 | 1 300 | 1 - 1,4 | — | — | — | — | — | |
| | | M. Kemalpaşa - Deveci konağı, Bükköy | | 11 000 | 5 000 | 2 800 | 18 800 | 1.5 - 3 | 11,64 | 27,05 | 3,71 | 3840 | 16050 |
| | | M. K. Paşa, Çaltılıbük | | 1 700 | 1 700 | | 3 400 | 3 | 13,88 | 13,59 | 4,48 | 3000 | 12540 |
| | | Sığırcınar - Orhanelli, Barın, Cevli, Sağrılar | | S: 9 676 Ç: 10 728 B: 11 494 O: 26 070 | | | 57 966 | 3,25 2,70 7,50 5,05 1,06 | 27,75 21,70 31,73 23,63 38,13 | 14,52 40,37 21,03 21,51 31,00 | 2,65 2,12 1,70 2,01 1,86 | 3556 2194 2694 2752 1200 | 14065 9170 11260 11590 5015 |
| | Çanakkale | Yeniköy - Orhangazi Keles | | | 400 | | 400 | 2,00 | — | — | — | — | |
| | | Çan temis kull | | 108 311,6 35 032,2 | | | 143 343,8 | 10,0 6,0 | 23,34 18,74 | 23,18 52,19 | 3,18 — | 3254 1228 | 13600 5135 |
| | | Yenice - Pazarköy Yenice - Hamdibey - Örencik | | | 250 10 000 | | 250 10 000 | 5,0 2,0 | 25,00 29,78 | 18,00 11,52 | 2,00 3,82 | 3000 — | 12540 — |
| | Balıkesir | Dursunbey - Karacak | G.M. 11 000 | | 4 000 | 15 000 | 1,0 | 19,00 | 15,00 | 1,35 | 3800 | 15885 | |
| | | Gönen - Sebebli Bengiler | | | 600 300 | 600 300 | 9,5 — | 7,78 — | 16,48 — | — — | — — | 5400 — | 22570 — |
| | Burdur | Tefenni | | 5 000 | 10 000 | 15 000 | 0.0.0.5 - 1 A.D. 1.5 | 23,09 | 10,73 | 2,50 | 1734 | 7250 | |
| Merkez - Sultandere | | | 1 000 | | 1 000 | 1,05 - 1,15 | 8,00 | 45,00 | 1,64 | 2800 | 11705 | | |
| Bolu | Gerde - Mengen - Salıpazarı | | | | 20 500 | 2 damar 0.8 - 3 | 17,35 | 10,85 | 7,60 | 4800 | 20065 | | |
| | Gökçesu - Merkeşler | | 12 000 | | 12 000 | UD 0.5-0.8 UD 0.125 A.D. 0.4 2.7 | 9,00 | 28,00 | 6,91 | 4100 | 17140 | | |
| Isparta | Yalvaç - Yarıkkaya | | | | | 1,0 | 25,00 | 23,61 | 2,41 | 2820 | 11705 | | |

Tablo E.1'in devamı

| Bölge No. | Saharanın yeri | | REZERV (1000 Ton) Özel ve Kamu | | | | Damar kalınlıkları (m) | Kömür Analizleri | | | | |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------|----------|------------|------------------------|------------------|---------|-------------|--------------|--------------|
| | İl | İlçe, Bucak, Köy | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam | | Nem (%) | Kül (%) | S (%) | Hu | |
| | | | | | | | | | | | kcal/kg | kJ/kg |
| I | Denizli | Denizli - Çivril Tokça | 1 500 | 5 000 | 3 500 | 10 000 | A.D. 1,5 | 21,20 | 14,20 | 3,7 | 3000 | 12540 |
| | | Kale - Kurbalık | | 4 000 | 5 000 | 9 000 | 2-3,2 | 11,33 | 18,47 | 3,1 | 4000 | 16720 |
| | | Sarayköy - Kabasğaç | | | 500 | 500 | 0,5-1,3 | — | — | — | — | — |
| | Afyon | Sincanlı - Dumlupınar | 2 500 | | 2 500 | 2 500 | 0,8-2,0 | 32,82 | 18,52 | 4,46 | 2600 | 10870 |
| | Lüzür | Cumaovası | | | | | 0,5-0,8 | 15,04 | 26,74 | 2,85 | 4300 | 17975 |
| | | Tire | | | 600 | 600 | 0,3-2,0 | — | — | — | 3200 | 13775 |
| | Aydın | Karabayıt - Şahinalli | | 11 500 | | 11 500 | 3-6 | 19,45 | 27,48 | — | 3150 | 13170 |
| | | Söke | | | 2 000 | 2 000 | 0,6-1,0 | 16,00 | 22,00 | 3,16 | 3800 | 15885 |
| | | Nazilli - Merkez Cerenez | | | 1 000 | 1 000 | 1,5-2,0 | — | — | — | — | — |
| | | Kuyucak - Pamukören | | | | | 4. damar | 21,48 | 15,31 | 1,00 | 4151 | 17350 |
| | | Köşk - Başçayır | G.M. 125 | | 500 | 500 | 3. damar | — | — | 5,90 | 4393 | 18360 |
| | Manisa | Köşk - Kızılcayır | | | | 125 | 1,2 | — | — | — | 5755 | 24055 |
| | | Karabayıt - Kuloglu | | | | | 0,8-1,5 | — | — | — | 3000 | 12540 |
| | | Gördes - Çitak | | | | | 1,5 | 20,90 | 17,43 | 5,80 | 3600 | 15050 |
| | Soma | Soma - Egnez - Sarıkaya | 37 000* | | | 37 000* | A.D. 2-4,5 | 18,00 | 20,00 | 1,03 | 4200 | 17555 |
| | | Dereköy, Tarhala, Deniz | 25 000 | 59 000 | | 144 000 | A.D. 2-10 | 18,00 | 20,00 | 1,03 | 4200 | 17555 |
| | Muğla | Milas - Hüsamilar | | 15 000 | | 15 000 | 6,5 | 33,75 | 22,68 | 3,57 | 2300 | 9615 |
| | | Yatağan - Bayır | | 20 000 | 80 000 | 100 000 | 8-10,0 | 30,55 | 23,34 | 2,45 | 2660 | 11120 |
| | | Yatağan - Eskihisar | 131 068,8 | | | 131 068,8 | 11,0 | 34,93 | 20,75 | 0,99 | 2782 | 11630 |
| | | Yatağan - Tınaz - Bağyaka | G.M. 25 000 | | 25 000 | 25 000 | 3,0 | 23,75 | 20,73 | 2,75 | 3000 | 12540 |
| Kütahya | Milas - Ören - Alakulise | | | 2 000 | 2 000 | 1,3-1,4 | 25,88 | 12,62 | 4,85 | 3600 | 15050 | |
| | Gediz - Ayçadı | 145 | 300 | 1 500 | 1 945 | — | 4,45 | 25,20 | 5,60 | 5300 | 22155 | |
| | Gediz - Sarıköy - Göbeler | | 11 500 | 1 000 | 12 500 | Ü.D. 1-1,5 | 2,75 | 21,42 | 8,37 | 5748 | 24025 | |
| | Seyitömer | 210 000* | 19 000* | — | 229 000* | 4-22 | 33,54 | 19,10 | 1,36 | 2750 | 11495 | |
| | Tavşanlı - Turuncbilek | 259 000* | 43 000* | — | 252 000* | 7,0 | 15,00 | 10,00 | 1,50 | 6000 | 16720 | |
| | Domanıç | | 35 000* | 5 000 | 40 000 | 4-5 | 15,00 | 10,00 | 1,50 | 4000 | 16720 | |
| | Tavşanlı - Alabarda | | | 1 700 | 1 700 | 4-6 | 8,7 | 9,4 | 1,64 | 5550 | 23200 | |
| | | | | | | 15,8 | 10,3 | 2,01 | 5870 | 24335 | | |
| II | Ankara | Ayaş - Kaya | | | | | 1,2 | 30,30 | 29,80 | 4,90 | 2800 | 11705 |
| | | Beyazarı - Devutoglan | | | | | 2. damar | 0,10 | 23,10 | 4,70 | 3144 | 13140 |
| | | Karlı | 153 000* | — | — | 153 000* | Ü.D. 1,5 | 26,16 | 10-18 | 21,35 | 4,70 | 3221 |
| | Çankaya - Gölbaşı (Bahçeköy) | G.M. 20 000 | | | 20 000 | | A.D. 1,5 | 18-24 | 23,81 | 4,70 | 3241 | 13545 |
| | | | 4 500 | | 4 500 | | 6,0 | 46 | 22,10 | 1,52 | 1630 | 6690 |
| | | | | | | Ü.D. 0,7-1 | 10,00 | 36,11 | 5,20 | 3000 | 12540 | |
| | | | | | | A.D. 5,2 | — | — | — | — | — | |
| III | Samsun | Havza | | 40 000 | 10 000 | 50 000 | 2. damar | 44,0 | 20,0 | 1,01 | 1600 | 6590 |
| | | A.D. 4,5 | | | | | | | | | | |
| | Tokat | Havza - Beyviran | 1 340 | 2 500 | 10 500 | 14 340 | 1,2-1,3 | 1,1 | 54,0 | 3,29 | 3000 | 12540 |
| | | Artova | | | | | Ü.D. 1,1 | | | | | |
| | | Zile - Büyükbultu - Kayacın | | | | | A.D. 0,9 | 23,75 | 13,75 | 4,58 | 3976 | 16620 |
| | Amasya | Zile - Büyükbultu - Kayacın | | | | | Ü.D. 0,4 | 33,50 | — | 4,68 | 2245 | 9285 |
| | | A.D. 2,0 | | | | | | | | | | |
| | Çorum | Merzifon - Yenicealtık | | 2 500 | 1 500 | 4 000 | 1,5-2,5 | 6,33 | 9,75 | 1,25 | 5500 | 22990 |
| | | Akpınar - Dodurga | 14 000* | 8 000* | — | 22 000* | Tv. 3,0 | — | 7 | — | 0+10/ %40 | 0+10/ %40 |
| | Çankırı | Orta | | | | | Tb. 1-2,5 | 24,00 | 12 | 1,55 | -3600 | -15950 |
| | | | | | | | Tb. 2 | — | 14 | — | +10- | +10- |
| | | | | | | | | | | | 18/%10 | 18/%10 |
| Kastamonu | Tosya | | | | | | | | | -4200 | -17555 | |
| | | | | | | | | | | +18/ %50 | +18/ %50 | |
| | | | | | | | | | -4500 | -18810 | | |
| | | | | | | 1,5 | — | — | — | 5605 | 23430 | |
| | | | | | | 1,0 | 18,70 | — | — | 3977 | 16225 | |
| | | | | | | Ü.D. 1-30 | | | | | | |
| | | | | | | A.D. 4-46 | 51,50 | 23,50 | 0,57 | 800 | 3345 | |
| | | | | | | 2. damar | | | | | | |
| | | | | | | 0,5-0,8 | 24,41 | 19,52 | 4,0 | 3400 | 14210 | |

Tablo E.1'in devamı

| Bölge No. | Sahadanın yeri | | REZERV (1 000 Ton) | | | | Damar kalınlıkları (m) | Kömür Analizleri | | | | | |
|--------------------|----------------|--|---|----------------|------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| | | | Özel ve Kamu | | | | | Nem (%) | Kül (%) | S (%) | Hu | | |
| | İl | İlçe, Bucak, Köy | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam | kcal/kg | | | | kJ/kg | | |
| IV | Kayseri | Fınarbaşı - Kırkgeçit | 15 | 350 | | 365 | 2. damar U.D. 0,3 A.D. 0,7 | — | Yük. | — | 3000 | 12540 | |
| | | Fınarbaşı - Kalıboğan Sarıoğlan - Karapınar | 60 | 500 | 1800 | 1800 | 0,4 - 1,5 3-4 damar 0,25 - 0,75 | — | — | 12,28 | 4-5 | 4000 4200 | 16720 17556 |
| | | Sarıoğlan - Tatlı Yahyalı | 22 | 100 | 900 | 900 | 0,5 - 1,3 0,5 - 0,6 | — | — | 15,00 | 8 | 4500 4000 | 18810 16720 |
| | | Yeşilbuca - Hacibelen | 30 | 240 | | 270 | 3. damar 0,25 | — | — | — | — | 4500 | 18810 |
| | Adana | Karaisalı - Kayadibi Kozan - Baraklı | 30 27 | 100 75 | 800 450 | 930 552 | 3,2 0,8 - 1,95 | 5,50 — | 14,30 — | 3,83 — | 5700 6200 | 23825 25915 | |
| | | Nevşehir | Gülşehir - Dadağı - Arafa | | 2300 | 700 | 3000 | 1,2 - 1,6 | 3,32 | 19,38 | 6,05 | 5000 | 20900 |
| | Kırşehir | Çiçekdağı - Arabıncıköyü | 60* | — | — | 60* | 2,0 | 25,0 | 10,00 | — | 4500- 5000 | 18810- 20900 | |
| | V | Sivas | Kangal | 142 472 | | | 142 472 | U.D. 8,0 A.D. 8,0 | 47,88 | 21,64 | — | 1342 | 5610 |
| Divriği - Uluçayır | | | | | 2500 | 2500 | 0,7 - 1,2 | 4,0 | 26,00 | 4-8 | 4500 | 18810 | |
| Maraş | | Ebistan (Milyon ton) | 1 770* | 1 376* | — | 3 146* | 39,38 | 52,18 | 20,02 | — | 1100 | 4600 | |
| Yozgat | | Sorgun | 10 050 | 3 000 | 7 000 | 20 000 | U.D. 1,0 A.D. 2,0 | 7,89 | 30,49 | 4,59 | 4425 | 18495 | |
| VI | Ağrı | Eleşkirt | | | | | 0,75 | 29,28 | 20,37 | — | 1520- 2918 | 6355- 12290 | |
| | | Erzurum | Aşkale Kültürü | 76* | 270* | 2 104* | 2 450* | 3. damar 0,55 - 1,20 | 5,66 | 36,44 | 3,74 | 4500 | 18810 |
| | | Balkaya - Oltu Hınıs Zırnak | G.M. 18 500 | 1 000 | 1 000 | 2 000 | 18 500 | 3,5 - 4,0 | 9,78 | 29,80 | 2,84 | 4500 | 18810 |
| | | Horasan - Pekiç İspir - Karahan | | 6 000 | 5 000 | 5 000 | 6 000 | 1,7 A.D. 1,2 | 36,00 | 16,20 | — | 2500 | 10450 |
| | | Oltu - Sutkara | | 3 500 | | 3 500 | 6 000 | U.D. 1,9 2,0 | 21,25 | 33,75 | 1,62 | 2620 | 10950 |
| | | Bingöl | Karlıova - Halifan | G.M. 45 000 | | | 45 000 | U.D. 3,5 A.D. 2,0 | 41,04 | 24,81 | 0,6 | 2060 | 8610 |
| | Erzincan | Kemaliye - Başpınar | 10 050* | — | — | 10 050* | U.D. 2,0 A.D. 1,0 | 24,03 | 10,95 | 5,23 | 4080 | 17055 | |
| | | Refahiye - Alaklıbaşı - Köst Çayırlı - Çilhoroz | G.M. 4 000 12* | 204* | 900 | 1116* | 4 000 | 1,0 | 31,61 | 26,97 | 1,33 | 2200 | 9195 |
| | Gümüşhane | Kelkit | | 2 000* | — | 2 000* | U.D. 0,4 A.D. 0,6 | — | — | — | 4500 | 18810 | |
| | VII | Van | Ereğli - Zilan Gurpınar - Nördüz Şahmanlı | G.M. 1 010 | 3 500 | | 3 500 | — U.D. 1,75 A.D. 1,00 | 15,49 13,20 | 41,68 15,00 | 0,36 1,02 | 3500 4500 | 15825 18810 |

* Kamu kesimi

| | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam |
|----------------------|---------|----------|--------|--------|
| Toplam (Milyon ton) | | | | |
| Kamu sektörü toplamı | 2 404 | 1 449 | — | 3 853 |
| Özel sektör toplamı | 108 | 560 | 209 | 1 477 |
| Genel Toplam | 3 112 | 2 009 | 213 | 5 333 |

Genel Toplam
(Bin ton)

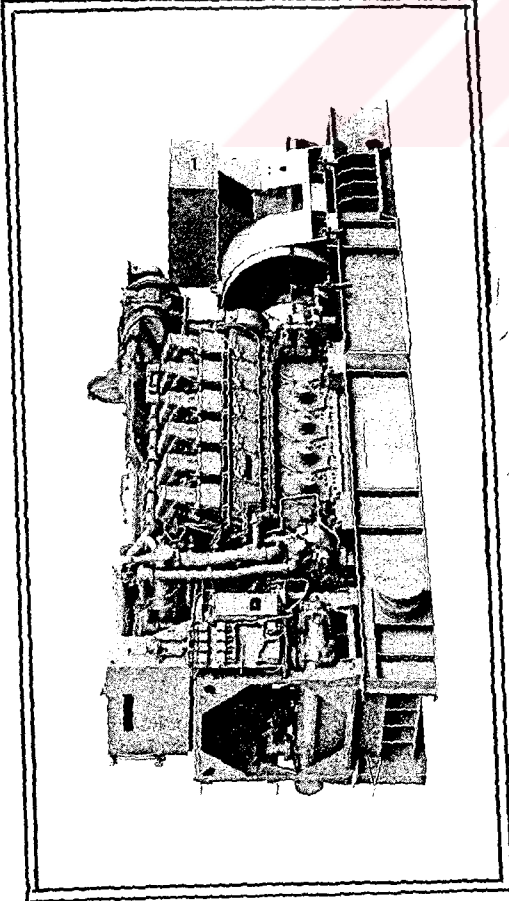
| | |
|-----------------------|-----------|
| Görünür | 3 111 848 |
| Görünür + Muhtemel | 159 635 |
| Muhtemel | 1 648 839 |
| Mümkün | 212 059 |
| | 5 332 431 |

U.D. = Üst damar
A.D. = Alt damar
G.M. = Görünür ve Muhtemel

Kaynak: Kömür Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Aralık 1986.

EK II

CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratör setinin teknik özellikleri



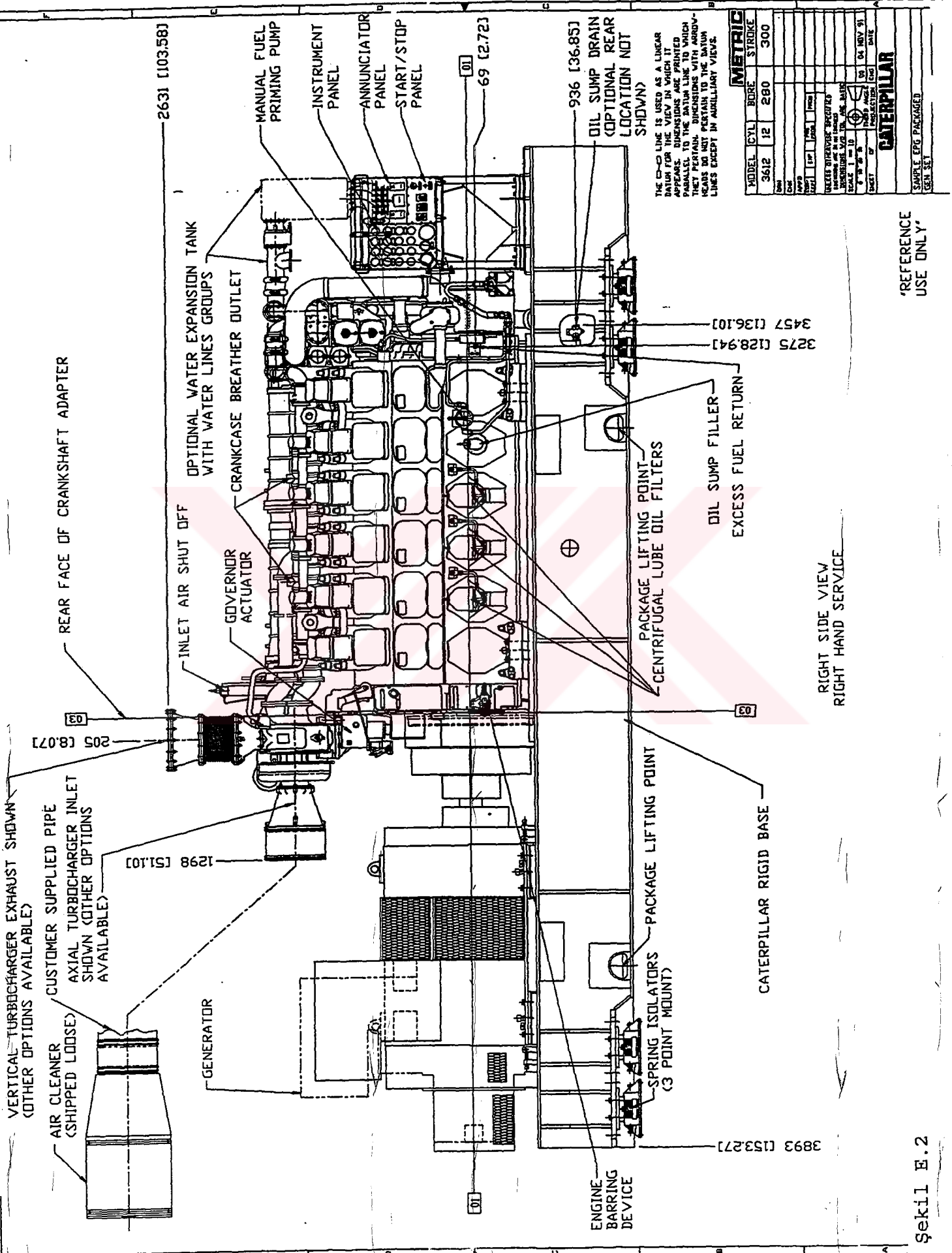
Şekil E.1

CAT firmasının imal ettiği 3612 modeli jeneratör setinin resmi

| Generator Set Engine Model | Displacement Liters (cu. in.) | kW at 720 RPM/60 Hz | | | kW at 750 RPM/50 Hz | | | kW at 900 RPM/60 Hz | | | kW at 1000 RPM/50 Hz | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|---------|----------------------|-------|---------|
| | | Continuous | Prime | Standby | Continuous | Prime | Standby | Continuous | Prime | Standby | Continuous | Prime | Standby |
| 3606 6 In-line | 110.8 6,764 | 1375 | 1525 | 1680 | 1420 | 1570 | 1730 | 1650 | 1820 | 2000 | 1760 | 1940 | 2150 |
| 3608 8 In-line | 147.8 9,018 | 1830 | 2020 | 2220 | 1890 | 2080 | 2290 | 2200 | 2420 | 2660 | 2350 | 2600 | 2860 |
| 3612 12 Vee | 221.7 13,527 | 2750 | 3050 | 3360 | 2840 | 3140 | 3460 | 3300 | 3640 | 4000 | 3520 | 3880 | 4300 |
| 3616 16 Vee | 295.6 18,036 | 3660 | 4040 | 4440 | 3780 | 4160 | 4580 | 4400 | 4840 | 5320 | 4700 | 5200 | 5720 |

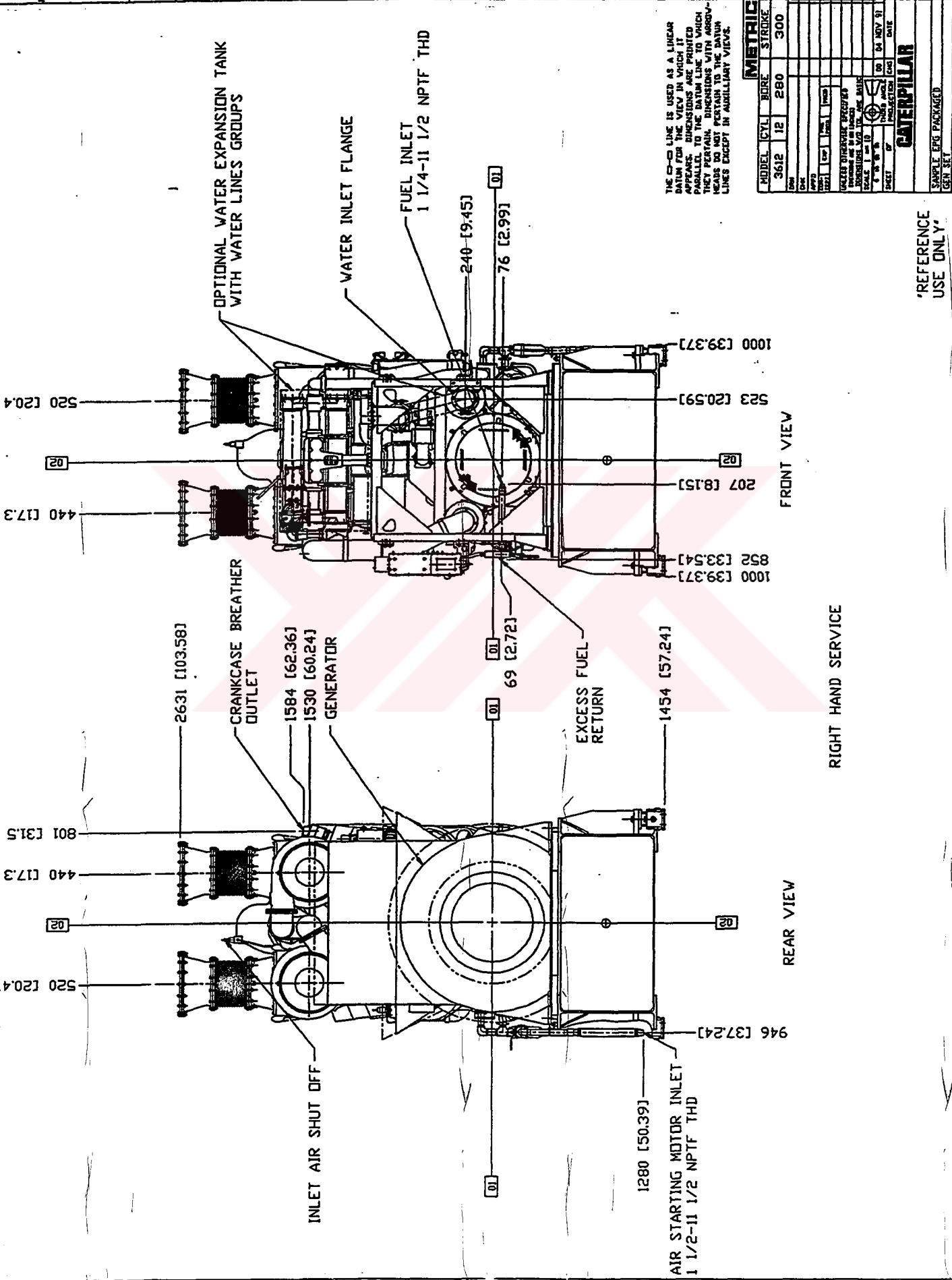
Tablo E.2

CAT firmasının imal ettiği 3600 modeli jeneratör setinin teknik özellikleri,



'REFERENCE USE ONLY'

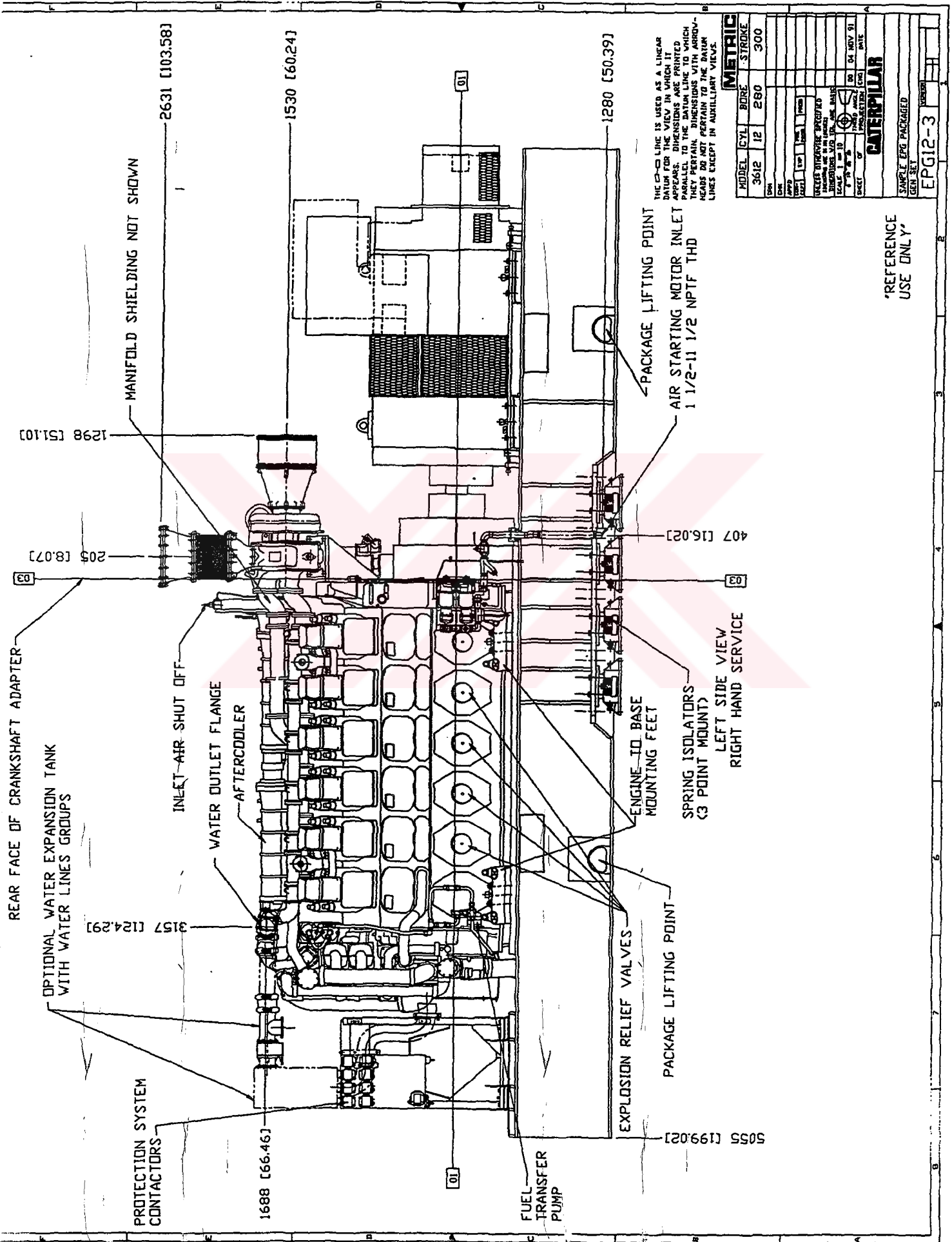
Şekil E.2



THE DIMENSION LINE IS USED AS A LINEAR DATUM FOR THE VIEW IN WHICH IT APPEARS. DIMENSIONS ARE PRINTED TO THE RIGHT OF THE DIMENSION LINE TO WHICH THEY REFER. DIMENSIONS TO WHICH HEADS DO NOT REFER TO THE DIMENSION LINES EXCEPT IN AUXILIARY VIEWS.

| METRIC | | | |
|----------|-----------------------------|------|--------|
| MODEL | CYL | BORE | STROKE |
| 3612 | 12 | 280 | 300 |
| FORM | | | |
| DATE | | | |
| BY | | | |
| CHECKED | | | |
| DESIGNED | | | |
| ENGINEER | | | |
| SCALE | 1" = 10" | | |
| DATE | NOV 91 | | |
| DRAWN | CATERPILAR | | |
| PROJECT | SAMPLE EFG PACKAGED GEN SET | | |

REFERENCE USE ONLY



THE 0-0 LINE IS USED AS A LINEAR DATUM FOR THE VIEW IN WHICH IT APPEARS. DIMENSIONS ARE PRINTED PARALLEL TO THE DATUM LINE TO WHICH THEY PERTAIN. DIMENSIONS WITH ARROW-HEADS DO NOT PERTAIN TO THE DATUM LINES EXCEPT IN AUXILIARY VIEWS.

| METRIC | |
|--------|--------|
| MODEL | STROKE |
| 3612 | 300 |
| 12 | 280 |

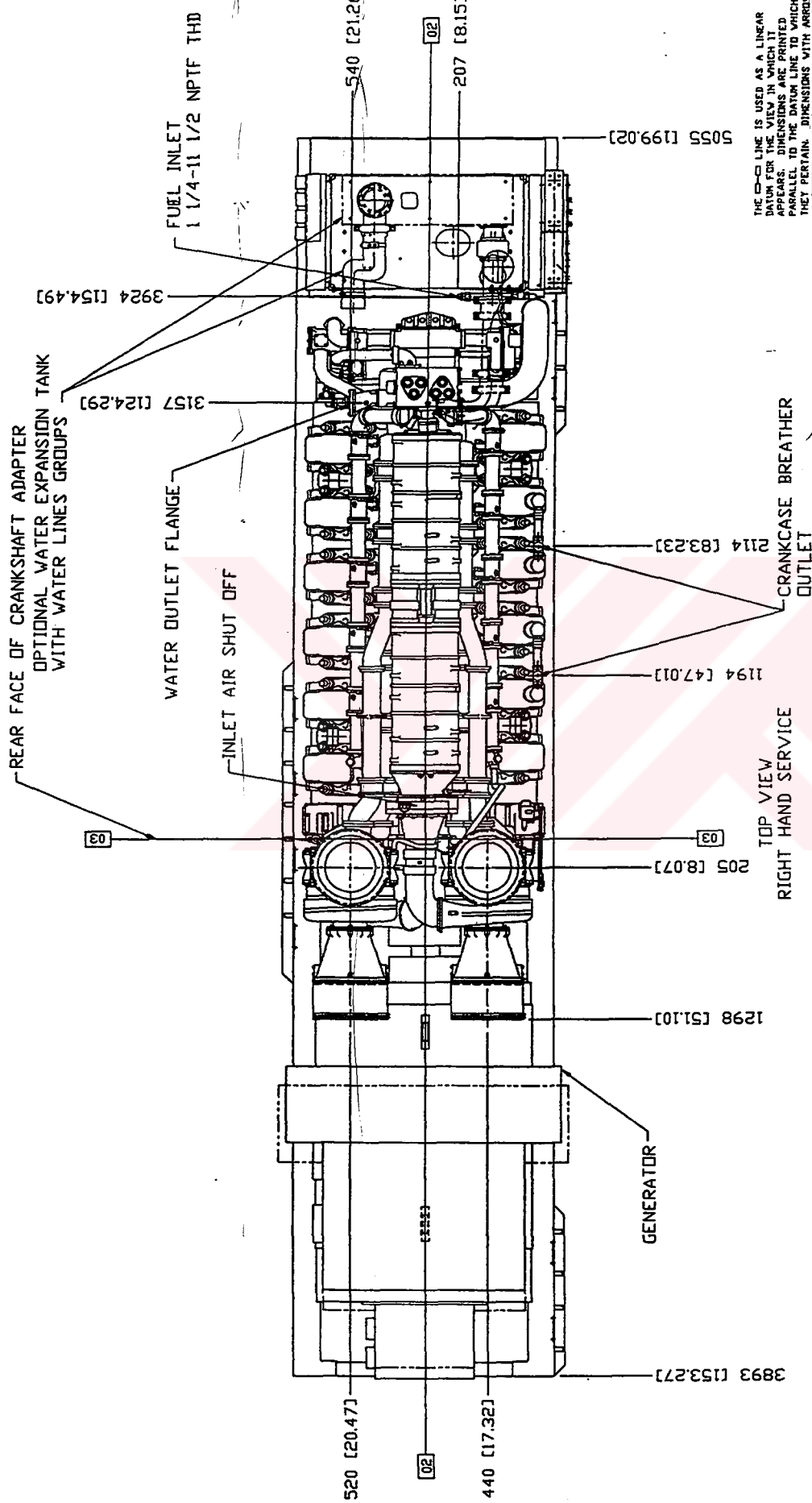
| | |
|-------------|-----------|
| DATE | 04 NOV 91 |
| SCALE | 1" = 10" |
| DRAWN BY | ... |
| CHECKED BY | ... |
| APPROVED BY | ... |
| DESIGN | ... |
| PROJECT | ... |

CATERPILLAR

SAMPLE EPG PACKAGED GEN SET

EPG12-3

"REFERENCE USE ONLY"



THE LINE IS USED AS A LINEAR DATUM FOR THE VIEW IN WHICH IT APPEARS. DIMENSIONS WHICH ARE PRINTED PARALLEL TO THE LINEAR DATUMS THEY PERTAIN. DIMENSIONS WITH ABOVE HEADS DO NOT PERTAIN TO THE DATUM LINES EXCEPT IN AUXILIARY VIEWS.

| METRIC | | |
|--------|------|--------|
| MODEL | BORE | STROKE |
| 3612 | 12 | 280 |
| | | 300 |

| | |
|-------------|-----------|
| DATE | 04 NOV 91 |
| DRAWN BY | |
| CHECKED BY | |
| APPROVED BY | |
| DESIGNED BY | |
| SCALE | 1:1 |
| PROJECTION | 1ST ANGLE |
| SHEET | OF |

CATERPILLAR

SAMPLE EPG PACKAGED
GEN SET
EPG12-4

"REFERENCE
USE ONLY"

EK III

DOĞALGAZ YANMALI BİRLEŞİK GÜÇ SANTRALLERİNİN KAPASİTELERİ

Tablo E.3

Borusan Makina Bigs / Caterpillar 3400 serisi gaz/motorları

| Santral Tipi | Faydalı Güç | | | | | Verim 90/70°C | | | |
|--------------|----------------|---------|----------|-----|---------|---------------|----------|------|--------|
| | İşletim Biçimi | mekanik | elektrik | ısı | karışım | enerji | elektrik | ısı | toplam |
| | | | 70/90°C | | | girişi | | | |
| Lambda= 1 | kW 2) | kW 3) | kW 4) | kW | kW 5) | % | % | % | |
| 3406 TA 70 | 202 | 195 | 325 | | 577 | 33.8 | 56.2 | 90.0 | |
| 3406 TA 54 | 214 | 206 | 333 | 11 | 611 | 33.7 | 54.5 | 88.2 | |
| 3406 TA 32 | 229 | 220 | 355 | 15 | 655 | 33.6 | 54.2 | 87.8 | |
| 3408 TA 70 | 248 | 239 | 399 | | 709 | 33.7 | 56.3 | 90.0 | |
| 3408 TA 54 | 266 | 256 | 416 | 13 | 761 | 33.6 | 54.7 | 88.3 | |
| 3408 TA 32 | 280 | 270 | 435 | 18 | 801 | 33.7 | 54.3 | 88.0 | |
| 3412 TA 70 | 373 | 360 | 601 | | 1067 | 33.7 | 56.2 | 90.0 | |
| 3412 TA 54 | 398 | 385 | 623 | 20 | 1138 | 33.8 | 54.8 | 88.6 | |
| 3412 TA 32 | 419 | 405 | 651 | 27 | 1198 | 33.8 | 54.3 | 88.1 | |

| Santral Tipi | Faydalı Güç | | | | | Verim 90/70°C | | | |
|--------------|----------------|---------|----------|-----|---------|---------------|----------|------|--------|
| | İşletim Biçimi | mekanik | elektrik | ısı | karışım | enerji | elektrik | ısı | toplam |
| | | | 70/90°C | | | girişi | | | |
| Lambda= 2,1 | kW 2) | kW 3) | kW 4) | kW | kW 5) | % | % | % | |
| 3406 TA 70 | | | | | | | | | |
| 3406 TA 54 | | | | | | | | | |
| 3406 TA 32 | | | | | | | | | |
| 3408 TA 70 | 248 | 239 | 360 | | 677 | 35.3 | 53.2 | 88.5 | |
| 3408 TA 54 | 264 | 254 | 353 | 30 | 720 | 35.3 | 49.0 | 84.3 | |
| 3408 TA 32 | 280 | 270 | 368 | 39 | 764 | 35.3 | 48.2 | 83.4 | |
| 3412 TA 70 | 361 | 349 | 510 | | 967 | 36.1 | 52.7 | 88.8 | |
| 3412 TA 54 | 384 | 371 | 501 | 41 | 1029 | 36.0 | 48.7 | 84.7 | |
| 3412 TA 32 | 408 | 394 | 523 | 52 | 1093 | 36.0 | 47.9 | 83.9 | |

1. Lambda=1 ve fakir yanma prensibine göre egzost gazı ve turbo sarjı

2. ISO-Standart Kapasite, 1500 dev/dak., ISO 3046/1-1991

3. COSφ=1

4. Egzost gazlarının 120°C de soğutulması koşulu

5. ISO 3046/1-1991 tolerans +/- %5

6. Yeni katalizör

| EGZOST EMİSYONLARI | | | |
|--------------------|------------|-----|-----|
| İŞLETME BİÇİMİ | | NOx | CO |
| Lamda=1 | | 150 | 250 |
| Lamda =2 | TA-Lufl | 500 | 650 |
| Lamda =2 | TA-Lufl1/2 | | |

İSTEĞE BAĞLI

Tablo E.4

Borusan Makina Bigs / Caterpillar 3500 serisi gaz motorları

| Santral Tipi | Faydalı Güç | | | | | Verim 90/70°C | | | | |
|--------------|----------------|--------|----------|-----|-------|---------------|----------|------|--------|------|
| | İşletim Biçimi | mekan. | elektrik | ısı | kaşım | enerji | elektrik | ısı | toplam | kar. |
| | | | 70/90°C | | | girişi | | | | |
| Lambda= 1 | kW 2) | kW 3) | kW 4) | kW | kW 5) | | % | % | % | |
| 3508 TA 70 | 476 | 462 | 663 | | 1275 | | 33.8 | 56.2 | 90.0 | |
| 3508 TA 54 | 505 | 489 | 636 | 73 | 1353 | | 33.7 | 54.5 | 88.2 | |
| 3508 TA 32 | 535 | 518 | 660 | 90 | 1433 | | 33.6 | 54.2 | 87.8 | |
| 3512 TA 70 | 714 | 693 | 996 | | 1913 | | 36.2 | 52.1 | 88.2 | |
| 3512 TA 54 | 758 | 735 | 956 | 109 | 2031 | | 36.2 | 47.0 | 83.2 | |
| 3512 TA 32 | 803 | 779 | 990 | 133 | 2152 | | 36.2 | 46.0 | 82.1 | |
| 3516 TA 70 | 951 | 918 | 1331 | | 2548 | | 36.0 | 52.2 | 88.2 | |
| 3516 TA 54 | 1011 | 975 | 1276 | 146 | 2709 | | 36.0 | 47.1 | 83.1 | |
| 3516 TA 32 | 1070 | 1032 | 1317 | 180 | 2867 | | 36.0 | 45.9 | 81.9 | |

"KIZGIN SOĞUTMA"

| Santral Tipi | Faydalı Güç | | | | | | Verim 90/70°C | | | |
|--------------|----------------|--------|----------|--------|-------|--------|---------------|----------|------|------|
| | İşletim Biçimi | mekan. | elektrik | ısı 4) | | | enerji | elektrik | ısı | kar. |
| | | | soğut. | yağ | kaşım | egzost | girişi | | | |
| Lambda= 1 | kW 2) | kW 3) | kW | kW | kW | kW | kW 5) | % | % | % |
| 3508 TA 70 | 440 | 427 | 287 | 46 | 52 | 228 | 1179 | 36.2 | 52.0 | 88.2 |
| 3508 TA 54 | 462 | 448 | 294 | 48 | 66 | 240 | 1238 | 36.2 | 52.3 | 88.5 |
| 3508 TA 32 | 490 | 475 | 302 | 49 | 80 | 254 | 1313 | 36.2 | 52.2 | 88.4 |
| 3512 TA 70 | 665 | 645 | 435 | 69 | 78 | 346 | 1782 | 36.2 | 52.1 | 88.3 |
| 3512 TA 54 | 695 | 674 | 443 | 73 | 100 | 361 | 1862 | 36.2 | 52.4 | 88.6 |
| 3512 TA 32 | 735 | 713 | 453 | 73 | 124 | 382 | 1969 | 36.2 | 52.4 | 88.6 |
| 3516 TA 70 | 930 | 901 | 608 | 97 | 109 | 484 | 2492 | 36.1 | 52.1 | 88.2 |
| 3516 TA 54 | 974 | 944 | 621 | 101 | 140 | 506 | 2610 | 36.2 | 52.4 | 88.6 |
| 3516 TA 32 | 1033 | 1001 | 637 | 102 | 172 | 537 | 2768 | 36.2 | 52.3 | 88.5 |

1. Lambda=1 ve fakir yanma prensibine göre egzost gazı ve turbo sarji
2. ISO-Standart Kapasite, 1500 dev/dak., ISO 3046/1-1991
3. COSφ=1
4. Egzost gazlarının 120°C de soğutulması koşulu
5. ISO 3046/1-1991 tolerans +/- %5
6. Yeni katalizör

EGZOST EMİSYONLARI

| İŞLETME BİÇİMİ | | NOx | CO | CmHn (Metansız) |
|----------------|-----------|-----|--------------|-----------------|
| Lamda =1.6 | TA-LuR | 500 | 650 | 150 mg/m3N |
| Lamda =1.6 | TA-LuR1/2 | | ISTEĞE BAĞLI | |

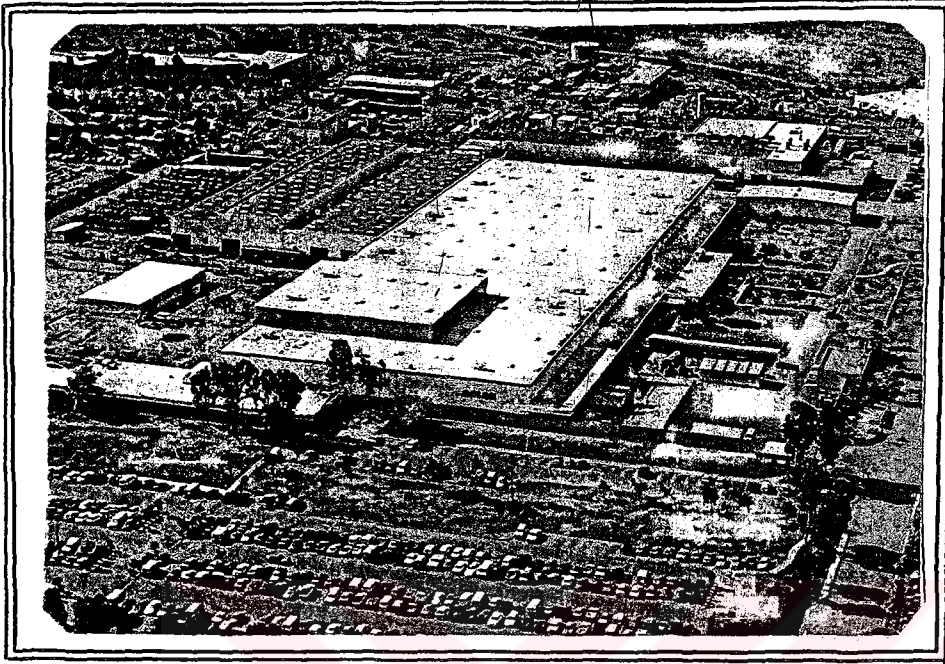
Tablo E.5

Borusan Makina Bigs / Caterpillar 3600 serisi gaz motorları

| Santral Tipi | Faydalı Güç | | | | | Verim 90/70°C | | |
|------------------|-------------|----------|---------|-----|--------|---------------|-------|--------|
| | mekanik | elektrik | ısı | | enerji | elektrik | ısı | toplam |
| İşletim Biçimi | | | 70/90°C | | girişi | | | |
| Lambda= 1 | kW 2) | kW 3) | kW 4) | kW | kW 5) | % | % | % |
| 3606 TA 70 6) | 1.192 | 1.152 | 1.445 | | 2.980 | 38.66 | 48.66 | 87.15 |
| 3606 TA 54 | 1.245 | 1.204 | 1.358 | 146 | 3.113 | 38.68 | 43.63 | 82.35 |
| 3606 TA 32 | 1.317 | 1.275 | 1.378 | 214 | 3.293 | 38.72 | 41.85 | 80.57 |
| 3608 TA 70 | 1.589 | 1.541 | 1.922 | | 3.973 | 38.79 | 48.38 | 87.17 |
| 3608 TA 54 | 1.660 | 1.610 | 1.811 | 195 | 4.150 | 38.79 | 43.64 | 82.43 |
| 3608 TA 32 | 1.755 | 1.702 | 1.833 | 285 | 4.388 | 38.79 | 41.78 | 80.57 |
| 3612 TA 70 | 2.383 | 2.310 | 2.883 | | 5.958 | 38.78 | 48.39 | 87.17 |
| 3612 TA 54 | 2.487 | 2.412 | 2.713 | 292 | 6.218 | 38.79 | 43.63 | 82.42 |
| 3612 TA 32 | 2.634 | 2.555 | 2.753 | 428 | 6.585 | 38.80 | 41.80 | 80.60 |
| 3616 TA 70 | 3.178 | 3.095 | 3.844 | | 7.945 | 38.95 | 48.38 | 87.33 |
| 3616 TA 54 | 3.319 | 3.232 | 3.619 | 390 | 8.298 | 38.95 | 43.62 | 82.57 |
| 3616 TA 32 | 3.510 | 3.418 | 3.668 | 570 | 8.775 | 38.95 | 41.80 | 80.75 |

1. Egzost turbo şarjı
2. ISO-Standart Kapasite, 1500 dev/dak., ISO 3046/1-1991
3. COS ϕ =1 ve orta gerilim
4. Egzost gazlarının 120°C de soğutulması koşulu
5. ISO 3046/1-1991 tolerans +/- %5
6. Yeni katalizör

| EGZOST EMİSYONLARI | | | | |
|--------------------|------------|--------------|------|--------------------------|
| İŞLETME BİÇİMİ | | NOx | CO | CmHn (Metansız) |
| Lambda =1.6 | TA-Luft | <500 | <650 | <150 mg/m ³ N |
| Lambda =1.6 | TA-Luft1/2 | İSTEĞE BAĞLI | | |



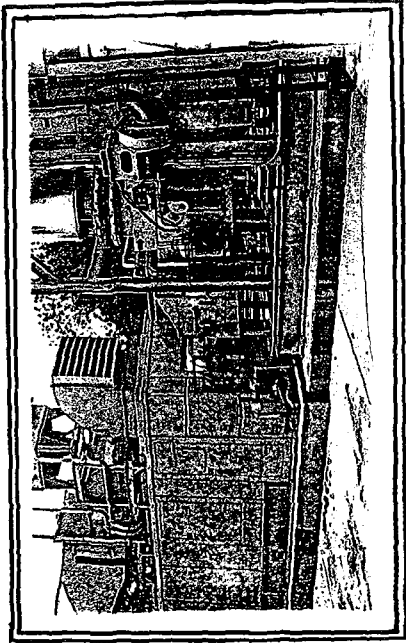
Şekil E.6

Solar türbinlerinin imal edildiği San Diego'daki fabrikanın resmi

Tablo E.6

Solar türbinlerinin modelleri ve boyutları

| Generator Set Designation* | Length, m (ft-in.) | Width, m (ft-in.) | Height, m (ft-in.) | Weight, kg (lb) |
|----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Mars 100/ Mars 100S | 14.53 (47' 8") | 2.80 (9' 2") | 3.35 (10' 11") | 68 040 (150,000) |
| Mars 90/ Mars 90S | 14.53 (47' 8") | 2.80 (9' 2") | 3.35 (10' 11") | 68 040 (150,000) |
| Taurus 70/ Taurus 70S | 11.61 (38' 1") | 2.74 (9' 0") | 3.35 (10' 11") | 49 895 (110,000) |
| Taurus 60/ Taurus 60S | 8.76 (28' 9") | 2.44 (8' 0") | 2.95 (9' 8") | 27 215 (60,000) |
| Centaur 50/ Centaur 50S | 8.76 (28' 9") | 2.44 (8' 0") | 2.95 (9' 8") | 27 215 (60,000) |
| Centaur 40/ Centaur 40S | 8.76 (28' 9") | 2.44 (8' 0") | 29.5 (9' 8") | 27 215 (60,000) |
| Saturn 20 | 5.77 (18' 11") | 1.65 (5' 5") | 2.18 (7' 2") | 9980 (22,000) |



Şekil E.7
Solar türbinlerinden Mars 90 modeliyle yapılmış
kojenersyonlu sistemin resmi

Tablo E.7 Solar türbinlerinin modelleri ve teknik özellikleri

| Gas Turbine Name and Model* | ISO Continuous Duty Output, kW _e | Heat Rate kJ/kW-hr (Btu/kW-hr) | Exhaust Flow kg/hr (lb/hr) | Exhaust Temperature, °C (°F) |
|-----------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Mars 100/ Mars 100S | 10 695 | 11 085 (10,505) | 149 920 (330,520) | 488 (910) |
| Mars 90/ Mars 90S | 9290 | 11 355 (10,765) | 141 010 (310,870) | 465 (868) |
| Taurus 70/ Taurus 70S | 6300 | 11 500 (10,900) | 91 815 (202,420) | 488 (910) |
| Taurus 60/ Taurus 60S | 4875 | 11 870 (11,250) | 76 925 (169,590) | 481 (898) |
| Centaur 50/ Centaur 50S | 4140 | 12 835 (12,165) | 68 465 (150,935) | 504 (940) |
| Centaur 40/ Centaur 40S | 3515 | 12 915 (12,240) | 67 005 (147,720) | 437 (819) |
| Saturn 20 | 1140 | 14 850 (14,075) | 23 240 (51,240) | 486 (907) |

ÖZGEÇMİŞ

| | |
|----------------|---|
| Doğum tarihi | 08 Aralık 1968 |
| Doğum yeri | Develi |
| İlköğrenim | Yeni Turan İlkokulu Evliya Çelebi Ortaokulu Ankara Lisesi |
| Yüksek Öğrenim | Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü |

