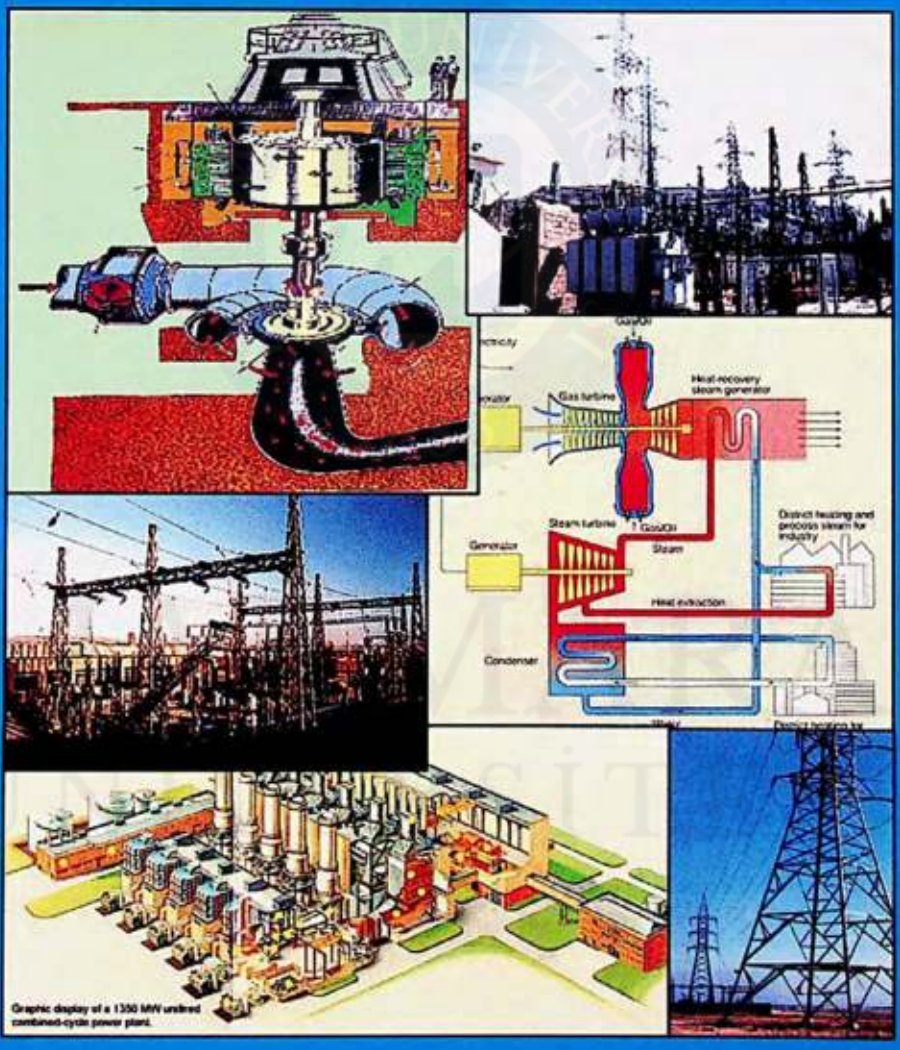
Marmara Üniversitesi Yayın No : 677
Teknik Eğitim Fakültesi Yayın No : 18

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ELEKTRİK TESİSLERİ I

(ÜRETİM MERKEZLERİ)

II. Baskı



Prof.Dr. İrfan GÜNEY

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYIN NO : 677
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ YAYIN NO : 18

ELEKTRİK TESİSLERİ I

(ÜRETİM MERKEZLERİ)

2. Baskı

Prof.Dr. İrfan GÜNEY

İstanbul, 2001

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA
ÜNİVERSİTESİ

ISBN : 975-400-235-5

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
DÖNER SERMAYE İŞLETMESİ
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
MATBAA BİRİMİNDE BASILMIŞTIR.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ELEKTRİK TESİSLERİ
(ÜRETİM MERKEZLERİ)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VII

SEMBOL LİSTESİ IX

1.0 GENEL TERMODİNAMİK 1
1.1 Sıcaklık, Isı ve Özgül Isı 1
1.2 Termodinamiğin Birinci Yasası 2
1.3 Termik Durum Özellikleri 2
1.4 İdeal Gazlar İçin Termik Durum Denklemi 3
1.5 Normal Şartlar 5
1.6 İş ve İşle İlgili Büyüklükler 6
1.7 İdeal Gazlar İçin Isıl Durum Denklemleri 8
1.8 İdeal Gazların Durumları 8
1.9 Isının Mekanik İşe Dönüşümü 9
1.10 Termodinamiğin İkinci Yasası 11
1.11 Buhar ve Gazlar 12

2.0 TEMEL KAVRAMLAR 15
2.1 İşletme Aracı 15
2.2 Elektrik Tesisleri 16
2.3 Elektrik Şebekesi 16
2.4 Enerji 16
2.5 Güç 17
2.6 Yük 17
2.7 Masraf 17

3.0 ELEKTRİK EKONOMİSİYLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER 19
3.1 Giriş 19
3.2 Ham Enerji Maddeleri (Primer Enerji) 22
3.2.1 Isıl Ham Enerji Maddeleri 23
3.2.2 Su Kuvveti 26
3.2.3 Rüzgar Kuvveti 26

3.2.4 Güneş Enerjisi 27
3.3 Yanma 27
3.3.1 Teorik Hava İhtiyacı 27
3.4 Baca ve Çekme 28
3.5 Santral Tipleri 28
3.6 Enerji Üretimi ve Tüketimi ile İlgili Tanımlar 29
3.7 Santral Grup Sayısı 39
3.8 Santral Yerinin ve Tipinin Belirlenmesi 40
3.9 Elektrik Enerjisinin Santrala Olan Maliyeti 41
3.10 Enerjinin Maliyeti Bakımından Santralların Karşılaştırılması 44
3.11 Paralel Çalışan Santrallar İçin Enerjinin Birim maliyeti 45
3.12 Enerjinin Şebekeye Olan Maliyeti 47

4.0 BUHAR SANTRALLARI 49
4.1 Buhar Santrallarının Sınıflandırılması 50
4.1.1 Üretim Türü Bakımından Sınıflandırma 50
4.1.2 Türbin İçindeki Buharın Genleşmesine Göre Sınıflandırma 51
4.1.3 Kuruluş Biçimine Göre Sınıflandırma 51
4.1.4 Çalıştırma Şekline Göre Sınıflandırma 52
4.1.5 Soğutma Suyu Sistemine Göre Sınıflandırma 52
4.1.6 Yakıt Cinsine Göre Sınıflandırma 53
4.2 Termik Santralların Yapısı 53
4.3 Termik Santrallarda Kullanılan Kazanlar ve Kazan Tipleri 58
4.3.1 Büyük Su Hacimli Kazanlar 59
4.3.2 Su Borulu Kazanlar 60
4.3.2.1 Doğal Sirkülasyonlu Kazanlar 60
4.3.2.2 Cebri Sirkülasyonlu Kazanlar 61
4.3.2.3 Benson Kazanları 61
4.3.2.4 Sulzer Kazanları 63
4.3.2.5 Velox Kazanları 64

5.0 BUHAR TÜRBİNLERİ 71
5.1 Buharın Akış Yönüne Göre Sınıflandırma 71
5.1.1 Eksenel Türbinler 71
5.1.2 Radyal Türbinler 71

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.2 Çalışma Şekline Göre Sınıflandırma 71
5.2.1 Aksiyon Türbinleri 71
5.2.2 Reaksiyon Türbinleri 72
5.3 Taze Buhar Basıncına Göre Sınıflandırma 72
5.4 Taze Buhar Sıcaklığına Göre Sınıflandırma 72
5.5 Çıkan Buharın Türüne Göre Sınıflandırma 72
5.5.1 Kondensasyon Türbinleri 72
5.5.2 Karşı Basınçlı Türbinler 72
5.5.3 Çekme Buharlı (Ara Buharlı) Türbinler 72
5.6. Termik Santrallarda Kullanılan Türbinler 73
5.6.1 Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri 73
5.6.2 Basınç Basamaklı Aksiyon Türbinleri 73
5.6.3 Eksenel Çalışan Basınç Basamaklı Reaksiyon Türbinleri 75
5.6.4 Radyal Çalışan Basınç Basamaklı Reaksiyon Türbinleri 76
5.6.5 Karma (Kombine) Türbinler 77
5.7 Kondense 77
5.8 Ejektörler ve Vakum Pompaları 79
5.9 Termik Santrallarda Suyun Yoğunlaştırılması 79
5.9.1 Açık Devre Soğutma 79
5.9.2 Kapalı Devre Soğutma 80
5.10 Buharın Isı Enerjisinin Kinetik Enerjiye Dönüşümü 81
5.11 Buharın Kinetik Enerjisinin Mekanik İşe Dönüşümü 82
5.12 Termik Santralda Verim 84
5.13 Gaz Türbinli Termik Santrallar 85
5.14 Diesel Yakıtlı Termik Santrallar 88
5.15 Nükleer Santrallar 94
5.16 Termik Ünitelerde Ekonomik Yüklenmenin Esasları 98

6.0 HİDROLİK SANTRALLAR 101
6.1 Baraj 102
6.2 Su Girişi 102
6.3 Cebri Borular 103
6.4 Valfler ve Savaklar 103
6.5 Türbinler 104
6.5.1 Türbinlerin Sınıflandırılması 110
6.5.2 Kavitasyon 111

6.5.3 Pelton Türbinleri 113
6.5.4 Francis Türbinleri 118
6.5.5 Kaplan Türbinleri 124

7.0 SANTRALLARIN ELEKTRİK TESİSLERİ 127

8.0 ÖRNEK PROBLEMLER 135

EKLER 151

KAYNAKLAR 189

İNDEKS 191

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ÖNSÖZ

Bu kitapta, dört yıldan beri Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Bölümü'nde haftada üç saat okutmakta olduğum **Elektrik Tesisleri** dersinin Üretim Merkezleri ile ilgili genel konuları verilmiştir. Elektrik Tesisleri dersi ile ilgili diğer konulara Elektrik Tesisleri serisi içerisinde yer verilecektir.

Akademik çalışmalarımda sürekli teşviklerini gördüğüm İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi öğretim üyelerinden sayın hocam Prof.Dr. Nesrin TARKAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Kitabın Elektrik Mühendisliği eğitimi gören öğrencilere ve kıymetli meslektaşlarıma yararlı olmasını ümit eder, kitapla ilgili gelebilecek eleştirilere şimdiden teşekkür ederim.

İstanbul, Ocak 2001

İRFAN GÜNEY

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

SEMBOL LİSTESİ

A	Alan (m^2); Baca tepesinin kesit alanı (m^2); Senelik enerji (MWh)
a	Birim tesis masrafı (TL/kW)
a_n	Şahıs başına düşen güç (W)
B	Yakıt miktarı (ton)
b	1 kWh enerji üretilmesi için yapılan masraf (TL/kWh); Özgül yakıt harcaması (kg/kWh)
C	Moleküllerin ortalama hızları (m/s); Suyun mutlak hızı (m/s); Türbin içerisindeki buhar hızı (m/s)
c	Özgül ısı (kCal/kg° C)
D	Besleme suyu veya buhar miktarı (kg/saat - ton/saat); Çap (m)
d	Baca gazı direnci (mmss); Özgül buhar harcaması (kg/kWh)
E	Buharın kinetik enerjisi (kCal)
F	Günlük enerji (kWh)
f	Birim enerji maliyeti (TL/kWh)
f_y	Yakıtın birim fiyatı (TL/kg - TL/ton)
g	Eşzamanlık katsayısı; Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H	Kod farkı (m)
H_b	Brüt düşü yüksekliği (m)
H_m	Monometrik basma yüksekliği (m)
H_o	Net düşü yüksekliği (m)
H_u	Yakıt alt ısıl değeri (kCal/kg - kj/kg)
h	Düşü yüksekliği (m); Entalpi (kCal/kg); İşletme süresi (saat)
h_o	Sınır işletme süresi (saat)
i	İç ihtiyaç güç katsayısı (%)
k	Hız katsayısı (%)
L	Baca yüksekliği (m)
L_m	Gazın kendi momenti ile yükseldiği mesafe (m)
L_o	Gerçek baca yüksekliği (m)
L_s	Sanal baca yüksekliği (m)
L_t	Gazın Arşimet prensibine göre yükseldiği mesafe (m)
M	Maliyet (TL); Molekül ağırlığı (kg)
m	Kütle (kg); Yüklenme katsayısı (%)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

N_c Türbin gücü (kW, MW)
N_e Türbin mili efektif gücü (kW, MW)
N_h Çarkın kazandığı güç (kW, MW)
No Maksimum güç (kW, MW)
n Faydalanma katsayısı (%); Nüfus
n_s Türbin özgül hızı (dev/dak)
P_a Aydınlatma gücü (kW, MW)
P_i İç ihtiyaç gücü (kW, MW)
P_k Kuvvet gücü (kW/MW)
P_o Ortalama güç (kW, MW)
P_p Puant güç (kW, MW)
P_y Yedek güç (kW, MW)
P_z Kayıpgüç (kW, MW)
P_{kt} Toplam kurulu güç (kW, MW)
P Basınç (kgkuvvet/cm^2)
P_a Amortisman masrafı (TL)
P_f Faiz masrafı (TL)
P_i İdari masrafı (TL)
P_t Tamir masrafı (TL)
p(t) Zamana bağlı güç, ani güç (kW)
Q Debi (m^3/s); Kazana verilmesi gereken ısı miktarı (kCal)
Q_y Birim yakıttan üretilecek enerji (kg/kWh)
q Özgül yakıt harcaması (kg/kWh)
R Gaz sabiti (kCal/kg°C)
$\overline{R}$ Genel gaz sabiti (kCal/kg°C)
s Mesafe (m); Entropi (kCal/kg°C)
T Çalışma süresi (saat); Sıcaklık (°K)
t Sıcaklık (°C); Zaman (saat)
U Sürüklenme hızı (m/s); Türbin diskinin çevre hızı (m/s)
u İç enerji (kCal)
V Hacim (m^3); Rüzgar hızı (m/s)
$\overline{V}$ 1 kmol gazın hacmi (m^3/kmol)
V_g Gazın bacadan çıkış hızı (m/s)
$V_ö$ Özgül hacim (m^3/kg)
W Buharın rölatif hızı (m/s); Birim kütle başına iş (m kg kuvvet/kg)
y Yedek güç katsayısı (%)

X

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Z	Kepçe sayısı (adet); Suyun türbine girdiği ve çıktığı noktalar arasındaki yükseklik (m)
α	Genleşme katsayısı (1/° C)
γ	Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)
η	Verim (%)
θ	Kayıp derecesi
$\sqrt{}$	Yük değiştirme oranı (%)
ρ	Aksi tesir derecesi; Gaz yoğunluğu (kg/m^3)
∂	Kavitasyon katsayısı
φ	Debi katsayısı

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

1. 0. GENEL TERMODİNAMİK

1. 1 Sıcaklık, Isı ve Özgül Isı

Herhangi bir cismin ısıl durumu o cismin sıcaklığıyla belirlenir. Cisimlerin sıcaklıklarını ölçmede kullanılan termometre 0° C suyun donma noktasını ve 100 ° C'de suyun kaynama noktasını göstermekte olup bu iki sabit noktanın arası, eşit parçalara bölünerek her parça 1° C olarak isimlendirilmiştir.

0° C sıcaklığında bir gaz sabit basınç altında 1° C ısıtılırsa, ortalama olarak hacminin $\frac{1}{273,15}$' i kadar genleşmektedir. α ile gösterilen bu değere "ideal gazların genleşme katsayısı" denir. Bu olayın tam tersinin olması için, yani 0°C sıcaklığında bir gazın 1°C soğutulması durumunda hacmi $\frac{1}{273,15}$ oranında azalmalıdır. Bu duruma karşı gelen alt sınır ise t = 273,15°C veya T=0°K dir.

t ile Celsius ölçeğinde (°C) verilen sıcaklıklar, T ile ise Kelvin ölçeğinde (°K) verilen sıcaklıklar ifade edilmektedir. Bu iki ölçek arasında

$$T = t + 273 \qquad [1. 1]$$

bağıntısı vardır.

Kilokalori (kcal) ısı miktarının birimi olup, 1 kg. suyun 760 Torr'luk basınç altında sıcaklığını 14,5°C den 15,5°C ye çıkarabilmesi için gerekli olan ısı miktarı olarak tanımlanabilir.

m kütlesindeki bir cismi dt gibi bir sıcaklık farkı elde edilinceye kadar ısıtabilmek için bu cisme dQ kadar bir ısı verilmesi gerekmektedir.

$$dQ = m.c.dt \qquad [1. 2]$$

ifadesinden görülebileceği gibi ısı miktarı cismin kütlesi ve elde edilen sı-

caklık farkıyla doğru orantılıdır. c katsayısı "özgül ısı" (spesifik ısı) olarak adlandırılır ve birimi kcal/kg°C'dir. Birim kütleye sahip bir cismin sıcaklığını bir birim arttırabilmek için gerekli olan ısı miktarı özgül ısıdır. Özgül ısı sıcaklığa bağlı olduğundan

$$Q_{12} = m.c.(t_2 - t_1) \qquad [1.3]$$

olarak yazılabilir. Bazı durumlarda özgül ısının sabit kabul edilmesi hataya sebep olabileceğinden ortalama özgül ısı kullanılır. Bu ise

$$Q_{12} = \int_{t_1}^{t_2} m.c\,(t)\,.dt = C_{ort}\,.\,m.(t_2 - t_1)$$

$$C_{ort}\,. = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c(t).dt}{t_2 - t_1} \qquad [1.4]$$

olarak ifade edilmektedir. Özgül ısının sıcaklıkla olan değişimi tam olarak ifade edilemediğinden bu değer grafik yöntemle bulunmaktadır.

1.2 Termodinamiğin Birinci Yasası

Mayer 1840 yılında iş ile ısı arasındaki bağıntıyı bulmuş, daha sonra Joule yaptığı birçok deneyle termodinamiğin birinci yasasını ortaya koymuş ve bunlara dayalı olarak Schmidt bu yasayı "Isı bir enerji tipidir ve mekanik işten elde edilebileceği gibi mekanik bir işe dönüştürülebilir" şeklinde ifade etmiştir. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin sakınımı kanununun daha özel bir halidir.

1.3 Termik Durum Özellikleri

Bir cismin basınç, sıcaklık ve özgül hacmi o cisme ait termik du-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

rum özelliklerini oluşturur. Gaz molekülleri tümüyle dağınık bir hareket halindedirler. Bu hareket nedeniyle birbirlerine ve içerisinde yer aldıkları kapalı hacmin duvarlarına çarparlar. Bu çarpma neticesinde oluşan etki "basınç" ismini alır. ρ (kg /m^3) gaz yoğunluğunu ve C moleküllerin ortalama hızlarını göstermek üzere basınç için

$$P = \frac{1}{3} .\rho. c^2 \qquad [1.5]$$

ifadesi yazılabilir. Basınç, mutlak basınç (ata) olarak veya sadece bu basıncın atmosfer basıncı üstünde kalan kısmı olarak verilir. Burada 1 atmosfer = 1,033 ata ilişkisi mevcuttur. Moleküllerin sıcaklıkları arttığı zaman, hızları artar; buna bağlı olarak da kinetik enerjileri artar. T sıcaklığı moleküllerin ortalama kinetik enerjileri için bir ölçüdür. Diğer taraftan ρ yoğunluğu arttırıldığında (1. 5) ifadesinden de görüleceği gibi, sabit bir hacim içinde daha fazla molekül sıkıştırıldığında basınç tekrar artacaktır.

Basıncın ve sıcaklığın yanısıra bir cismin durumunun saptanmasında hacminin veya özgül hacminin bilinmesi de gereklidir. Özgül hacim yoğunluğun tersi olarak $v_ö = \frac{1}{\rho}$ (m^3/kg) şeklinde tanımlanır veya $V_ö = \frac{V}{m}$ olarak yani hacmin, kütleye oranı olarak tanımlanabilir.

1. 4 İdeal Gazlar İçin Termik Durum Denklemi

Boyle - Mariotte isimleriyle anılan yasaya göre sabit bir sıcaklıktaki gazın basıncıyla özgül hacimlerinin çarpımları sabittir. Yani (p . v) = sabit'dir.

Gay - Lussac ise 1800 yılında bütün gazların α genleşme katsayılarının 0°C de, sabit basınç altında ve ideal gazların durumuna yakın özellik göstermeleri halinde birbirlerine eşit olduğunu ifade etmiştir. Buna göre $\alpha = \frac{1}{273,15}$ dir. Daha sonra bulunan

$$[V_t]_{p = sabit} = V_o . (1 + \alpha t) \qquad [1.6]$$

bağıntısıyla ideal gazların termik durum denkleminin saptanması gerçekleştirilmiştir. Bu ise termodinamiğin en önemli bağıntısıdır ve şöylece açıklanabilir: Sabit bir p_o basıncıyla bir gaz 0°C den t sıcaklığa kadar ısıtıldığında, bu gazın hacmi (1. 6) ifadesine bağlı olarak değişecektir. Sabit sıcaklık altında bu gazın basıncı p_o'dan p'ye yükseltilirse Boyle - Mariotte yasasına göre

$$p_o \cdot V_o \cdot (1 + \alpha t) = p_o \cdot V_t = p \cdot V \qquad [1.7]$$

yazılabilir. Gay - Lussac yasasının da dikkate alınmasıyla

$$p \cdot V = p_o \cdot V_o \cdot \alpha\left[\frac{1}{\alpha} + t\right] = p_o \cdot V_o \cdot \alpha\,(273{,}15 + t) \qquad [1.8]$$

elde edilir. (1.8) ifadesinde $p_o.V_o.\alpha$ sabittir ve gaz sabiti olarak adlandırılır.

$$R = p_o.V_o.\alpha \qquad [1.9]$$

(1.1) ve (1.9) ifadelerinin (1.8)'de yerine konulmasıyla

$$P \cdot V = R.T \qquad [1.10]$$

elde edilir. Kütlesi m olan bir gaz için bu denklem

$$p.V = m.R.T \qquad [1.11]$$

olarak yeniden düzenlenebilir. R gaz sabiti her gaz için değişiktir ve deney yoluyla bulunabilir. Bir gaza ait molekül yoğunluğu, yani birim hacim içerisindeki molekül sayısı sadece basınç ve sıcaklığa bağlıdır, ancak gazın cinsine bağlı değildir. Aynı basınç ve sıcaklık altında aynı hacimde bulunan gazlar aynı sayıda moleküle sahiptirler. Bu hacmin ağırlığı ise molekül ağırlığı ile aynı orandadır. 1 kilomol gazın hacmi yani kendi molekül ağırlığına M (kg) kilogram olarak eşit olan gaz miktarı

$$\overline{V}_{o\,°c,\,760\ Toor} = 22{,}415\ m^3/kmol \qquad [1.12]$$

1 kmol = M kg. olarak yazılabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$\overline{V}$ bir kmol gazın hacmidir. $\overline{R}$ (kcal/kg°C) genel gaz sabitini göstermek üzere, (1.10) ifadesi M kg/kmol ve $M.V = \overline{V}$, $M.R = \overline{R}$ eşitlikleri dikkate alınarak yeniden düzenlenirse

$$p.\ \overline{V} = R\overline{T} \qquad [1.13]$$

bulunur. $\overline{V}$ değeri aynı sıcaklık ve basınç koşullarında bütün gazlar için aynı olduğundan $\overline{R}$ değerinin de bütün gazlar için aynı olması gerekir ki bu değere "genel gaz sabiti" denir. Ancak $\overline{R}$ genel gaz sabiti ideal gazlar için aynı olmakla beraber, gerçek gazlar için yaklaşık olarak aynıdır.

P = 760 Torr = 1 atm = 1.033 ata koşulları altında

$$\overline{R} = \frac{P.V}{T} = \frac{1.033\ \text{ata}.22{,}415\ m^3/\text{kmol}}{273{,}15°K} \cdot \frac{10^4\ \text{kg.kuv/m}^2}{1\ \text{ata}}$$

$$= 848\ \text{m.kg.kuv/kmol°K}$$

Hava için $\rho_{0°C,\ 1\ atm} = 1{,}293\ \text{kg/m}^3$ alınarak R gaz sabiti

$$R_{hava} = \frac{P.V}{T} = \frac{P}{\rho.T}$$

$$= \frac{1{,}033\ \text{ata} \cdot \dfrac{10^4 \text{kg.kuv/m}^2}{1\ \text{ata}}}{1{,}293\ \text{kg/m}^3 . 273{,}15°K} = 29{,}3\ \text{m.kg.kuv/kg°K}$$

olarak bulunur.

1.5 Normal Şartlar

DIN 1343'e göre bir gazın normal koşulları, normal bir basınç ve normal bir sıcaklık kabulü ile saptanmıştır. Fizik yönünden normal koşullar T = O°C ve P = 760 Torr, teknik yönden ise normal koşullar t = 20°C, P = 1 kgkuvvet / cm^2 dir. Fizik yönünden normal koşullarda 1 kmol gaz normal mol hacmine sahiptir. Bu koşullar altında 1 m^3 hacime normal metreküp (Nm^3) denir ve

$$1\ Nm^3 = \frac{1}{22{,}415}\ kmol$$

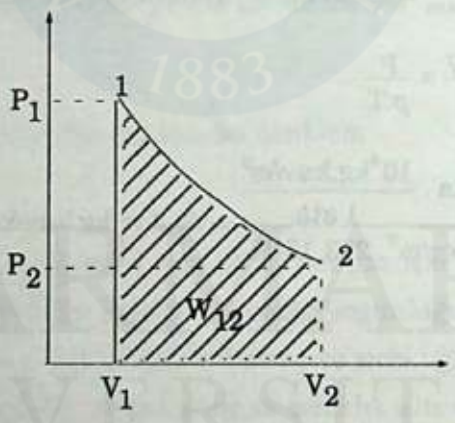
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

eşitliği mevcuttur.

1.6 İş ve İşle İlgili Büyüklükler

Isının mekanik işe dönüşümü genellikle gazların ve buharın genleştirilmesiyle sağlanır. Hacmi V olan bir gazın dış yüzeyine p sabit basıncının uygulandığı esnek bir kap içerisinde olduğu varsayılsın. Bu kap ısıtıldığında hacimde bir büyüme olacak ve her yüzey elemanı dA, sabit p dış basıncına karşı ds yolunu alacaktır. Buna göre dW toplam işi, kap içerisindeki gazın sistemin dışardaki koşullara karşı yapmış olduğu iş miktarıdır.

Buna göre



Şekil 1.1 - Bir gazın basınç - hacim grafiğinde genleşmesi

$$dW = p \int dA.ds = p.dV \qquad [1.14]$$

yazılabilir. Gazın hacmi artınca basıncı azalmaktadır ve bu durum Şekil 1.1'den de görülebilmektedir. Bu gazın birim kütlesine düşen iş için

$$W = \int_1^2 p.dV \qquad [1.15]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

yazılabilir. Bir gaza ait iç enerji, gazın içerisinde depolanan enerjilerin toplamıdır. Herhangi bir nedenle gaz durum değişikliğinden sonra tekrar başlangıçtaki durumuna dönerse, u iç enerjisi de daima başlangıç durumuna döner. Gazın iç enerjisi doğrudan doğruya sıcaklığa bağlıdır. İç enerjisi u olan bir gaza dq kadar ısı verildiği zaman, verilen ısının bir kısmı gazın iç enerjisini du kadar arttırır. Kalan kısmı ise dW = p.dV işini yapar. Gazın hacmini sabit tutarak iş yapılmasına karşı konulması durumunda verilen ısı, sadece gazın iç enerjisini arttırır:

$$dq = du + p.dV \qquad [1.16]$$

h ile ifade edilen "entalpi"

$$h = u + p.V \qquad [1.17]$$

olarak tanımlanabilir. (1.17) ifadesinde görülebileceği gibi entalpi u, p ve V'nin bir fonksiyonudur. Termodinamiğin birinci yasasına göre, bulunduğu çevre ile herhangi bir ısı alışverişi olmayan iş makinasının dışarıya verdiği toplam enerji, bu iş makinasına giren ve çıkan maddenin giriş ve çıkışlarındaki iç enerjilerinin farkına eşittir. W elde edilen işi, $p_1 . V_1$ dışarıdan alınan işi ve $p_2.V_2$ dışarıya verilen işi göstermek üzere enerji bilançosu

$$u_1 + p_1 . V_1 = u_2 + p_2 . V_2 + W \qquad [1.18]$$

olarak yazılabilir. (1.17)'nin dikkate alınmasıyla (1.18) ifadesi

$$W = h_1 - h_2 \qquad [1.19]$$

olarak yeniden düzenlenebilir.

s ile tanımlanan ve Clausius tarafından bir işlemin tersinirliğinin bir ölçüsü olarak ileri sürülen "entropi"

$$ds = \frac{dq}{T} \qquad [1.20]$$

olarak yazılabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

1.7 İdeal Gazlar İçin Isıl Durum Denklemleri

Herhangi bir durum niceliği, kendisinden başka iki durum niceliği ile açıklanabilir. Örneğin iç enerji u = u(T,v) denklemi gözönüne alınır ve bu ifadenin toplam diferansiyeli

$$du = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_{v = SABİT} \delta T + \left(\frac{\delta u}{\delta V}\right)_{T = SABİT} . dV \qquad [1.21]$$

olarak yazılır ve (1.21) ifadesi (1.16)'da yerine konulursa

$$dq = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_{v = SABİT} \delta T + \left[\left(\frac{\delta u}{\delta V}\right)_{T = SABİT} + P\right] . dV \qquad [1.22]$$

halini alır.

Bir cismin özgül ısısı

$$c = \frac{dq}{dT} \qquad [1.23]$$

olarak tanımlanır ve bu değer, durum değişikliğinin oluş şekline göre çeşitli şekillere dönüşür.

1. 8 İdeal Gazların Durumları

Herhangi bir gazın durum değiştirmesinden, o gazın p_1, T_1, V_1 durum nicelikleriyle tanımlanan durumdan p_2, T_2, V_2 durumuna geçişi anlaşılır. Ancak böyle bir durumda bu gazın durum niceliklerinden en az iki tanesi değişik değerlere ulaşır. Böylece gaz, ortam ile ısı alışverişinde bulunur, iş yapar veya iş harcar. Durum değişiklikleri;

- İzoborik durum değişikliği (p = Sabit)
- İzotermik durum değişikliği (T = Sabit)
- İzokorik durum değişikliği (V = Sabit)
- Adiabatik durum değişikliği (dq = O)
- Politropik durum değişikliği

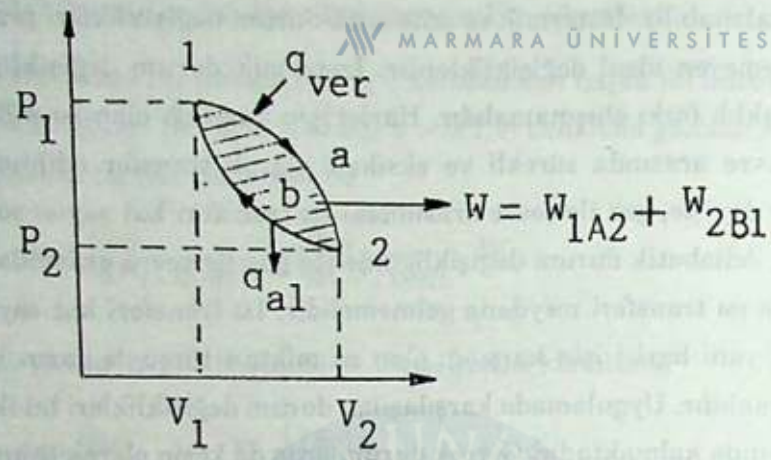
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

olarak sıralanabilir. İzotermik ve adiobatik durum değişiklikleri pratikte gerçekleşemeyen ideal değişikliklerdir. İzotermik durum değişikliğinde hiçbir sıcaklık farkı oluşmamalıdır. Harici işin karşılığı olan ısı miktarı, gaz ile çevre arasında sürekli ve eksiksiz olarak transfer edilmelidir. Başka bir deyişle, gaz ile çevre arasındaki ısı transferi kat sayısı sonsuz olmalıdır. Adiabatik durum değişikliğinde ise gaz ile çevre arasında hiçbir şekilde ısı transferi meydana gelmemelidir. Isı transferi kat sayısı 0 olmalıdır, yani harici işin karşılığı olan ısı miktarı tümüyle gazın içerisinde kalmalıdır. Uygulamada karşılaşılan durum değişiklikleri bu iki sınırın arasında kalmaktadır. Gerçek durumlarda da kesin olarak tanımlanan bağıntılardan yararlanabilmek için politropik durum değişikliği tanımlanmıştır

1. 9 Isının Mekanik İşe Dönüşümü

Genel olarak durum değişikliklerinde gaz bir durumdan diğer bir duruma dönüşmektedir. Örneğin bir gazın izotermik genleşmesi esnasında hacimde meydana gelen artma ile hariçten alınan ısı mekanik işe dönüşür. Ancak ilk duruma yeniden dönmek istersek bu gazın sıkıştırılması için genleşme sırasında kazanılan işten faydalanılır. Böylece genleşme esnasında alınan ısı tekrar dışarı verilir. Şekil 1.2'de genleşme durumu 1. A.2 grafiği boyunca oluşur ve bu esnada W_{1A2} harici işi kazanılır. Sıkıştırma 2B1 fonksiyonu boyunca yapılır ve $W_{2B1} < W_{1A2}$ işi sistem tarafından çekilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 1. 2 - Basınç - hacim grafiği

W_{1A2} işinin kazanılabilmesi için verilen ısının (q_{ver}) harcanması gerekir. W_{2B1} işinin çekilmesi sırasında ise $q_{al} < q_{ver}$ ısısı tekrar dışarı verilir. Bu çevrim sonucunda aşağıdaki iş miktarı

$$W = \oint dW = \oint p.dV = \int_1^2 p.dV_{(A)} + \int_1^2 p.dV_{(B)} = W_{1A2} + W_{2B1} \quad [1.24]$$

kazanılır. Gerekli ısı miktarı için

$$\oint dq = \oint du + \oint p.dV \quad [1.25]$$

yazılabilir. İşlemin sonunda yeniden birinci duruma dönüldüğünden u değeri de ilk değerine döner. Böylece

$$W = \oint dW = \oint dq = q_{ver} - q_{al} \quad [1.26]$$

ifadesi yazılabilir. Bu çevrimden elde edilen harici iş verilen ve alınan ısı miktarlarının farkıdır.

Termik verimi ise

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\eta = \frac{W}{q_{ver}} = \frac{q_{ver} - q_{al}}{q_{ver}} = 1 - \frac{q_{al}}{q_{ver}} \qquad [1.27]$$

olarak yazılabilir.

1824 yılında Carnot tarafından bulunan ve kendi adıyla anılan çevrim ideal bir çevrimdir. Teknik bakımdan elde edilebilir çevrimlerle karşılaştırılabilmesi bakımından da önemlidir. Dört basit durum değişiminden meydana gelmektedir. Carnot çevrimi esnasındaki net iş, bu çevrimdeki çeşitli durumlar sırasında oluşan işlerin toplamına eşittir:

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad [1.28]$$

Carnot çevriminde termik verim

$$\eta = \frac{W}{q_{ver}} \qquad [1.29]$$

olarak verilmektedir.

1.10 Termodinamiğin İkinci Yasası

Denge durumunda hiçbir kesinti söz konusu olmayan ve geriye hiçbir etki bırakmadan tamamen ters çevrilebilen işlemlere "tersinir işlem" denir. Tersinir işlemler ideal işlemlerdir ve uygulamada gerçekleştirilmesi olanaksızdır. Mekanik bakımdan sürtünme nedeniyle, termodinamik bakımdan da sıcaklık farkları nedeniyle uygulamadaki her türlü işlem tersinmez bir işlemdir. Sürtünme nedeniyle ısı oluşur ve oluşan ısı kendiliğinden sistemin her tarafına yayılır. Sıcaklık farkları kendiliğinden eşitlenir; fakat hiçbir zaman kendiliğinden oluşmaz. Anlaşılacağı gibi buradaki işlem de tersinmezdir. Termodinamiğin Schmidt tarafından ortaya konan ikinci yasasına göre, hiçbir şekilde ısı kendiliğinden daha soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisime geçemez. İkinci yasaya dayanarak birinci yasa "her iş ısıya dönüşebilir, fakat bu işlemin tersi istenildiği

gibi yapılamaz" şeklinde de açıklanabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

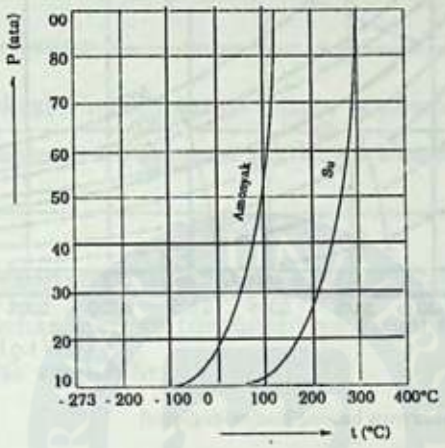
Sürtünmenin yanısıra tersinmez işleme kısma olayı örnek gösterilebilir. Bir yönde akmakta olan bir gaz kesitte olabilecek bir daralmayla karşılaştığında meydana gelen basınç düşmesi sonucu, böyle bir durum oluşabilir. Bu işlemde gazın ters yönde akabilmesi için yani tersinir bir işlem olabilmesi için, basınç düşmesinin de ters yönde olması gerektiğinden bu işlem tersinmezdir. Carnot çevrimi dikkate alındığında çevrim tamamlanarak yeniden başlangıç noktasına dönüldüğünde, ortamın entropisi de tekrar başlangıç değerine gelir; çünkü çevrim, bütünüyle tersinir işlemlerin birleşmesinden oluşmaktadır.

1.11 Buhar ve Gazlar

Her gaz sıvı hale dönüşebileceği gibi sıvı halden de yeniden buharlaştırılabilir. Ancak her gaz için belirli bir basınç altında buharlaştığı sıcaklık çok farklıdır. Santral işletmeciliğinde su buharının çok önemli bir yeri vardır. Sıvı halden gaz hale dönüşmeye "buharlaşma" denir. Kaynatılmakta olan bir su göz önüne alındığı zaman, suyun buharlaşan kısmının henüz buharlaşmamış olan kısımdan kesin bir sınırla ayrıldığı görülebilir. Basınç ve sıcaklık aynı olduğu halde her iki durum birbirlerinden bütünüyle ayrı fiziksel özellikler göstermektedir. Her iki durumun dengede olduğu duruma "doyma noktası" denir ve bu durumdaki buhara "ıslak buhar" veya "doymuş buhar" denir. Bu noktada sıcaklık, su bütünüyle buharlaşana kadar sabit kalır. Isı arttırıldığı takdirde sıcaklık ve hacim de artmaya devam eder; artık kızgın buhar durumuna gelinmiştir. Yukarıda anlatılan işlemin tersi de yapılabilir. Bu durumda buharlaşma işleminde meydana gelen değişiklikler bütünüyle fakat ters yönde oluşur. Buharlaşmanın gerçekleşmesinde harcanmış olan buharlaşma ısısı, kondensasyon esnasında kondensasyon ısısı olarak yeniden kazanılır. Kondensasyon sıcaklığı aynı basınç altındaki buharlaşma sıcaklığına eşittir. Basıncın buharlaşma veya kondensasyon sıcaklığı ile değişimini

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

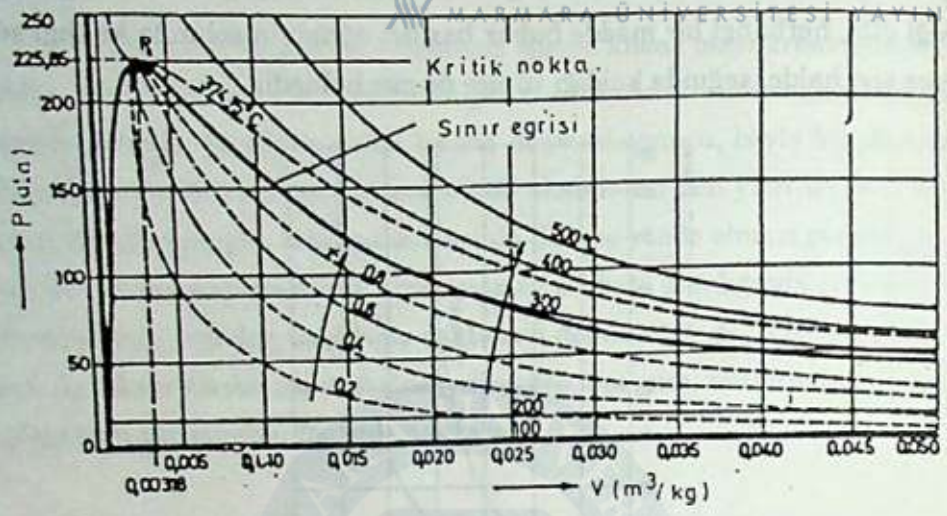
gösteren eğriler "buhar basıncı eğrileri" adını alır. Şekil 1. 3'den görüleceği gibi, herhangi bir madde buhar basıncı eğrisinin solunda kaldığı sürece sıvı halde, sağında kaldığı sürece de gaz haldedir.



Şekil 1. 3 - Buhar basıncı sıcaklık değişimi

Herhangi bir sıvının buharlaşmaya başlamadan önceki hacmi V', doymuş buhar halindeki hacmi de V" ile ifade edilirse sınır eğrisi elde edilir. Şekil 1. 4'de gösterilen sınır eğrisinde, P_k kritik basıncında buharlaşma sırasında hacimde bir artış meydana gelmez. Bu noktada sınır eğrisi maksimum değerdedir, buhar ve sıvının özgül ağırlıkları birbirlerine eşittir. Bu nedenle her iki hal arasındaki sınır ortadan kalkar ve bu nokta "kritik nokta" olarak adlandırılır. Kritik nokta sınır eğrisini iki kola ayırmakta olup, bu iki kol ıslak buhar bölgesini çevreler. Şekil 1. 4'den görülebileceği gibi bu bölgenin sol tarafı sıvı bölgesi, sağ tarafı ise kızgın buhar bölgesidir. Kritik noktanın üstündeki basınçlarda sıvı aniden gaz haline dönüşür. Kritik noktadaki basınç, hacim ve sıcaklık gibi büyüklükler "kritik değerler" adını alır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 1. 4 Su buharının basınç hacim değişimi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

2. 0 TEMEL KAVRAMLAR

2. 1 İşletme Aracı

Üretim merkezlerini oluşturan sistem içinde belirli bir görev yapmaya yarayan cihazlardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

a) Tahrik Makinası: Generatörü senkron hızla döndürmeye yarayan makinadır. Buhar, gaz, su türbünleri ve diesel motoru tahrik makinasına örnek olarak verilebilir.

b) Generatör: Tahrik makinasına akuple edilmiş olan generatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren (genellikle senkron makinadan oluşan) kısımdır.

c) Transformatör: Gerilimi yükseltmek ve düşürmek için kullanılır. Santrallarda generatör ile, şebekelerde ise hatlarla beraber incelenir.

d) Hat: Havai hat ve yeraltı kablosu olmak üzere iki çeşittir. Havai hatlarda izolasyon bulunmaz, çıplak iletkendir*. Kablolar ise yalıtılmış iletkendir ve yeraltına tesis edilir.

e) Kesici (disjonktör): Bu anahtara hem gerilimi hem de akımı kestiğinden "güç anahtarı" da denilebilir. Normal şartlar dışında da, eğer hatlardan birinde bir arıza olması durumunda, sadece arızalı hattın devre dışı edilmesi için kullanılır.

* ALPEK Kablolar bunun dışındadır.

f) Tüketici: Üretilen elektrik enerjisini tüketen tesislerdir. Aydınlatma, kuvvet, ısı tüketicisi, elektrokimyasal tüketiciler vardır. Isı tüketicileri genellikle endüksiyon ve ark fırınlarından oluşur. Maden arıtan veya kaplama yapan tesisler elektro kimyasal tüketicilerdir.

2. 2 Elektrik Tesisleri

İşletme araçlarının belli bir görev yapmak üzere ahenkli bir şekilde biraraya getirilmesiyle oluşur.

2. 3 Elektrik Şebekesi

Elektrik üreten tesislerle, tüketen tesisler arasındaki bağlantıyı yapmayı sağlayan, iletim ve dağıtım tesislerine "şebeke" adı verilir. Şebekelerde hat, güç anahtarı ve transformatör gibi işletme araçları bulunur. Şebekeler genellikle;

a) İletim Şebekeleri: Yüksek gerilimlidir.

b) Enterkonnekte Şebeke: Çeşitli iletim hatlarının birbirlerine bağlanmasıyla elde edilen yüksek gerilimli şebekelerdir.

c) Dağıtım Şebekesi: Orta gerilim kademesindeki şebekelerdir. (6, 3, 15, 34,5 kV gibi)

d) Alçak Gerilim Şebekesi: Alçak gerilim kademesindeki şebekelerdir (1 kV'a kadar)

olarak sıralanabilirler.

2. 4 Enerji

İş görme kabiliyetine "enerji" denir. Elektrik işi anlamına da gelir. Enerji genel olarak

a) Aktif enerji (Wh, kWh, MWh, GWh)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

b) Görünen enerji (kVAh, MVAh, GVAh)

c) Reaktif enerji (kVArh, MVArh, GVArh)

şeklindedir. Elektriksel yönden yapılmış olan iş enerjiyi oluşturur.

2. 5 Güç

Zaman biriminde yapılan işe "güç" denir. Güç aynı zamanda bir cihazın kapasitesini de ifade eder.

a) Aktif Güç (W, kW, Mw, GW)

b) Görünen Güç (VA, kVA, MVA, GVA)

c) Reaktif Güç (VAr, kVAr, MVar, GVAr)

Gücün zaman ile çarpımı enerjiyi verir.

2. 6 Yük

Tüketicinin herhangi bir anda çektiği güce yük denir. Tüketicinin bir "nominal gücü" vardır ki, nominal akım ve nominal gerilimle ifade edilir.

Nominal Güç = Nominal Akım x Nominal Gerilim.

Daha fazlası aşırı yüke girer. Yani bir cihaz en fazla nominal gücüne kadar yüklenebilir. Nominal güçten daha fazla yüklenen cihazın o andaki gücüne "aşırı güç" denir. Nominal yükten daha az yüklenen cihazın o andaki gücüne cihazın gücü denir.

2. 7 Masraf (Maliyet)

Bir tesisi kurmak ve işletmek için sarfedilen paraya denir. Tesisin kurulması için harcanan para ile tesisin işletilmesi ve kullanımı sırasında harcanan paranın toplamı masrafı oluşturur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3. 0. ELEKTRİK EKONOMİSİYLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

3. 1 Giriş

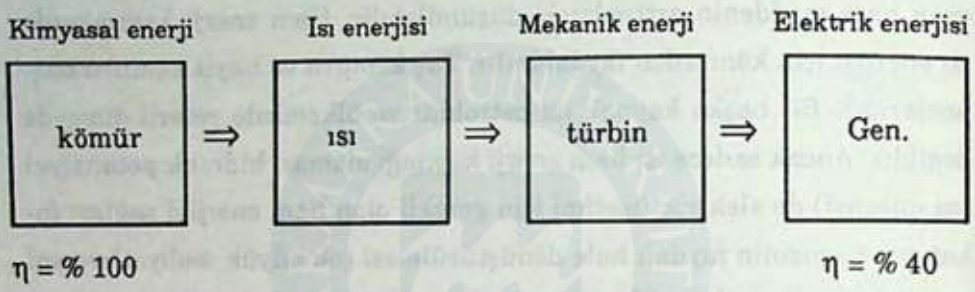
İnsanların elektrik enerjisine olan ihtiyaçları sabit değildir ve yıldan yıla artmaktadır. Yıllık artış oranı ise yaklaşık olarak % 10 mertebesindedir. Bu artan ihtiyacı sağlamak için ya tesisleri büyütmek gerekir, veya ham maddenin arttırılması düşünülebilir. Ham enerji kaynağında ısı enerjisi için kömürden faydalanılır. Taş kömürü ve linyit kömürü başlıcalarıdır. Bir başka kaynak da petroldür ve ülkemizde yeterli düzeyde değildir. Ancak sadece ısı ham enerji kaynağı olamaz, hidrolik potansiyel (su enerjisi) de elektrik üretimi için gerekli olan ham enerjiyi sağlar; fakat su enerjisinin faydalı hale dönüştürülmesi çok büyük maliyetlere yol açmaktadır. Buna karşılık suyun faydası oldukça fazladır. Seller önlenir, sulama sağlanır, ulaşım imkanı gerçekleşir ve balıkçılığa imkan verir. Bunları sağlamak amacıyla su yollarının düzenlenmesiyle bu arada elektrik enerjisinin de ucuza temini sağlanabilir.

Kimyasal enerjiden doğrudan doğruya elektrik enerjisinin elde edilmesine direkt enerji çevirimi denir. Bunun çeşitli yöntemleri vardır. En önemlisi güneş pilidir. İkinci bir yöntem de magnetohidrodinamik (MHD) generatörlerdir. Özellikle 1959 senesinden beri iletken bir sıvının (gaz halinde bir plazma ya da sıvı haldeki metal) magnetik alan içinden geçirilmesiyle elektrik akımı elde edilmesi yolundaki çalışmalar sürmektedir. Bu çerçevede Magneto Fluid Dynamic (MFD), Magneto Gas Dynamic (MGD) ve Magneto Hydro Dynamic (MHD) sayılabilir. Düşük iletkenlik, elektrodların çabuk ısınması, büyük kaçak akımlar, yüksek sıcaklık nedeniyle malzeme aşınması, erozyon, su-soğutma sistemlerinde arıza, gaz kaçakları ve sıvının kimyasal özelliklerini yitirmesi başlıca uygulama zorluklarıdır. Dünyada büyük güçlü MHD generatörlerin başlıcaları Mark V Massachussetts (32 MW), Larho Tenessy (18 MW), U-25

Moskova (25 MW), U-02 Moskova (5 MW), Mark VI Avco Res. Lab. (500 kW)'dir. Ayrıca Japonya, Almanya, Polonya ve Rusya'da belli başlı önemli tesisler de mevcuttur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü dört kademede gerçekleştirilir. Her şekil değiştirmede kayıplar olacağından toplam kayıp % 60 mertebesindedir. Yani elde edilen enerjiden daha fazlası kaybedilmektedir (Şekil 3. 1).



Şekil 3. 1 - Kimyasal enerjinin dönüşümü

Otomasyonla çeşitli avantajlar sağlanır. Bunlar sırasıyla:

1- İşlemlerde doğruluk sağlanması, subjektif hataların yok edilmesi,

2- Kontrolün kolaylaşması,

3- İnsan gücünden tasarruf sağlanması

olarak sıralanabilir. Ayrıca heryerde insan gücünden yararlanmak mümkün olmadığından otomatikleşme zorunludur.

Üretim merkezlerinde üretilen büyük güçlerin tüketim merkezlerine iletimi yüksek gerilimlerle yapılabileceği gibi, doğru akımla enerji iletiminden de faydalanılabilir. Ayrıca çok fazlı enerji iletimi de özellikle iletim güzergahı olabilecek arazi yapısı sınırlı olan ülkelerde tercih edi-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

lebilir. İletilecek güç miktarı ancak üst gerilim kademelerine geçerek olur. Ancak bu durumda izolatör tasarımı, direk ana boyutları, korona olayı v.b. yönünden bazı olumsuzluklar ortaya çıkar. Bu bakımdan faz sayısını arttırarak (6 Faz, 12 Faz) iletilen gücün de arttırılması mümkün olabilir.

Gerek cihazların, gerek enerji iletim hatlarının yapıldığı iletken malzemelerin bir direnci vardır. Bu direnç hem enerji kaybına, hem de gerilim düşümüne sebep olur. Uzun yıllardan beri -273°K'de iletken özdirencinin sıfır, dolayısıyla direncin sıfır olduğu bilinmekteydi. Ancak bu sıcaklıkta bir çalışma olanağı mümkün değildir. Bu nedenle direncin daha yüksek sıcaklık derecelerinde (300°K) sıfır yapılması, bilinen metaller ile yapılamamaktadır. Süper iletkenler kristal yapılı seramik maddelerden yapılmakta olup daha yüksek sıcaklıklarda direncin sıfır olmasını sağlamaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak süper iletkenlerin yaygın olarak kullanımıyla akım taşıma kapasitesinin maksimum yapılması, ısınma probleminin ortadan kaldırılması ve kayıpların minimum olması söz konusu olabilecektir. Ayrıca hafif olması ve az hacim işgal etmesi süper iletkenlerin diğer bir üstünlüğüdür. Süper iletkenlerin soğutulmasında önceleri Helyum gazı kullanılmış ancak bu gazın pahalı olması ve zor bulunması nedeniyle, sıvılaştırılmış azot gazı son zamanlarda bu gazın yerini almıştır, Süper iletkenlerin zor elde edilmesi ve pahalı olması, işletme sıcaklığının hala O°C'nin altında olması, düşük akımlarda direncin sıfırdan büyük olması, kırılgan yapısı, montaj ve imalat zorlukları başlıca sakıncalarıdır.

Gelişen teknolojiyle birlikte ham enerji kaynaklarının giderek azalması ve çevreye olan ekolojik ve topolojik etkileri de dikkate alınarak son zamanlarda enerji üretiminde rüzgar enerjisi, güneş pili gibi yenilenebilir (tükenmeyen) enerji kaynaklarından faydalanılmaya başlanmıştır. Bunun yanısıra kurulacak tesisin güvenilirliği de çok önemlidir. Bir tesisten istenilen güç her an için alınabiliyorsa, bu güvenilirliğin içinde göz önüne alınır. Güvenilirlik, konstrüksiyon ve imalat, dayanıklılık ve

işletme özelliklerine bağlıdır. Bir tesiste işletme güvenilirliği ilave bazı maliyetleri de beraberinde getirir.

3. 2 Ham Enerji Maddeleri

Elektrik enerjisi elde edebilmek için santrale başka bir enerji vermek gerekir ki, buna ham enerji veya primer enerji adı verilir. Ham enerjiyi elektrik enerjisine çeviren tesise ise "santral" denir. Bütün santrallerin çıkışında elektrik enerjisi olmasına karşın, girişindeki ham enerji pek çok çeşitlidir (kömür, su, petrol, nükleer v.s.). Ham enerjinin türüne göre bu santrallerin yapısı değişir. Bir cisim belirli basınç, sıcaklık ve konsantrasyondaki yakıcı denilen başka bir cisim etkisiyle yanabilirse, bu cisme "yakıt" adı verilir. Yakıtlar meydana gelişlerine göre doğal yakıtlar ve yapay yakıtlar olmak üzere sınıflandırılabilirler. Cinslerine göre ise katı yakıtlar, sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar olmak üzere üç grupta toplanırlar.

Doğal yakıtların kaynağı bitkilerdir. Kömür, yer kabuğunda meydana gelen değişiklikler sonucu uzun seneler süren basınç ve sıcaklık altında kalma sonucunda oluşur. Petrol ve doğal gaz ise, bitki ve hayvan kalıntılarının yer tabakalarının derinliklerinde basınç altında kalarak çok uzun süre anaerobik fermantasyona uğraması sonucuyla oluşur. Yapay yakıtlar, kömür ve petrolden yapay olarak elde edilen yakıtlardır. Bunlar da katı, sıvı, gaz halinde olabilir. Yakıtların ısıl değeri önemlidir. Katı ve sıvı yakıtların 1 kg'ının, gaz yakıtların ise 1 m^3 'ünün O°C'de ve 760 Torr basınç altında yanmasıyla kcal olarak çıkan ısı miktarına o cismin ısıl değeri denir (kcal/kg. veya kcal/Nm^3). Bir yakıtın ısıl değeri yakıtın yanmadan önceki durumuyla yanma sonunda meydana gelen maddelerin son durumuna göre değiştiğinden, alt ısıl değer ve üst ısıl değer olarak iki ısıl değer kavramının bilinmesi gerekmektedir. Alt ısıl değer, yanmadan önce yanma elemanlarının ilk sıcaklık derecesinin O°C olması, yanma sonunda meydana gelen elemanların tekrar aynı dereceye gelmesi ve meydana gelen suyun tekrar aynı derecede buhar kalması koşu-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

luyla, katı ve sıvı yakıtlar için 1 kg, gazyakıtlar için ise 1 m^3 yakıtın sabit basınç altında yakılması sonucu ortaya çıkan ısının kcal cinsinden miktarıdır. Üst ısıl değer ise yanmadan önce yanma elemanlarının ilk sıcaklık derecesinin O°C olması ve yanma sonunda meydana gelen suyun aynı derecede yoğunlaştırılması şartıyla katı ve sıvı yakıtlar için 1 kg., gaz yakıtlar için ise 1 m^3 yakıtın sabit basınç altında yakılması sonucu ortaya çıkan ısının kcal cinsinden miktarıdır. Bunlardan başka çeşitli faktörlere bağlı olan yanma noktası, yakıtın dışarıdan ateşlenmeksizin kendi kendine yanmaya başladığı sıcaklık şeklinde tanımlanır.

Ham enerji maddeleri;

- Isıl ham enerji maddeleri,
- Su kuvveti,
- Rüzgar kuvveti,
- Güneş enerjisi,
- Diğer enerji kaynakları (Gel-git olayı, su akıntıları, geotermal kaynaklar, v.s.)

olarak sınıflandırılabilirler.

3. 2. 1 Isıl Ham Enerji Maddeleri

Isıl ham enerji maddeleri, katı, sıvı ve gaz ısıl ham enerji maddeleri olarak üçe ayrılırlar. Katı ham ısıl enerji maddeleri şunlardan oluşur;

a) Taş Kömürü: Çok değerli bir kömürdür. Memleketimizde enerji üretiminde pek kullanılmaz.

Alt ısıl değeri* H_u = 7000 kcal/kg = 30000 kj/kg'dır.

---

* 1 Joule = 1 WS = 1 Nm = 10^7 erg.
1 kwh = $3{,}6.10^3$ kj = 860 kcal.
1 kcal = 4,187 kj = $1{,}163.10^{-3}$ kWh
1 kj = $0{,}278.10^{-3}$ kWh = $238{,}8.10^{-3}$ kcal.

b) Linyit : Ülkemizde çok çıkarılan bir kömürdür. Soma Elbistan civarında zengin yataklar vardır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Alt ısıl değeri H_u = 2500-4500 kcal/kg = 10000-18800 kj/kg'dır.

c) Odun : Enerji üretiminde kullanılmaz.

Alt ısıl değeri H_u = 3000-4000 kcal/kg'dır.

d) Çekirdek Enerjisi (atom): Elde edilmesi oldukça zordur.

Doğadaki uranyumun ancak % 0,7'si U^{235}' dir. Bu da enerji üretimi için yeterli değildir. 1 kg U^{235} kalori olarak 3000 ton taşkömürüne eşittir. Bu nedenle çok değerli bir enerji üretim maddesidir. Alt ısıl değeri Hu = 2.10^{10} kcal/kg = $8,4.10^{10}$ kj/kg dır. U^{235} gibi yakıtlar primer nükleer yakıtlardır ve doğada bulunurlar. Sekonder nükleer yakıtlar ise nötron bombardımanı ile atomu parçalanmadan başka bir atoma dönüşür. Örneğin U^{238} nötron bombardımanı ile Pu^{239}' a, Th^{232} aynı işlemle U^{233}' e dönüştürülebilir. Pu (Plutanyum) ve Th (Thorium) sekonder nükleer yakıtlardır, doğada mevcut değildir, yapay olarak elde edilirler.

Sıvı ham enerji maddeleri ise gaz yağı, benzin, mazot, dizel yakıtları, yakıt yağı, maden kömürü katranı ve alkollerdir. Bunlar ham petrolün damıtılmasıyla elde edilirler. Yakıt yağları (Fuel Oil) viskozite ve özgül ağırlıklarına göre numaralandırılmış olup, bileşimleri ağır hidrokarbonlar karışımıdır. Sıvı yakıtın hava ile yanıcı bir karışım meydana getiren bir buhar çıkardığı en düşük sıcaklık derecesine "parlama noktası" denir. Parlama noktası, bir sıvı yakıtın yanma yönünden ne kadar tehlikeli olduğunun da bir ölçüsüdür. Fuel-Oil' in en önemli özelliklerinden birisi de viskozitedir. Bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç "viskozite" denir. Viskozite sıcaklıkla değişir. Sıvı ne kadar az akıcı ise viskozitesi o kadar yüksektir.

Gaz ham enerji maddeleri cinsleri ve özellikleri bakımından farklılıklar gösterir. Gaz yakıtların genellikle üç değişik orijini vardır. Bunlar sırasıyla petrol ürünleri, doğal gaz kuyuları ve kömür gazı üreticileri (kö-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

mür gazı generatörleri) dir. Ayrıca gaz yakıtlar alt ısıl değerine göre zengin gazlar ve fakir veya zayıf gazlar olarak da ikiye ayrılırlar. Zengin gazların alt ısıl değeri 3000 kcal/kg'dan fazla, fakir gazların ise 3000 kcal/kg'dan daha azdır. Kömürden gaz üreticileri yardımıyla üretilen gazların miktarı oldukça azdır. Günlük hayatta kullanılan gazların bir kısmı karışık gazlardır. Bu gazlar, kömür gazlarının doğal gaz veya petrol gazları ile zenginleştirilmesinden meydana gelmiştir. Gaz ham enerji maddeleri de şöyle sıralanabilir:

Yüksek fırın gazı: Alt ısıl değeri 1000 kcal/kg mertebesindedir. Bu gaz, yüksek fırında pik demir üretiminde oluşur. Ortalama olarak, üretilen her ton pik demir için 250°C sıcaklıkta 2500m^3 yüksek fırın gazı elde edilir.

Generatör gazı: Alt ısıl değeri 1200 kcal/kg civarındadır. Bu gaz kok maden kömürünün gaz generatörlerinde gazlaştırılması ile sağlanır. Ortalama olarak, gazlaştırılan her ton maden kömüründen 3300-4300 m^3 generatör gazı üretilir.

Su gazı : Alt ısıl değeri 2500 kcal/kg civarında olan ve kömürün gazlaştırılmasından elde edilen bir gazdır.

Kok gazı: Alt ısıl değeri 4000 kcal/kg dolaylarındadır. Kok üretimi sırasında ortalama her ton kömürden 300-350m^3 kok gazı üretilir ve bir yan üründür.

Kömürleme gazı: Maden kömüründen elde edilen bu gazın alt ısıl değeri 7400 kcal/kg'dır. Her ton kömürden 130m^3 gaz çıkar.

Hava gazı: Kok gazı ile kömürleme gazının bir karışımı olan hava gazının alt ısıl değeri 3700 kcal/kg'dır.

Doğal gaz: Tabiatta bulunan ve sondaj çalışmasıyla elde edilen doğal gazın alt ısıl değeri 8000-10000 kcal/kg'dır.

Rafineri gazı: Petrolün ve ürünlerinin damıtılması esnasında elde edilen bu gazın alt ısıl değeri 15000 kcal/kg'dır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3. 2. 2 Su Kuvveti

Üst seviyede bulunan ve potansiyel enerjiye sahip olan suyun potansiyel enerjisini daha alçak bir seviyeye indirerek elektrik enerjisi elde edilir. Böyle tesislerin maliyeti oldukça yüksektir. Ancak çok amaçlı olarak kullanılırlar. Potansiyele sahip olan su Q (m^3/s) debisi ile aşağıya akmaktadır.

H kod farkını (m) göstermek üzere

$$P_m = 1000 \,.\, Q \,.\, H \,.\, \gamma \text{ (kgm/s)} \qquad [3.\ 11]$$

yazılabilir. γ (kg/m^3) olarak akışkan yoğunluğudur ve su için 1 kg/m^3 dür. Verimin de dikkate alınmasıyla (3. 1) ifadesi

$$P_m = 1000 \,.\, H \,.\, Q \,.\, H \,.\, \gamma\eta_t \qquad [3.\ 2]$$

ve elektriksel güç olarak

$$P_{el} = \frac{1000 \,.\, Q \,.\, H \,.\, \gamma \,.\, \eta_t \,.\, \eta_g}{75} (P.\ S) \qquad [3.\ 3]$$

veya

$$P_{el} = \frac{0.736 \,.\, Q \,.\, H \,.\, \gamma \,.\, \eta_t \,.\, \eta_g}{75} (M.\ W) \qquad [3.\ 4]$$

yazılabilir. η_t türbin, η_g ise generatörün verimidir.

3. 2. 3 Rüzgar Kuvveti

Rüzgar kuvvetinin depolanma imkanı yoktur. Nerede bulunabileceği de ancak istatistiki verilerden yaklaşık olarak belirlenebilir. İstendiği anda enerji üretimi sağlanamadığı için birtakım yardımcı tesislere gerek vardır. Günümüzde deneme amaçlı küçük güçte rüzgar türbünlerine (çarklarına) rastlanmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3. 2. 4 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi bugün için çok kullanışlı değildir. Güneş enerjisinden faydalanılması için tesisin gücünün çok büyük olması gerekir. Ancak ısınma amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3. 3 Yanma

Bir yakıtın ekzotermik bir reaksiyon sonucunda oksijenle birleşmesine "yanma" denir. Termik santrallarda yanmayı kolaylaştırmak için, yani oksijenin karbonla reaksiyonunu hızlandırabilmek için, kömür öğütülerek yüzey alanı arttırılır. Aynı amaçla sıvı yakıtlarda da yakıcı memeler aracılığıyla yakıtın püskürtülmesi (atomizasyon) sonucu yanma işlemi daha verimli bir şekilde gerçekleştirilir.

3. 3. 1 Teorik Hava İhtiyacı

Kömür analiz edildiğinde içerisindeki karbon, hidrojen, oksijen, azot, kükürt, nem ve kül oranları bulunabilir. Doğal olarak bu miktarlara ait oranların toplamı bire eşit olacaktır. Karbon, hidrojen ve kükürt yanıcı özelliktedir. Yakıtın tamamının yanabilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarı bu üç yanıcı elementin ihtiyacı olan oksijen miktarlarının toplamına eşittir. Ancak yakıtın bünyesinde bulunan oksijenin çıkarılması gerekecektir, çünkü yakıtın bünyesindeki oksijen yanma sırasında kullanılır. Hava hacminin % 21'i oksijen olduğuna göre, tam bir yanma için gerekli hava miktarı, katı yakıtlar için c karbon yüzdesini göstermek üzere

$$\text{Minimum Hava} \approx 10 \cdot c \cdot \frac{\text{Nm Hava}}{\text{kg kömür}} \qquad [3.5]$$

olarak ifade edilebilir. (3. 5) ifadesindeki hava miktarı teorik hava gereksinimidir. Uygulamada yanma odalarında ve kazan ocaklarındaki hava ihtiyacı bu değerden biraz daha fazladır. Bunun sebebi yakıtın hava ile ideal bir şekilde karışmamasıdır. Tam bir yanma için teorik hava ihtiyacından daha fazla hava verilir. Gerçek hava miktarının teorik hava miktarına oranına "hava oranı" denir.

3. 4. Baca ve Çekme

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Baca gazlarının sıfır derecedeki yoğunluğu yaklaşık olarak havanın aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna eşittir. Ancak yüksek sıcaklıklarda olması nedeniyle havaya nazaran daha hafiftir. Baca gazlarının dışarı atılmasına yardımcı olan kuvvete "çekme" denir ve ikiye ayrılır. Bunlardan doğal çekme, sadece baca yardımıyla gerçekleştirilir. Yapay çekmede ise fanlardan faydalanılır. Baca gazları yukarı doğru net bir kuvvet altında yükselirler. Hava ve baca gazları çeşitli dirençlerle karşılaşırlar; bunlar ocak veya yanma odası ile yakıtların direnci, kazanın direnci, gaz yollarının ve bacanın direncidir. Bu dirençleri yenebilmek için bacanın belli bir yüksekliği olmalıdır. Gerekli baca yüksekliği

$$L = \frac{d}{\frac{273 \cdot 1{,}29}{273 + t} - \frac{273 \cdot 1{,}29}{273 + t'}} \qquad [3.\ 6]$$

ifadesiyle verilebilir. Burada L (m) baca yüksekliğini, d (mmSS) baca gazlarının karşılaştığı dirençlerin toplamını, t (°C) atmosfer sıcaklığını, t' (°C) baca gazlarının ortalama sıcaklığını ifade etmektedir. (0°C'de 760 Torr'da havanın yoğunluğu 1,29 kg/m^3' tür). Baca tepesinin kesitinin bulunması için

$$A = \frac{B}{100 \cdot \sqrt{L}} \qquad [3.\ 7]$$

bağıntısından faydalanılır. A (m^2) baca tepesinin kesit alanı, L (m) baca yüksekliği ve B (kg), alt ısıl değeri 7000 kcal/kg olan yakıttan bir saatte yakılabilecek olan miktardır.

3. 5 Santral Tipleri

Santrallar çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma yakıt tipine göre, çalışma tarzına göre, finansman kaynağına göre ve gördükleri hizmet bakımından olabilir. Santrallar yakıt tarzına göre;

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

- Isıl (Termik) Santrallar (linyit, fuel oil, gaz, nükleer),

- Su (Hidrolik) Santralları,

- Rüzgar Santralı,

olarak sıralanabilirler. Nükleer santrallar, gaz santralları ve diesel santrallar termik santralların içinde incelenecektir. Çalışma tarzına göre ise santrallar:

- Köy santralı,

- Kasaba santralı,

- Şehir santralı,

- Bölge santralı,

- Sanayi santralı

olarak sınıflandırılabilirler. Finansman kaynağı bakımından;

- Kamu santralları (T. E. K.),

- Şirket santralları (Çukurova Elek., Kepez Elektrik gibi),

- Özel santrallar (Şeker fabrikaları, demir-çelik sektörü v.b.) ve son olarak gördükleri hizmet bakımından;

- Temel yük santralı,

- Ortalama yük santralı,

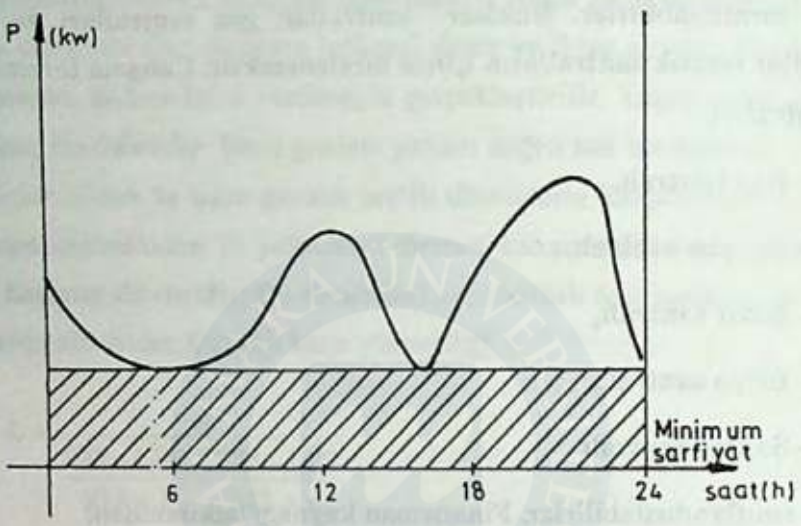
- Puant yük santralı

olarak sınıflandırılabilirler.

3. 6 Enerji Üretimi ve Tüketimi İle İlgili Tanımlar

Üretimin planlanması için öncelikle tüketimin bilinmesi gerekir. İhtiyaç bilindikten sonra bu ihtiyacı karşılayacak olan üretim merkezleri kurulur. Üretim merkezleri kurulurken tüketim merkezlerindeki ve nüfustaki artışın, tüketim merkezlerine olan uzaklığın, ham enerji kaynak-

larına olan uzaklığın, arazinin ekolojik ve topoğrafik etüdlerinin v.b. dikkate alınması gerekir. Bir enerji tüketicisinin 24 saatlik değişimini veren eğriye "günlük yük eğrisi" adı verilir (Şekil 3. 2).



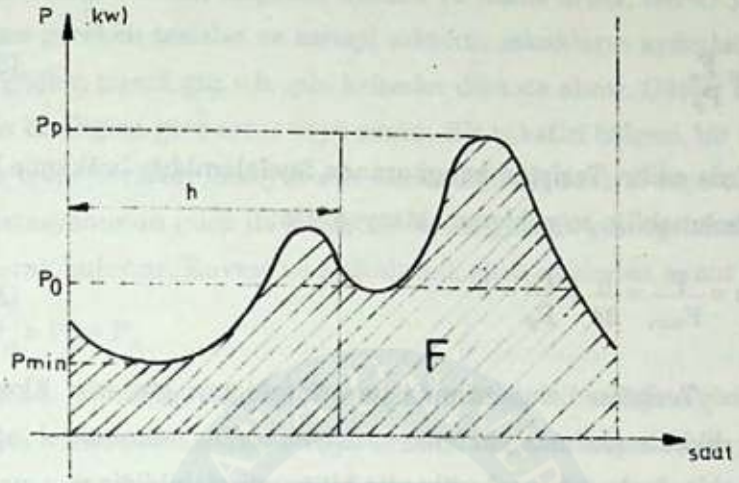
Şekil 3. 2 - Tüketici bölgesinin günlük yük eğrisi

Elektrik enerjisini tüketen bir bölge gözönüne alınsın ve bu bölgede bulunan her bir tüketiciye ait günlük yük eğrisi çizilmiş olsun. Günlük yük eğrilerinin hepsi birbirinden farklı olacaktır; çünkü tüketiciler farklı miktarda enerji tüketmektedirler. Bu tüketicilerin günlük yük eğrilerinin hepsi toplanarak bir eğri çizilirse o bölgenin tüketici günlük yük eğrisi bulunur. Tüketici bölgenin çektiği maksimum güce "puant güç" denir. Puant güç çok önemlidir. Bölgenin ihtiyacında puant güç dikkate alınır. Şekil 3. 3'de verilen eğriden bir bölgenin enerjisi için

$$F = \int_0^{24} p(t) \, . \, dt \quad (kWh) \qquad [3.\ 8]$$

yazılabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3. 3 - Tüketici bölgesinin günlük yük eğrisinden bölgenin enerjisinin bulunması.

Tüketicinin durumu hakkında ise "yük değiştirme oranı" bir bilgi verebilir. Yük değiştirme oranı:

$$\sqrt{} = \frac{P_{min}}{P_p} \qquad [3.\ 9]$$

olarak verilir. F_{max} değeri Şekil 3.3'teki P_p'nin (Puant gücün) altında kalan dikdörtgenin alanına eşittir. Bu miktarın ne kadar fazlası kullanılırsa tüketiciye o kadar ucuza enerji verilebilir.

$$F_{max} = P_p \cdot 24 \qquad [3.\ 10]$$

Po ortalama gücü

$$P_o = \frac{F}{24} \qquad [3.\ 11]$$

T çalışma süresi

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i \leq 24 \text{ saat} \qquad [3.\ 12]$$

h işletme süresi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$h = \frac{F}{P_p} \qquad [3.\ 13]$$

olarak ifade edilir. Tesisten hangi oranda faydalanıldığı "yükleme katsayısı" ile bulunabilir. m yükleme katsayısı için:

$$m = \frac{F}{F_{max}} = \frac{h}{24} = \frac{P_o}{P_p} < 1 \qquad [3.\ 14]$$

yazılabilir. Tesisten hangi oranda yararlanıldığını gösterir. Ekonomik kriterler dikkate alınınca yükleme katsayısı (m)'in mümkün olduğu kadar 1'e yaklaştırılması gerekmektedir ki, enerji olabildiğince ucuza üretilsin. Bu da puant gücün küçültülmesi veya ortalama gücün büyütülmesiyle gerçekleştirilir. Birincisi kısıtlama, ikincisi ise teşvikle olur. Enerjinin az tüketildiği saatlerde tarifeyi ucuzlatarak, puant zamanlarında ise tarifeyi pahalılaştırarak sağlanır. Puant zamanları tüketicinin ihtiyacının değişmesi nedeniyle sürekli kayar. Bunun nedenlerinden birisi de mevsimlerdir. Kışın daha erken saatlerde, yazın ise daha geç saatlerde tüketim maksimum olur.

Bir tesisteki tüketicilerin nominal güçlerinin toplamına "kurulu güç" denir.

$$P_{kt} = \sum_{i=1}^{n} P_{it} \qquad [3.\ 15]$$

Ancak bu kurulu gücün hepsi aynı zamanda devreye giremeyeceğinden, "eşzamanlık katsayısı"nın yani aynı zamanda ne kadar tüketicinin devreye girebileceğinin dikkate alınması gerekir. Eşzamanlık katsayısı g

$$g = \frac{P_p}{P_{kt}} \qquad [3.\ 16]$$

olarak ifade edilebilir. Küçük tüketicilerde g % 60'a kadar çıkabilir. Büyük tüketicilerde ise % 40'a kadar düşebilir. Bir bölgenin tüketimi de-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

gerlendirileceği zaman, bölgenin nüfusu ve nüfus artışı, ileriki yıllarda yapılması gereken tesisler ve sanayi sektörü, sokakların aydınlatılması, kurulu güçler, puant güç v.b. gibi kriterler dikkate alınır. Güçler tüketici bölgenin özelliğine göre artar veya azalır. Bir tüketici bölgesi, bir santral veya bir transformatör istasyonu ile beslendiğinde, santral veya transformatör istasyonunun gücü ile kablonun kesiti günlük yük eğrisinden faydalanılarak bulunur. Kuvvet ve aydınlatma gücü cinsinden puant güç

$$P_p = P_a + P_k \qquad [3.17]$$

olarak ifade edilebilir. Bu güçlerin tüketici bölgenin özelliğine göre puant güç içerisindeki payları azalır veya artar.n tüketici bölgede yaşayan nüfusu ve a_n şahıs başına tayin edilen güç miktarını göstermek üzere

$$P_a = \frac{a_n \cdot n}{1000} \quad [kW] \qquad [3.18]$$

olarak aydınlatma gücü yazılabilir.

$n < 20000$ olan yerlerde $a_n = 50$ W / kişi,

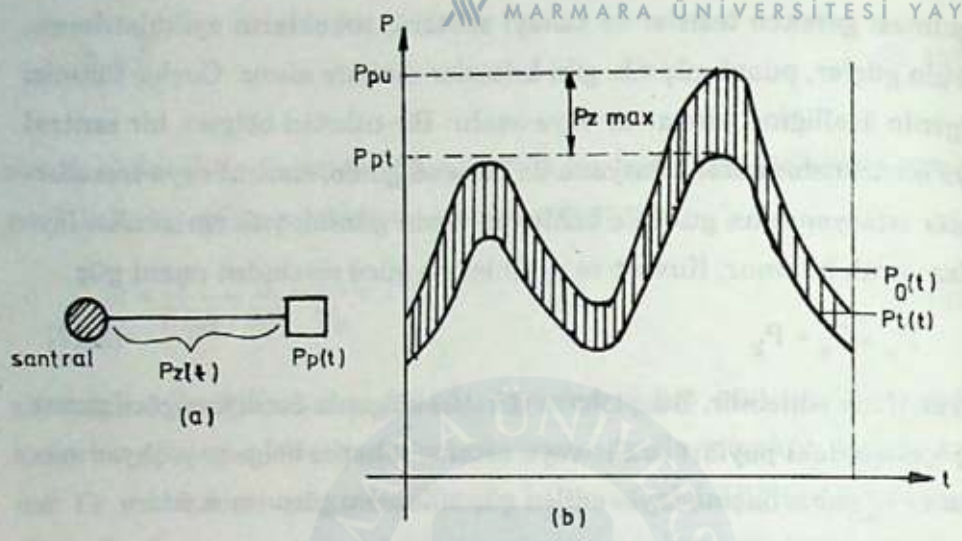
$n > 20000$ olan yerlerde ise $a_n = 100$ W / kişi

çok büyük şehirlerde $a_n = 150$ W / kişi

alınabilir.

Tüketicinin enerji gereksinimi hesaplandıktan sonra, tüketim bölgelerindeki puant güç esas alınarak üretim santralı kurulur. Santralın gücü en azından tüketicinin puant gücüne eşit olmalıdır; ancak iletim ve dağıtım kayıplarının da karşılanması gerekir. Aksi takdirde tüketiciye puant gücünden daha az güç verilebilir. P_z kayıp gücü heryerde aynı değildir. Akımın büyük olduğu yerlerde daha büyük, akımın küçük olduğu yerlerde ise daha küçüktür. Şekil 3.4a'da bir santralın beslediği tüketim merkezi gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.4 - a. Bir santraldan beslenen tüketici bölgesinin blok şeması

b. Gücün zamana göre değişimi

Şekil 3.4 b'de verilen üretim, tüketim ve kayıplar için, t zamanına bağlı olarak

$$\left.\begin{aligned} P_0(t) &= R(t) + P_z(t) \\ P_{P0}(t) &= P_p(t) + P_{z\,max}(t) \\ P_z(t) &= 3 \cdot I^2(t) \cdot R \end{aligned}\right\} \qquad [3.19]$$

ifadeleri yazılabilir. P_z ise

$$P_z = P_p \cdot z \qquad [3.20]$$

ve z katsayısı

$$z = \frac{P_z}{P_p} \cdot 100 \quad (\%) \qquad [3.21]$$

olur. Günlük yük eğrisi, santralın veya transformatör istasyonunun boyutlandırılmasına yardım eder. Bunun için de (3. 20) ifadesinin bilinmesi gerekir. z katsayısı santralın tipine göre değişir. Diesel santralı

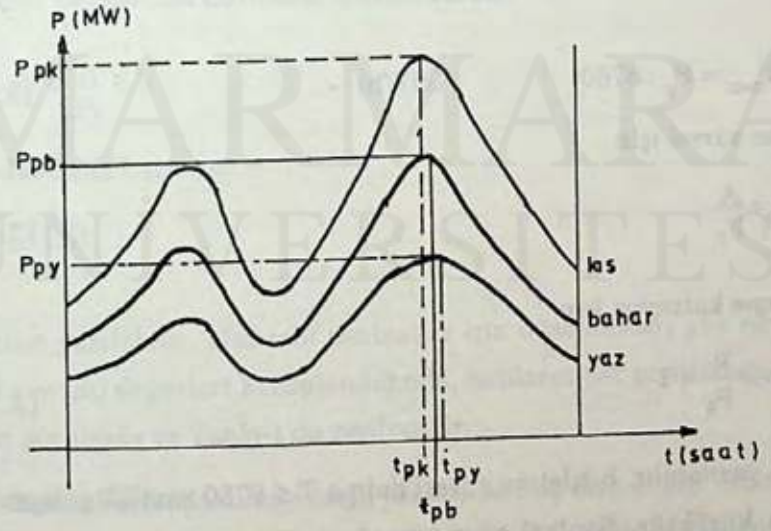
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

için z = % 4 - % 6, buhar santralı için z = % 6 - % 8 ve su santralları için z = % 10 - % 12 arasındadır. Araştırmalarla puant güç tayin edilirse santralın veya transformatör istasyonunun gücü hesaplanabilir. Üreticinin gücü

$$P_{pü} \geq P_p(t) + P_{z\,max}$$

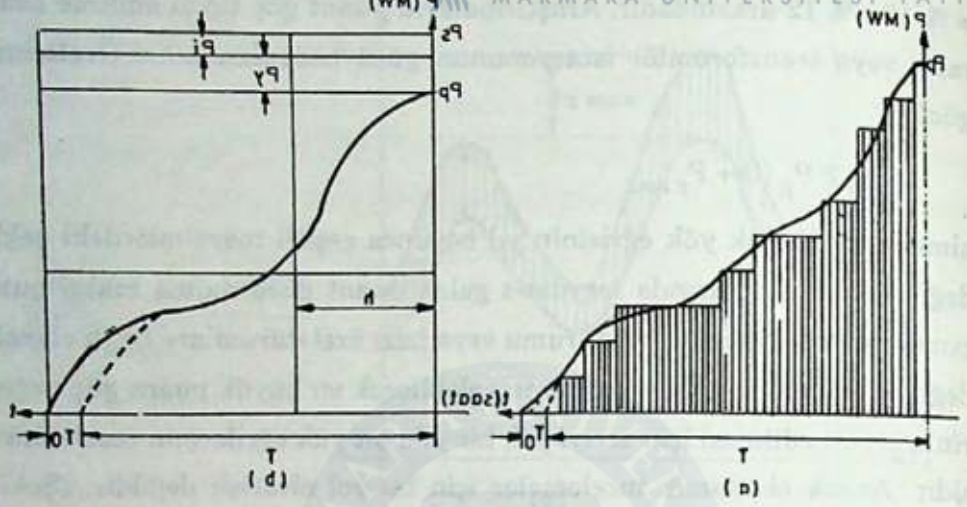
olmalıdır. Günlük yük eğrisinin yıl boyunca çeşitli mevsimlerdeki şekli değişiktir. Kış aylarında meydana gelen puant gücü daima maksimum puant gücü değildir. Hava durumu veya bazı özel durumlara bağlı olarak değişir. Bir yıl süresince meydana gelebilecek en büyük puant güç değerinin tespit edilmesi için en iyi yol, bir yıla ait yük eğrilerinin incelenmesidir. Ancak ekonomik incelemeler için bu yol elverişli değildir. (Şekil 3.5)

Bir yıla ait günlük yük eğrilerinden oluşan şekil eşit zaman aralıklarına bölünür ve bu dilimler boy sırasına göre dizilirse genel olarak bir merdiven eğrisi elde edilir. Örneğin, çeyrek saat arayla 96 x 365 adet dilime bölünebilir. Onar dakikalık dilimler dikkate alınacak olursa bir ortalama eğri elde edilir ki, buna "düzenlenmiş yıllık yük eğrisi" denir.



Şekil 3.5 - Puant gücün mevsimlere göre değişimi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.6 - a. Merdiven eğrisi

b. Tüketici bölgesinin düzenlenmiş yıllık yük eğrisi

Şekil 3.6 b'de verilen düzenlenmiş yıllık yük eğrisinden A alanı için

$$A = \int_0^{365} P(t) \cdot dt \qquad \text{(MWh)} \qquad [3.22]$$

veya

$$A_{max} = P_p \cdot 8760 \qquad \text{(MWh)} \qquad [3.23]$$

h işletme süresi için

$$h = \frac{A}{P_p} \qquad [3.24]$$

m yükleme katsayısı için

$$m = \frac{P_0}{P_p} < 1 \qquad [3.25]$$

ifadeleri yazılabilir. h işletme süresi daima $T \leq 8760$ saat'lik çalışma süresinden küçüktür. Santral veya transformatör istasyonunun gücünün

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

P_p olması yeterli değildir. Herhangi bir arıza durumunda gruplardan birisinin devreden çıkabileceği düşünülerek bir yedek güç bulundurulmalıdır. Bu nedenle santralın gücü P_p den büyük olmalıdır. Yedek güç P_y

$$P_y = y \cdot P_p \qquad [3.26]$$

dir. y, % 20 - % 30 arasında değişen bir katsayıdır. Enterkonnekte şebeklerde % 10, küçük şebekelerde % 30'dur. Yedek güç tespit edilirken santralın tipi gözönüne alınmalıdır. Bunlardan başka santralın normal çalışmasında kendi ihtiyacı olan P_i iç ihtiyaç gücünün de dikkate alınması gerekir ki bu güç de santral tipine bağlıdır.

$$P_i = i \cdot P_p \qquad [3.27]$$

i katsayısı buhar santrallarında % 5 - % 7,5 dizel santrallarında % 3 - % 4 ve su santrallarında % 0,5 - % 1,5 arasındadır. Bütün bu kriterlerin ışığında santral gücü için

$$P_s = P_p + P_y + P_i = P_p \cdot (1 + y + i) = P_p \cdot r \qquad [3.28]$$

yazılabilir. r rezerv katsayısı, yani r = 1 + y'dir Düzenlenmiş yük eğrisinde puant güç P_p yerine P_s santral gücü alınırsa zaman eksenindeki büyüklükler değişir. Bu durumda işletme süresi

$$h' = \frac{A}{P_s} < h \qquad [3.29]$$

ve faydalanma katsayısı n

$$n = \frac{P_0}{P_s} \qquad [3.30]$$

tanımları yazılabilir. Muhtelif santrallar için düzenlenmiş yük eğrilerinden (h) ve (m) değerleri hesaplandığında, bunların çok çeşitli değerler aldıkları görülmüş ve Tablo-1'de verilmiştir.

Santrallarda üretilen enerji, tüketicilere üç fazlı enerji iletim sistemi üzerinden gelmektedir. İletim ve dağıtım şebekelerinde zamanla değişen bir kayıp oluşmaktadır. Şekil 3.7 de gösterilen A_z alanının maksi-

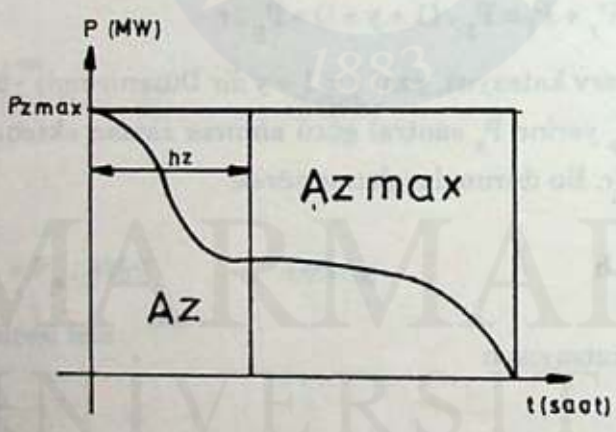
mum kayıp olan P_{zmax} ile çalışma durumunda kayıp enerjisi Azmax alanına oranına "kayıp derecesi" denir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Tablo 1

Değişik tipteki santrallarda işleme süresi ve yükleme oranları

SANTRAL TİPİ	m (%)	h (saat)
Köy Santralı	7	1200
Kasaba Santralı	14	2000
Şehir Santralı	25	3500
Küçük Bölge Santralı	42	4500
Büyük Bölge Santralı	46-50	5000
Sanayi Santralı	60-70	6000



Şekil 3.7 - Kayıp derecesinin bulunması

Kayıp derecesi θ için

$$\theta = \frac{A_z}{A_{zmax}} = \frac{3 \cdot R \cdot \int_0^T i^2(t) \cdot dt}{3 \cdot R \cdot I_{max}^2 \cdot T} = \frac{\int S^2(t) \cdot dt}{S_{max}^2 \cdot T} \qquad [3.31]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\left.\begin{aligned} A_z &= P_{zmax} \cdot h \\ A_{zmax} &= P_{zmax} \cdot T \end{aligned}\right\} \qquad [3.32]$$

ve buradan

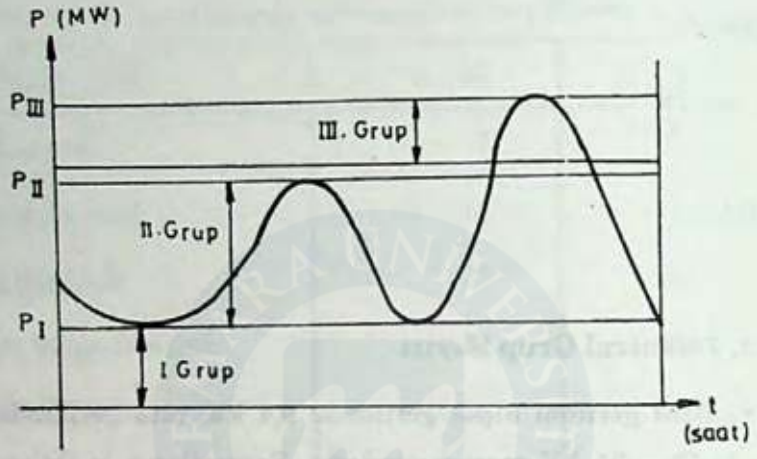
$$\theta = \frac{h_z}{T} \qquad [3.33]$$

yazılabilir.

3. 7 Santral Grup Sayısı

Santral gerilimi alçak gerilimde 0,4 kV, orta gerilimde ise 6,3 - 11,5 - 15,75 - 21 kV mertebesindedir. Santralların iç ihtiyaç gerilimi santralın tipine, büyüklüğüne ve gerilimine bağlıdır. Küçük santrallarda alçak gerilim yeterlidir. Büyük santrallarda ise gerilim kademesi büyür. İç ihtiyaç gerilimi, tüketici geriliminden daima % 5 daha büyük seçilir. Dizel santrallarında ve su santrallarında iç ihtiyaç gerilimi 0,4 kV, buhar santrallarında ise 0,4 kV, 3,15 veya 6,3 kV'dur. Çok küçük güçlerde santral gücü grup gücüne eşit olabilir; ancak büyük güçlerde santral gücüne eşit bir grup gücü sağlamak pratik olarak imkansızdır. Bu nedenle güç gruplara bölünür. Eğer bir santralın diğer santrallarla paralel çalışması söz konusuysa, generatörün büyük güçlü seçilmesi gerekir. Böylece her kW'a karşı gelen maliyet daha düşük olur ve büyük güçlü makinanın verimi yüksektir. Sakıncası ise yedek parça sağlamanın olanaksızlığıdır. Tek makina olması durumunda arıza halinde üretim % 100 kayba uğrar. Bu nedenle santrallarda makina sayısı tesbit edilirken olabildiğince bölünmeye çalışılır ve günlük veya yıllık yük eğrisine uygun olması istenir. Tam yükte verim maksimumdur. Az ve aşırı yüklerde ise verim düşmektedir. Şekil 3.8'de üç gruplu bir üretim merkezi ve yük eğrisine göre çalışma durumları gösterilmiştir.

Burada en iyi çalışma durumu $P_I = P_{II} = P_{III}$ olması durumudur. böylece 1. ve 3. gruba ait makinalar arasında görev değişikliği yapılarak bir makinanın daha çabuk ömrünü yitirmesi önlenebilir.



Şekil 3. 8 - Üç gruptan oluşan bir üretim merkezinde yük eğrisinin değişimi

Yedek parça açısından kolaylık sağlanır. Çünkü birisi için alınacak olan yedek parça diğerleri için de kullanılabilir. Bakım kolaylaşır. Santralın kurulu gücünün mertebesi ve kurulu güç, santralın çalışma tarzı, tahrik makinasının tipi, gelişme imkanları grup sayısı üzerine tesir eden faktörlerdir.

Grup sayısının az olması ile verim yüksek olur; ancak arıza anında devreden çıkan güç büyük olur. Günlük yüke uyabilme imkanı azalır; daima tam yükte çalışma durumuyla karşı karşıya kalınır.

3.8 Santral Yerinin ve Tipinin Belirlenmesi

Kurulacak santralının yerinin belirlenmesinde en önemli faktör ham enerji maddesinin kaynağıdır. Ham enerji maddesi nakledilmeye elverişli değilse santral ham enerji maddesinin çıktığı yere kurulabilir. Ancak bu durumda tüketim merkezlerinden uzakta kurulması ihtimali vardır. Örneğin su kuvveti ve linyit kömürü yatakları yakınında santral kurulur. Ham enerji maddesi ekonomik bir şekilde nakledilmeye elverişli

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ise (nükleer yakıt, akaryakıt gibi) santral, tüketim merkezlerine daha yakın olan bu ham enerji kaynaklarının civarında kurulabilir. Santral yerinin tesbitinde şu temel unsurlar dikkate alınabilir:

- Denizyolu, demiryolu ve karayoluyla veya hepsiyle rahatça ulaşılabilecek bir yer seçilmelidir.

- Santralın kurulacağı yerin civarını kirletmesi ve gürültü problemi söz konusudur. Bunun dikkate alınması gerekir.

- Santralın kurulacağı yerin ileriki yıllarda gelişmeye yönelik bir yer olmasına dikkat edilmelidir.

- Santraldan çıkan kül v.b. artıkların ekonomik bir şekilde taşınması gerekmektedir.

- Soğutma suyu probleminin çözümüne imkan verebilecek kaynakların bulunmasına dikkat edilmelidir.

- Arazinin yapısı, civarındaki bitki örtüsü ekolojik ve topografik olarak etüd edilmelidir.

Eğer ham enerji maddesi bakımından bir seçim yapma imkanı yoksa mecburen bu ham enerji kaynağına uygun santral tipi seçilecektir. Böyle bir seçim yapma imkanı varsa elektrik enerjisini en ekonomik olarak üretecek santral tipi seçilmelidir.

3. 9 Elektrik Enerjisinin Santrala Olan Maliyeti

Elektrik enerjisinin santrala olan maliyeti çok önemlidir ve öncelikle kaliteli elektrik enerjisi üretilmesine çalışılır. Kaliteli elektrik enerjisi; gerilimi ve frekansı sabit olan elektrik enerjisidir. f birim enerji maliyetini, A (kWh) enerjiyi ve M yapılan masrafları göstermek üzere

$$f = \frac{M}{A} \; (TL / kWh) \qquad [3.34]$$

---

* M, genel olarak maliyeti göstermektedir. Değeri ulusal para birimi olarak (TL, US$, DM, , , FFr, C$, v.b.) verilir.

yazılabilir. Masraflar tesis masrafları ve üretim masrafları olarak iki bileşenden oluşur.

$$M = M_{Tesis} + M_{üretim} \qquad [3.35]$$

M_t tesis masrafları

$$M_t = P \,.\, S \qquad [3.36]$$

dir. Santralın kurulması için gereken (S) sermayesinin bir (p) yüzdesine eşittir, a [TL / kW] . birim . tesis (kurulu güç) masrafını göstermek üzere

$$S = a \,.\, Ps \ (TL) \qquad [3.37]$$

olarak ifade edilir. p sermaye masrafı dört ana bölümden oluşur. Bunlar sırasıyla p_f faiz masrafı, p_a amortisman masrafları (yıpranma payı kadar bir kenara ayrılması gereken para), p_t tamir masrafları ve işletme sırasında yapılan p_i idari masraflarıdır. Amostisman masrafları tesisin ömrüne bağlıdır. Diesel santralları kısa ömürlü (en fazla 10 yıl), su santralları daha uzun ömürlüdür (40 yıl). Tamir masrafları su santrallarında daha azdır.

Elektrik enerjisi üretilirken yapılan masraflara da "üretim masrafları" denir ve yakıt masrafı, su masrafı, kül nakli masrafı, yağlama yağı masrafı olmak üzere dört grupta toplanır. b bir kWh enerji üretilmesi için yapılan masraf olmak üzere, $M_ü$ üretim masrafı için

$$M_ü = b \,.\, A \qquad [3.38]$$

yazılır. b ise

$$b = b_y + b_s + b_{kül} + b_{yy} \qquad [3.39]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$b = b_y \cdot (1 + \alpha + \beta + \gamma) \approx b_y \qquad [3.40]$$

dir. b_s, su masrafı, b_k kül nakli masrafı ve b_{yy} yağlama yağı masrafı için sırasıyla

$$\left.\begin{aligned} b_s &= \alpha \cdot b_y \\ b_k &= \beta \cdot b_y \\ b_{yy} &= \gamma \cdot b_y \end{aligned}\right\} \qquad [3.41]$$

yazılabilir. α, β, γ reel katsayılardır. b_s, b_k ve b_{yy} masrafları yakıt masrafı yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Su santrallarında $b_y = b_s = b_{kül} = 0$ alınır. Yakıt masrafları bir kWh enerji üretmek için santrala verilecek yakıt miktarına, dolayısı ile yakıt fiyatına ve yakıtın cinsine bağlıdır. b_y yakıt fiyatı f_y (TL / kWh) yakıtın birim fiyatı ve Q_y (kg / kWh) birim yakıttan üretilecek enerji cinsinden

$$b_y = f_y \cdot Q_y \quad (TL/kWh) \qquad [3.42]$$

olur. Q_y ise

$$Q_y = \frac{860}{\eta \cdot H_u} \qquad [3.43]$$

şeklindedir. η verim ve H_u alt ısıl değerdir. (3. 43)'ün (3. 42)'de yerine konulmasıyla

$$b_y = \frac{860}{\eta \cdot H_u} \cdot f_y \qquad [3.44]$$

(Burada H_u = kcal / kg cinsinden alınacaktır)

veya

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$b_y = \frac{3{,}6 \cdot 10^3}{\eta \cdot H_u} \cdot f_y \qquad [3.45]$$

(Burada H_u = kj / kg cinsinden alınacaktır)

bulunur. Yakıt fiyatının belirlenmesi için η verimi bilinmelidir. Su santrallarında yakıt maliyeti sıfırdır. Buhar santrallarında η = % 35 - % 42, diesel santrallarda η = % 38 - % 40'dır. (3. 34) ifadesinin yeniden düzenlenmesiyle

$$f = \frac{M}{A} = \frac{M_t + M_b}{A} = \frac{p \cdot s + b_y A}{A} = \frac{p_a \cdot p_s + b_y \cdot A}{A} = \frac{p_a \cdot p_s}{A} + b_y \qquad [3.46]$$

bulunur. $b \approx b_y$ alınarak enerjinin birim (kWh) maliyeti için

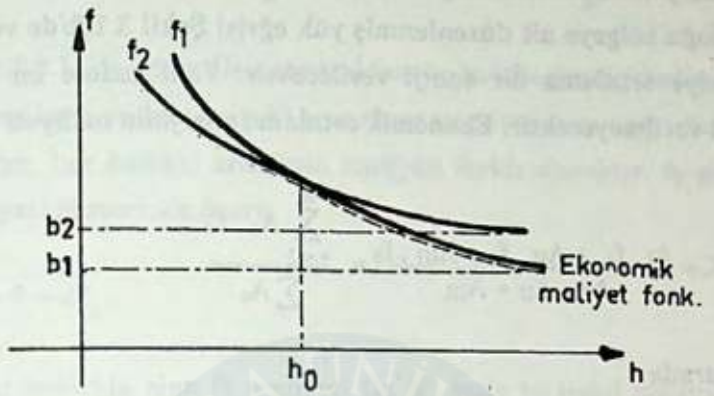
$$f = \frac{p \cdot a}{h} + b \qquad (TL / kWh) \qquad [3.47]$$

yazılabilir. h ne kadar yüksek olursa, f o oranda düşük olmaktadır. Yani elektrik enerjisini ucuza mal etmek için h büyütülmelidir. Bu amaçla tüketiciye puant zamanının dışında enerji satmaya çalışılmalıdır. Ayrıca kurulması gereken santrallar ikişer ikişer karşılaştırılarak en ekonomik olanı seçilmelidir.

3.10 Enerjinin Maliyeti Bakımından Santralların Karşılaştırılması

Enerji birim maliyetleri farklı iki santral göz önüne alınsın. Birinci santraldaki enerjinin birim maliyeti f_1, ikinci santraldaki enerjinin birim maliyeti de f_2 olsun. Bu maliyetlerin h işletme süresine bağlı olarak değişimleri Şekil 3.9'da verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.9 - Santralların enerji maliyetlerine göre karşılaştırılması

h_0 sınır işletme süresi f_1 ve f_2 maliyetlerinin işleme süresine bağlı olduğuna göre ve $b_2 > b_1$ ile $a_1 \cdot p_1 > a_2 \cdot p_2$ kabulü dikkate alınarak (3.47) ifadesi her iki santral için ayrı ayrı yazılıp f_1 ve f_2'nin sınır işletme süresi göz önünde tutularak eşitlenmesinden

$$\frac{a_1 \cdot p_1}{h_o} + b_1 = \frac{a_2 \cdot p_2}{h_o} + b_2$$

$$h_o = \frac{a_1 \cdot p_1 \pm a_2 \cdot p_2}{b_2 - b_1} \qquad [3.48]$$

bulunur. $b_2 > b_1$ ve $a_2 \cdot p_2 > a_1 \cdot p_1$ ise, birinci santral daha ekonomiktir. Şekil 3.9'dan h_o'ın sol tarafında $f_2 < f_1$ ve sağ tarafında $f_2 > f_1$'dir. Yani sol tarafta S_2 santralı daha ekonomik sağ tarafta ise S_1 santralı daha ekonomiktir.

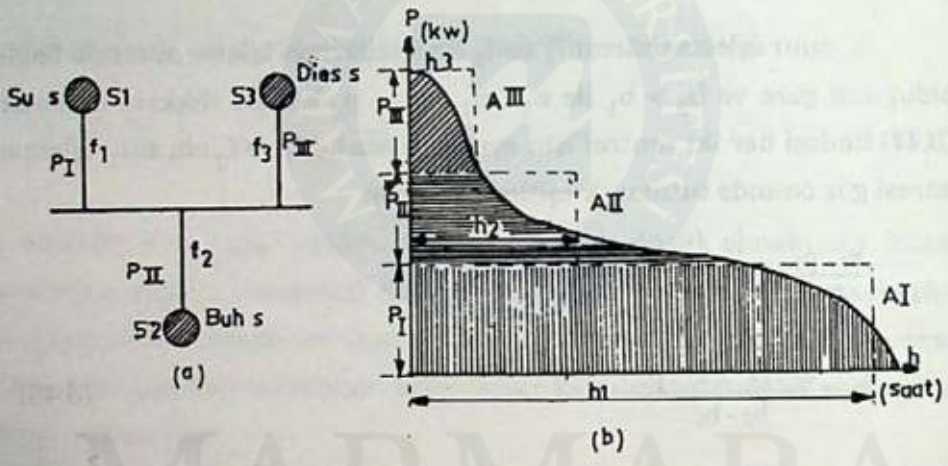
3.11 Paralel Çalışan Santrallar İçin Enerjinin Birim Maliyeti

Şekil 3.10'a da üç tane santral gösterilmiş olup, S_1 santralı su santralıdır ve enerjinin S_1 santralındaki maliyeti f_1 ile; S_2 santralı buhar santralıdır, enerjinin S_2 santralındaki maliyeti f_2 ile ve S_3 diesel santra-

lıdır, enerjinin S_3 santralındaki maliyeti f_3 ile belirtilmiştir. Santralların bulunduğu bölgeye ait düzenlenmiş yük eğrisi Şekil 3.10b'de verilmiştir. Tüketiciye ortalama bir enerji verilecektir. Yani sadece bir santralın enerjisi verilmeyecektir. Ekonomik ortalama enerjinin maliyeti

$$f_o = \frac{A_I \cdot f_1 + A_{II} \cdot f_2 + A_{III} \cdot f_3}{A_I + A_{II} + A_{III}} = \frac{\sum_{v=1}^{n} A_v \cdot f_v}{\sum A_v} \qquad [3.48a]$$

olur. Burada



Şekil 3.10 - a) Paralel çalışan üç santralın blok şeması
b) Düzenlenmiş yıllık yük eğrisi

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{a_1 \cdot p_1}{h_1} + b_1 \\ f_2 &= \frac{a_2 \cdot p_2}{h_2} + b_2 \\ f_3 &= \frac{a_3 \cdot p_3}{h_3} + b_3 \end{aligned}\right\} \qquad [3.48b]$$

dir.

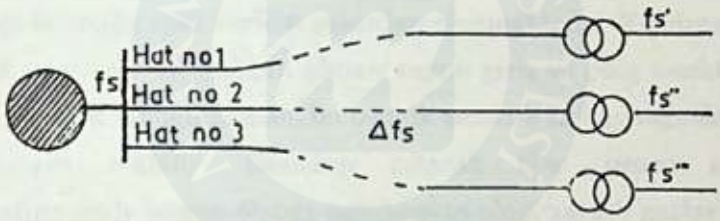
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3.12 Enerjinin Şebekeye Olan Maliyeti

Şekil 3.11'de gösterilen santraldan üç hat beslenmektedir. Herbir hattın uzunluğu ve her hattaki transformatör istasyonunun gücü farklı olduğundan, her hattaki enerjinin maliyeti farklı olacaktır. $f_ş$ şebekeye olan maliyeti göstermek üzere

$$f_ş = f_s + \Delta f_ş \qquad [3.49]$$

olur. Yani santrala olan fs maliyeti ile $\Delta f_ş$ tesis ve nakil maliyetlerinin toplamıdır.



Şekil 3. 11 - Enerjinin şebekede iletimi

$\Delta f_ş$ 'nin iki bileşeni vardır. Bunlar sırasıyla

- Şebekeyi tesis etmek için yapılan yatırımın yol açtığı masraflar (Faiz, amortisman, bakım masrafı) olup

$\frac{a_ş \cdot p_ş}{h_ş}$ şeklinde gösterilebilir.

- Şebeke üzerinde enerji iletirken meydana gelen kayıpların sebep olduğu masraflardır. Santral gücünün, kayıp masraflarına karşı düşen kayıp gücü de dikkate alınarak büyük tutulmasıyla tüketiciye istediği kadar güç verilmesi sağlanır. Buna göre $\Delta f_ş$ için

[3.50]

$$\Delta f_{ş} = \underbrace{\frac{a_{ş} \cdot p_{ş}}{h_{ş}}}_{\text{Tesis Masrafı}} + \underbrace{\frac{a_{h} \cdot p_{h}}{h_{ş}}}_{\text{Güç Masrafı}} + \underbrace{b_{ş}}_{\text{Kayıp Masrafı}}$$

yazılabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

4. 0. BUHAR SANTRALLARI

Dünyada yaygın olarak kullanılan ve elektrik enerjisi üretiminin en güvenilir olduğu santrallardır. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin % 55'i buhar santrallarında üretilmektedir. Ham enerji maddelerinin önceden depolanabilmesi ve taşınabilir olması güvenilirliğini arttırmaktadır. Çevreye olan etkileri bakımından en önemli durum, santral artıklarının devamlı olarak ölçülebilmesi ve kontrol edilmesidir. Bu artıklar, bacadan çıkan uçucu küller ve baca gazlarıyla, nehirlerden, göllerden alınarak kondensede soğutma suyu olarak kullanılan ve yüksek sıcaklıkla alındığı kaynağa geri verilen sulardan oluşmaktadır. Kondensede kullanılmak üzere bir kaynaktan alınan suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında çok fark olduğu zaman, bu termik sıcaklık su kaynağındaki canlılara zararlı olabilir. Bacadan çıkacak olan uçucu küller ise elektrofiltrelerle büyük ölçüde tutulmakta olup, zararlı gazlar ise kazanda yanmanın tam olarak sağlanıp sağlanamaması kadar yakıtın cinsine de bağlı olan etkilerdir. Bacadan yüksek sıcaklıkla ve belli bir hızla çıkan gazlar, sanal baca yüksekliği adı verilen bir yüksekliğe kadar çıkmakta olup daha sonra civara yayılırlar. Sanal baca yüksekliği

$$L_s = L_o + L_m + L_t \qquad [4.\ 1]$$

olarak verilmektedir. (4.1) ifadesinde L_o (m) bacanın gerçek yüksekliği, L_m (m) gazın kendi moment etkisiyle yükseldiği mesafe, L_t (m) gazın Arşimet Prensibine göre yükseldiği mesafe ve L_s (m) sanal baca yüksekliğidir. L_m ve L_t'nin bulunması için Basanguet formülünden faydalanılır. V (m/s) rüzgar hızı, V (m/s) rüzgar hızı, V_g (m/s) gazın bacadan çıkış hızı, Q (m^3/s) bacadan çıkan gazın debisi ve g (m/s^2) olarak yerçekimi ivmesi olmak üzere

$$L_m = \frac{4{,}77}{1 + 0{,}43\ V/V_g} \cdot \frac{\sqrt{Q \cdot V_g}}{V} \qquad [4.2]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

yazılabilir. T_1 (°K) baca gazının özgül ağırlığının havanın özgül ağırlığına eşit olduğu sıcaklık, Δ (°K) baca gazı sıcaklığı ile T_1 arasındaki fark ve G (°C) hava sıcaklığının yükseklikle değişimi olarak

$$L_t = 6{,}37\ g \cdot \frac{\Delta \cdot Q}{V^3 \cdot T_1} \cdot \left[\ln j^2 + \frac{2}{j} - 2 \right] \qquad [4.3]$$

yazılabilir. Burada j

$$J = \frac{V^2}{\sqrt{Q \cdot V_g}} \left[0{,}43 \cdot \sqrt{\frac{T_1}{G_g} - 0{,}28 \cdot \frac{V_g}{g} \cdot \frac{T_1}{\Delta}} \right] + 1 \qquad [4.4]$$

dir. Baca yüksekliğini, baca gazı debisini, baca gazı sıcaklığını ya da gazın bacadan çıkış hızını arttırmakla sanal yüksekliği arttırılabilir.

4. 1 Buhar Santrallarının Sınıflandırılması

Buhar santralları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Yakıt şekli, kullanma amacı, üretim türü v.b. kriterler sınıflandırmada esas alınabilir. Müşterinin kullanım amacına göre, endüstri santralları ve halka açık santrallar olmak üzere ikiye ayrılabilir.

4.1.1 Üretim Türü Bakımından Sınıflandırma

Termik santrallar üretim türüne göre;

- Kuvvet ve ısının akuple olmadığı santrallar,
- Kuvvet ve ısının akuple olduğu santrallar

olarak gruplandırılabilir. Birincisinde sadece elektrik enerjisi üretmek amacı güdülür ve kondensasyon türbinleri kullanılır. İkincisinde ise hem elektrik enerjisi üretilir, hem de başka bir yerin gereksinimi olan buhar veya ısı sağlanır. Kuvvet ve ısının akuple olduğu ikinci gruptaki santral-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

lar, kendi aralarında da ikiye ayrılabilir. Bunlar da, esas amacı elektrik üretimi olan santrallar ve esas amacı ısı veya buhar üretimi olan santrallardır. Birinci tip santrallarda kondensasyon türbinleri, ara buharlı kondensasyon türbinleri, karşı basınçlı türbinler ve ara buharlı karşı basınçlı türbinler kullanılır. Ana amaç elektrik üretimi olup, buhar veya ısı üretimi ancak yan bir amaç olarak gerçekleştirilir. Ana amacı ısı üretimi olan santrallar, buhar veya sıcak su temini için tesis edilirler. Yan amaç olarak elektrik enerjisi üretilir ve üretilecek elektrik enerjisi santraldan sağlanan buhar veya sıcak su miktarıyla sınırlanır. Bu tip santrallarda karşı basınçlı türbinler, ara buharlı karşı basınçlı türbinler, ara buharlı kondensasyon türbinleri kullanılır.

4.1.2 Türbin İçindeki Buharın Genleşmesine Göre Sınıflandırma

a) Karşı basınçlı santrallar: Karşı basınçlı türbinlerin kullanıldığı santrallardır. Bu tip santrallarda hem elektrik enerjisi üretilir, hem de ısı veya buhar sağlanır.

b) Ara buharlı karşı basınçlı santrallar: Karşı basınçlı santrallarla aynı özelliktedirler. Bu santrallarda türbinden, karşı basınçtan daha yüksek bir basınç seviyesinde ara buhar alınır.

c) Ara buharlı kondensasyon santralları: Elektrik enerjisi üretimi ve ısı sağlanmasının aynı derecede önemli olduğu durumlarda kullanılır.

d) Kondensasyon santralları: Elektrik enerjisi üretmek amacıyla bu santrallardan faydalanılır. Genellikle büyük kapasitelidir.

4.1.3 Kuruluş Biçimine Göre Sınıflandırma

a) Çapraz beslemeli santrallar:

Bu santrallarda kazanlar ortak bir besleme suyu hattı ile beslenir-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ler. Türbinlere ise istenilen kazanlardan buhar verilebilir. Kazanlar hem buhar, hem de su tarafı bakımından ring şeklinde bir boru sistemiyle birbirlerine irtibatlıdır.

b) Blok santrallar:

Blok santrallarda, her blok tümüyle bağımsız olarak enerji üretir. Her kazanın kapasitesine uygun bir türbin vardır. Bu tip santrallar baz yük santralıdır ve en ekonomik yük noktasında sürekli çalıştırılmalıdır.

4.1.4 Çalıştırma Şekline Göre Sınıflandırma

a) Baz yük santralları: Baz yük ihtiyacını karşılamak için kurulurlar. Sürekli çalıştırılacağından en ucuz yakıtlarla çalışacak şekilde dizayn edilirler. Baz yük santrallarında genellikle yakıt olarak linyit kullanılır. Faydalı ömürleri bittikten sonra, yani işletme yönünden ekonomikliğini bitirdikten sonra bu tip santrallar orta yük veya peak yük santralı olarak kullanılırlar. Baz yük santrallarının tesis maliyeti yüksek ancak işletme maliyeti düşüktür.

b) Orta yük santralları: Orta yük santralları baz yük santrallarına göre daha basit bir yapıya sahiptir ve devreye alma kayıpları çok daha azdır. Genellikle sabit bir güçle işletilirler. Gece geç saatlerde devre dışına alınarak sabahları erken saatlerde tekrar devreye sokulurlar.

c) Peak yük santralları: Bu tip santralların devreye alınma süreleri çok kısa olmalıdır; çünkü peak yüke olan ihtiyaç saati bilinmekle beraber, yük ani olarak ortaya çıkar. Gaz türbinli santrallar ve rezervuarlı su santralları peak yük santrallarıdır.

4.1.5 Soğutma Suyu Sistemine Göre Sınıflandırma

Soğutma suyu açık devreli ve kapalı devreli olmak üzere iki çeşittir. Açık devreli soğutma suyu sisteminde, su bir kaynaktan alınır ve kondensede soğutma işlevini tamamladıktan sonra kaynağa tekrar geri verilir. Kapalı devreli soğutma suyu sistemindeyse, kondensede soğutma

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

işlevini gören su ısınır ve soğutma kulelerinde soğutularak tekrar kondenseye gönderilir. Kapalı bir çevrim vardır.

4.1.6 Yakıt Cinsine Göre Sınıflandırma

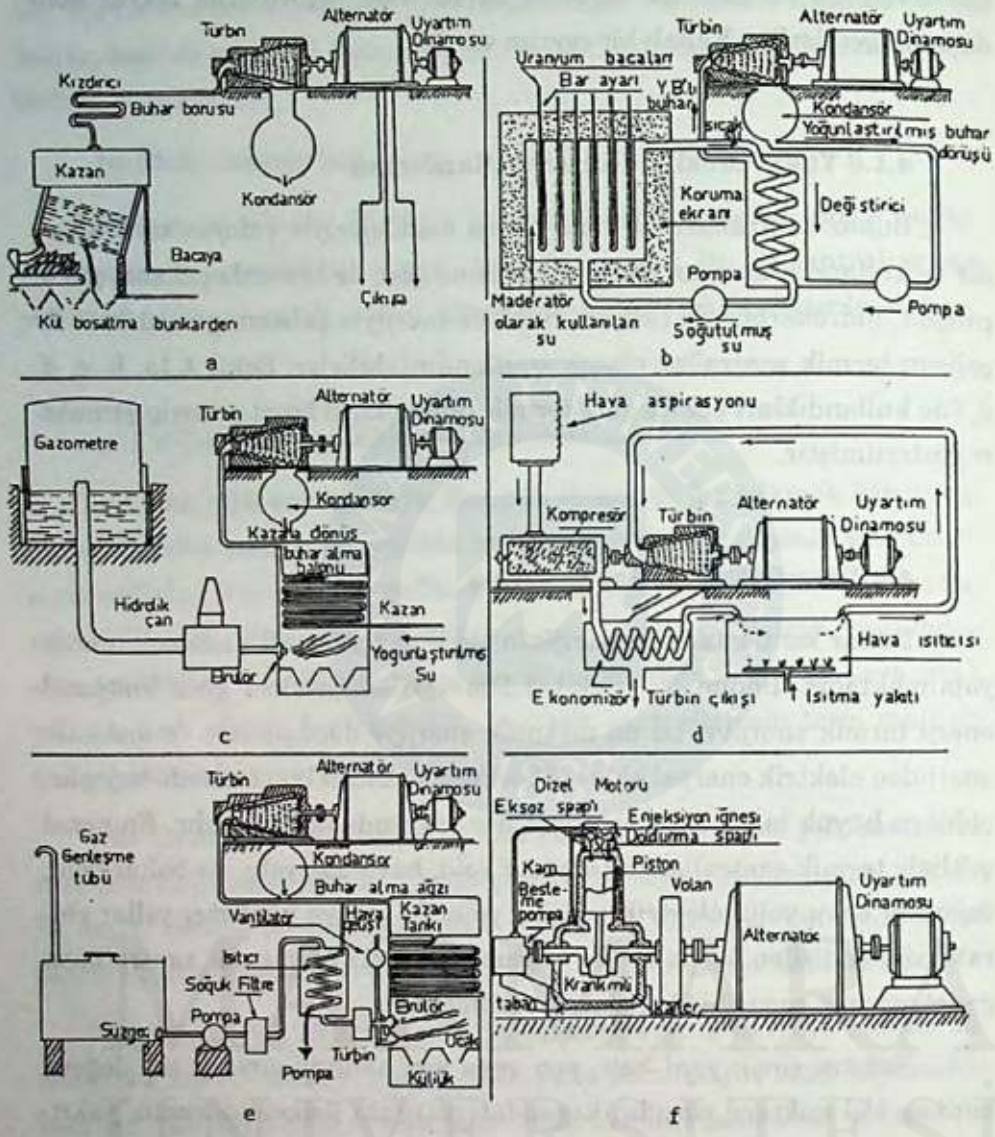
Buhar santralları ısıl ham enerji maddeleriyle çalışan santrallardır ve kullandıkları ham enerji maddesine göre de kömürle çalışan, gazla çalışan, hidrokarbür ile çalışan, nükleer enerjiyle çalışan, gaz türbini ile çalışan termik santrallar olarak sınıflandırılabilirler. Şekil 4.1a, b, c, d, e, f'de kullandıkları yakıta göre termik santralların basit prensip şemaları gösterilmiştir.

4.2 Termik Santralların Yapısı

Buhar santrallarında enerjinin şekil değiştirmesi kademeli olarak yapılmaktadır. Bölüm 3 - Şekil 3.1'de verilen çevrime göre kimyasal enerji termik enerjiye, bu da mekanik enerjiye dönüşmekte ve mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilmektedir. Ancak bu çevrimde kayıplar oldukça büyük bir yer tutmakta ve her çevrimde artmaktadır. En genel şekliyle termik santrallar yakıt-cüruf yolu, hava-gaz yolu, su-buhar yolu, soğutma suyu yolu, elektrik enerjisi yolu ile yan ve yardımcı yollar olarak isimlendirilen kısımlardan oluşur. Şekil 4.2'de termik santralların genel çalışma prensibi blok olarak verilmiştir.

Yakıtın cinsi; yani katı, sıvı veya gaz halinde olması, ısıl değeri, nem ve kül miktarı, cürufun kazandan çıkıştaki fiziksel durumu, yakıt-cüruf yolunun konstrüksiyonunu belirler. Yakıt kazandaki ocakta yanarak gaz haline dönüşür ve yanma sonucu oluşan ısı enerjisi bu gazla taşınır. Kül ve cüruf gibi atık maddeler ise yanma sonucu arta kalan artıklardır. Hava-gaz yolunda ise yanma için gerekli olan taze hava bir

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.1 - a. Kömürle çalışan termik santrallar
b. Çekirdek parçalanmasıyla çalışan termik santrallar
c. Gazla çalışan termik santrallar
d. Gaz türbiniyle çalışan termik santrallar
e. Hidrokarbür ile çalışan termik santrallar
f. Dizel grubu

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

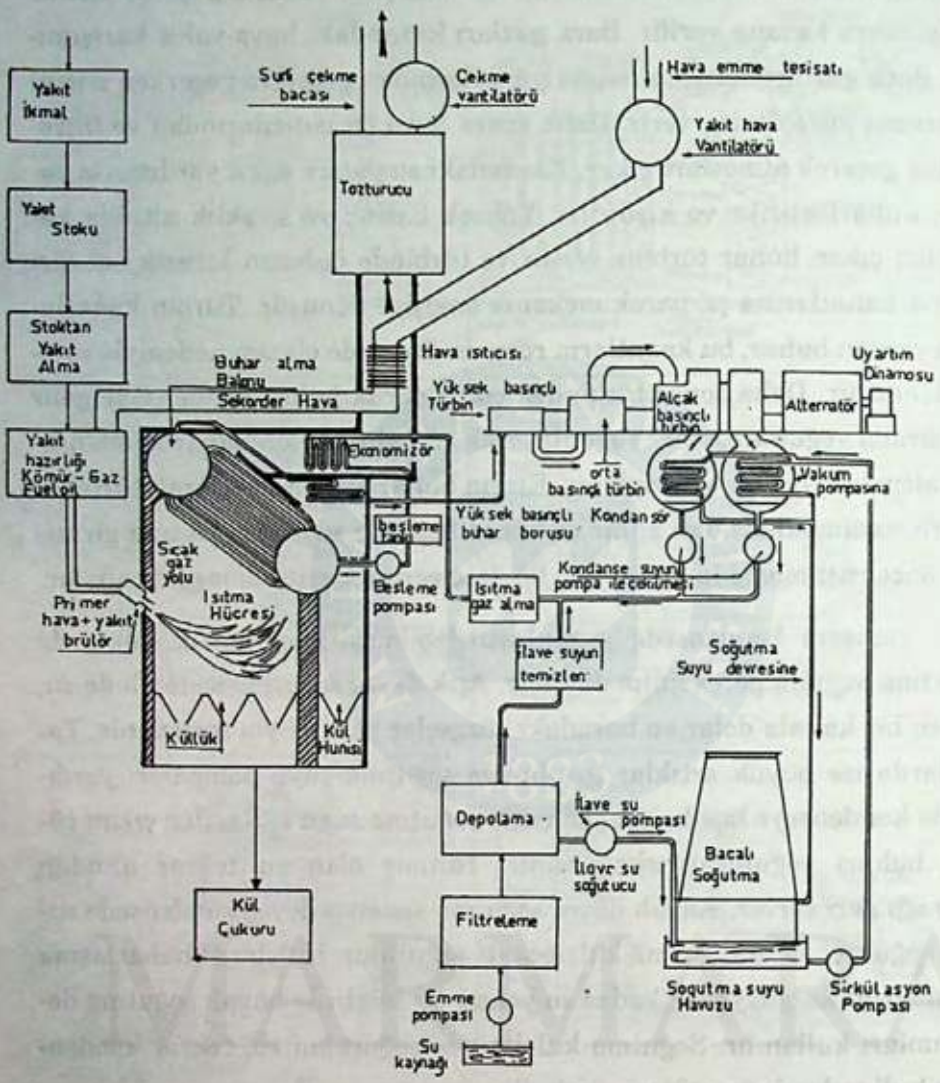
vantilatörle atmosferden emilir bir ısı değiştiricisinden geçerek ısıtılır daha sonra kazana verilir. Baca gazları kazandaki hava-yakıt karışımıdır. Baca gazları kazanın ısıtma yüzeylerinden geçer ve geçerken ısısını bu ısıtma yüzeylerine verir. Daha sonra hava ön ısıtıcılarından ve filtrelerden geçerek atmosfere çıkar. Kazandaki su yanan yakıt yardımıyla ısıtılır, buharlaştırılır ve kızdırılır. Yüksek basınç ve sıcaklık altında kazandan çıkan buhar türbine verilir ve türbinde buharın kinetik enerjisi türbin kanatlarına çarparak mekanik enerjiye dönüşür. Türbin kanatlarına çarpan buhar, bu kanatların rotorun üzerinde olması nedeniyle rotoru döndürür. Daha sonra türbinden çıkan çürük buhar kondenseye gelir ve burada yoğunlaştırılır. Yoğunlaşarak su haline gelen buhar kondensenin altındaki bir tankta toplanır. Kızgın buhar ara buhar olarak türbinin çeşitli basamaklarından alınır ve kazan besleme suyunun kazana girmeden önce ısıtılmasında kullanılır. Böylece verimin arttırılmasına çalışılır.

Buharın kondensede yoğunlaştırılabilmesi için, büyük miktarda soğutma suyuna gereksinim duyulur. Açık devre soğutma sisteminde su, açılan bir kanala dolar ve buradaki süzgeçler yardımıyla temizlenir. Taraklarda ise büyük artıklar tutulur ve soğutma suyu pompaları yardımıyla kondenseye basılır. Kondensede soğutma suyu türbinden çıkan çürük buharı yoğunlaştırırken ısınır. Isınmış olan su tekrar alındığı kaynağı geri verilir. Kapalı devre soğutma sistemindeyse kondensede ısınan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutulur. Kulelerde buharlaşma kayıplarını karşılayacak kadar su yoksa, bu takdirde havalı soğutma donanımları kullanılır. Soğutma kulelerinde soğutulan su, tekrar kondensede kullanılmak üzere geri gönderilir.

Santrallarda türbin milinden alınan mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünün özel bir önemi vardır. Termik santraldaki elektrik enerjisi yolu, generatörden çıkan üç fazlı akım (trifaze akım, klemensler, transformatör, şebeke, müşteri) ve ikaz dinamosunun iki fazlı akımı (doğru akım, fırçalar, generatör rotoru) olmak üzere iki tanedir.

Turbo generatörlerin gelişimi soğutma problemiyle yakından ilgilidir. Günümüzde generatörler havayla, hidrojenle, veya tuzlarından arıtılmış su ile soğutulmaktadır. (Şekil 4.3, Şekil 4.4)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



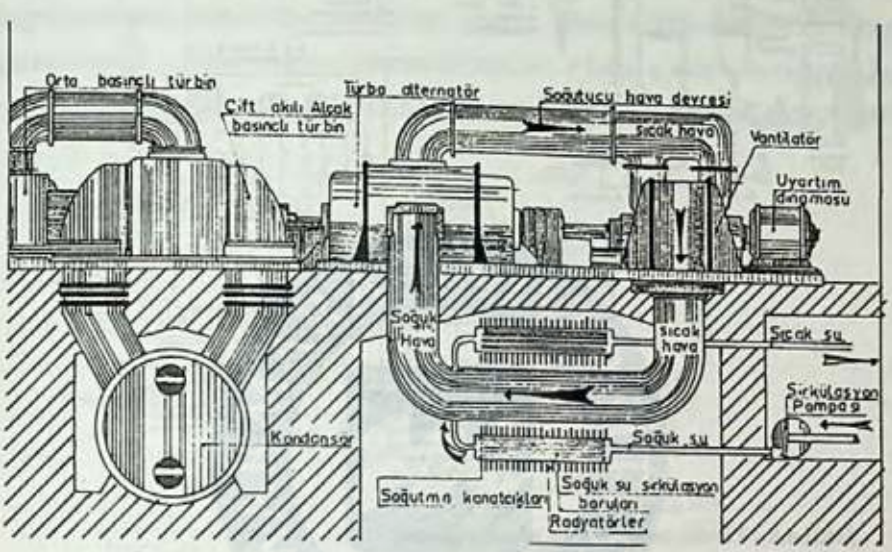
Şekil 4.2 - Termik santralların blok şeması

Soğutmada kullanılan hidrojen gazı kapalı bir devredir. Generatör klemenslerinden sağlanan enerjinin büyük bir bölümü tüketicilere verilir; geriye kalan küçük bir yüzdeyi ise üç ihtiyaç enerjisi oluşturur. Belirtilen bu yollarda ve çevrimlerde birçok motorlar, pompalar, fanlar, bantlar, santral binası, idare binası, sosyal binalar, lojmanlar, atelyeler bulunmakta ve bunların da tüketimleri olmaktadır.

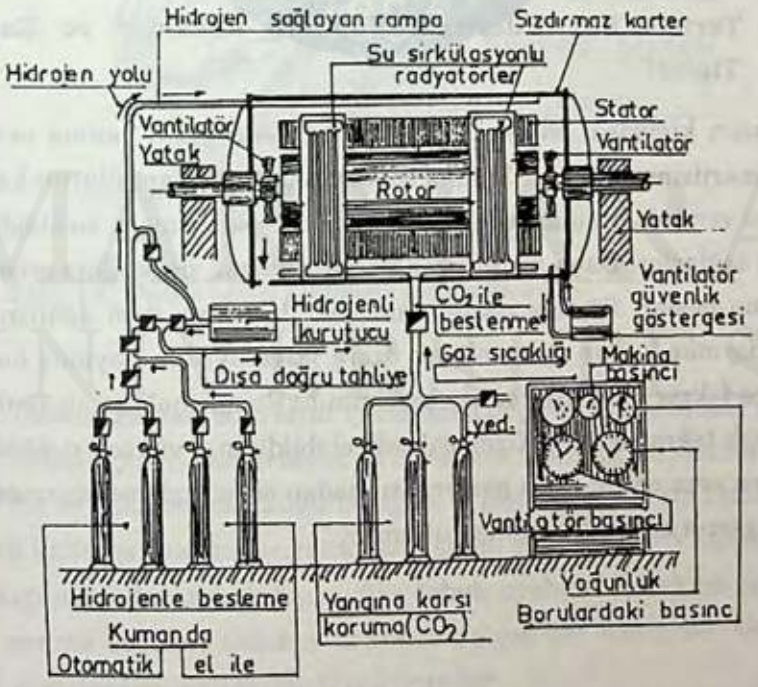
Yan ve yardımcı yolların en önemlisi generatörlerin, motorların ve

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

yatakların soğutulmasında kullanılan soğutma suyu ile su buhar çevrimindeki kayıpları karşılayan ilave suyudur. Şekil 4.5'de termik santrala ait işletme diagramı verilmiştir.

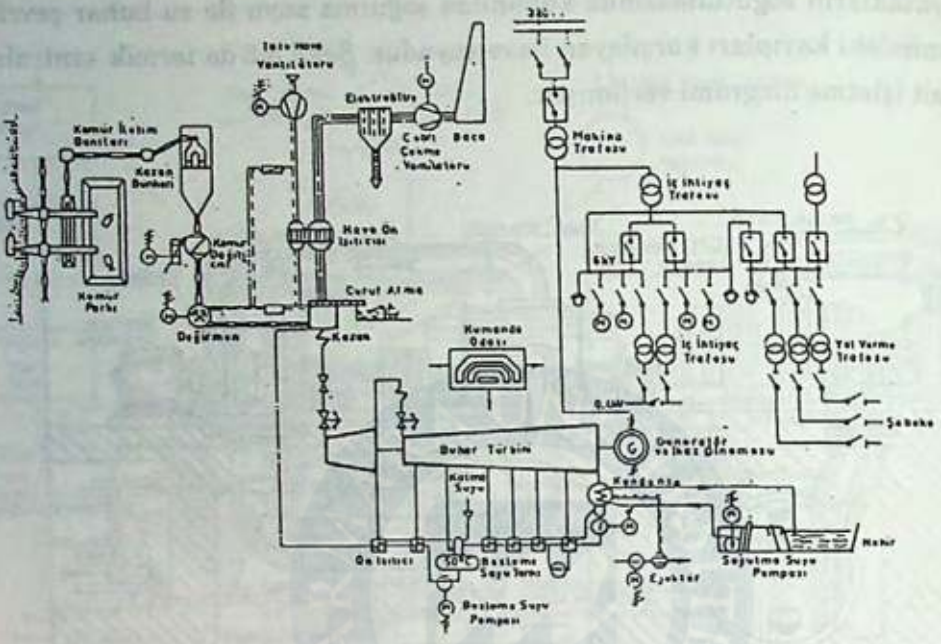


Şekil 4.3 - Generatörlerin havayla soğutulması



Şekil 4.4 - Generatörlerin hidrojenle soğutulması

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.5 - Termik santralların işletme şeması

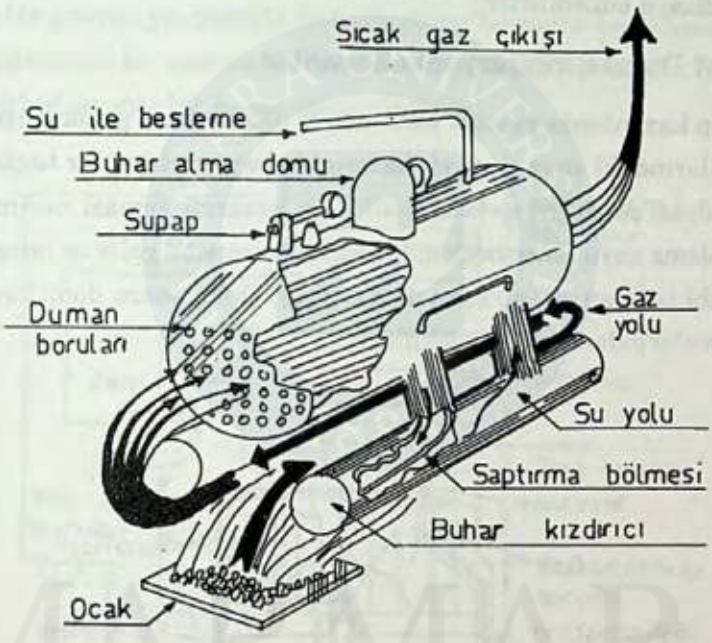
4.3 Termik Santrallarda Kullanılan Kazanlar ve Kazan Tipleri

Yakıtın kimyasal enerjisi kazanda meydana gelen yanma neticesinde ısı enerjisine dönüşür. Yanma sonucu oluşan gazlar ısılarını kazan borularına vererek boruların içinden geçmekte olan suyun sıcaklığının artmasını sağlarlar. Daha sonra sıcaklık buharlaşma sıcaklığına erişerek buharlaşma başlar. Böylece oluşan su-buhar karışımı, dom denilen bir haznede doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Doymuş buhar daha sonra tekrar kızdırılır, su ise çevrimin başlangıç noktasına yeniden gönderilerek tekrar ısıtılır. Kızdırıcılarda olabildiğince yüksek sıcaklıklara çıkılması arzu edilir. Baca gazları atılmadan önce besleme suyunun ve yanma odasının ön ısıtılmasında kullanılır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

4.3. 1 Büyük Su Hacimli Kazanlar

Bu tip kazanlar, alev borulu veya duman borulu kazanlar adını alır. Duman borulu kazanlar silindirik bir gövde ve bu gövdenin içerisine doğru uzanan duman borularından oluşur. Şekil 4.6'da bu tip bir kazan gösterilmiştir. Yakıt ızgara üzerinde yanar ve baca gazları boruların içerisinden geçerek duman hücresine gelir ve oradan da bacaya geçer.



Şekil 4.6 - Duman borulu kazanların prensip şeması

Duman gazları boruların içerisinden geçerken etrafındaki suyu ısıtarak buharlaştırır. Buharlaşan su borularla alınarak duman hücresinde kızdırılır ve daha sonra kullanılacağı yere gönderilir. Bu tip kazanlar çok yüksek kalitede besleme suyuna gereksinim duymaz ve su hacimleri fazla olduğundan devamlı değişen yüke çabuk uyabilir. Ancak bu tip kazanların ısınma süreleri oldukça uzundur ve çok yer kaplarlar. Genellikle küçük tesisler için kullanılmaları uygundur.

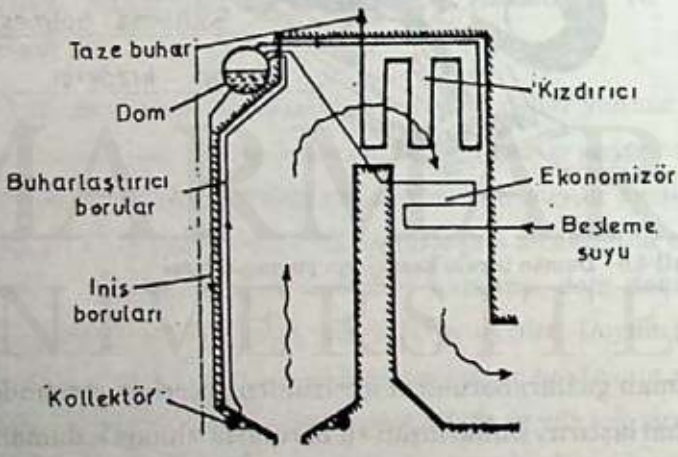
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

4.3.2 Su Borulu Kazanlar

Enerji gereksinimi büyük olduğu zaman bu tip kazanlardan faydalanılır. Duman borulu kazanlara göre aynı kazan gücü için daha az yer kaplarlar. Isınma süreleri kısadır, ancak boruların temizlenebilmesi zor olduğundan oldukça temiz bir besleme suyuna gerek duyarlar. Ayrıca su hacimleri az olduğundan değişen yüklere çabuk uyabilmesi için çok hassas ayar sistemlerine gereksinim duyarlar. Su borulu kazanlar değişik şekillerde dizayn edilebilirler.

4.3.2.1 Doğal Sirkülasyonlu Kazanlar

Bu tip kazanlarda yakıtın yanmasıyla oluşan baca gazları, ısılarını kazan borularındaki suya vererek kazanı bir baştan diğer bir başa dolaşırlar. Şekil 4.7'de doğal sirkülasyonlu bir kazanın şeması verilmiştir. Burada besleme suyu, önce besleme suyu ön ısıtıcısına gelir ve burada ön ısıtmaya tabi tutulan su buradan dom'a girer. Daha sonra dom'dan çıkarak, iniş borularından aşağıya dökülür.



Şekil 4.7 - Doğal sirkülasyonlu kazan

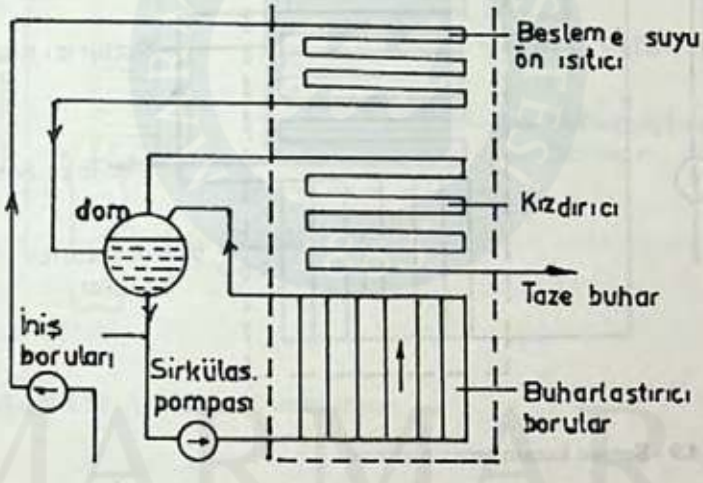
Burada kollektörlerde toplanan su, buharlaştırıcı borularda ısına-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

rak yükselir ve tekrar dom'a döner. Bu sirkülasyon, dom'dan başlayarak dom'da son bulan bir doğal sirkülasyondur. Dom'a geri gelen su-buhar karışımı, burada doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. İniş borularından aşağıya inen su yeni bir sirkülasyona başlarken, doymuş buhar kızdırıcılarda kızdırılır ve oradan da türbine gönderilir.

4.3.2.2 Cebri Sirkülasyonlu Kazanlar

Bu kazanların en önemli farkı, iniş borularından aşağıya dökülen suyun bir pompa yardımıyla buharlaştırıcı borulara basılmasıdır. Burada sirkülasyon, bir pompa yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.8'de cebri sirkülasyonlu bir kazan gösterilmiştir.



Şekil 4.8 - Cebri sürkilasyonlu kazan

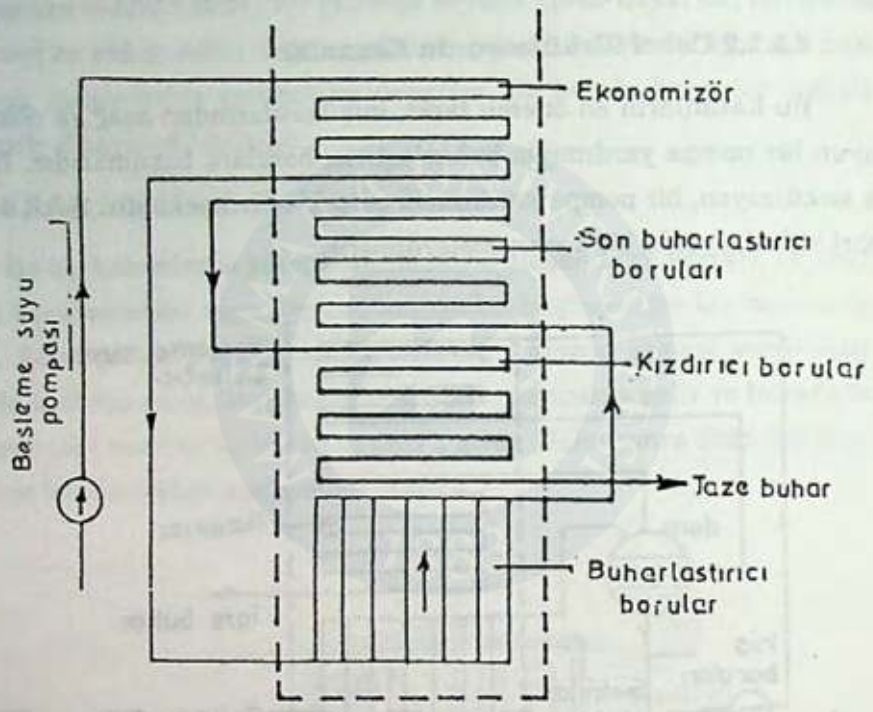
Doğal sirkülasyonlu kazanlarda basınç arttırıldığında, iniş borularındaki suyun özgül ağırlığı ile buharlaştırıcı borulardaki su-buhar karışımının özgül ağırlıkları arasındaki fark giderek küçülür. Bu durum, doğal sirkülasyonu engeller. Bu nedenle cebri sirkülasyonlu kazanlara gerek duyulmuştur.

4.3.2.3 Benson Kazanları

Termik santralların daha kısa sürelerde devreye alınabilmeleriyle

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ilgili olarak Benson ve Sulzer tipi kazanlar geliştirilmiştir. Benson kazanlarında dom yoktur ve tek geçişli boru düzeninden oluşmuştur. Kazanın ön ısıtıcı, buharlaştırıcı ve kızdırıcı bölümleri sırayla gelmektedir. Şekil 4.9'da bu tip bir kazanın şeması verilmiştir.

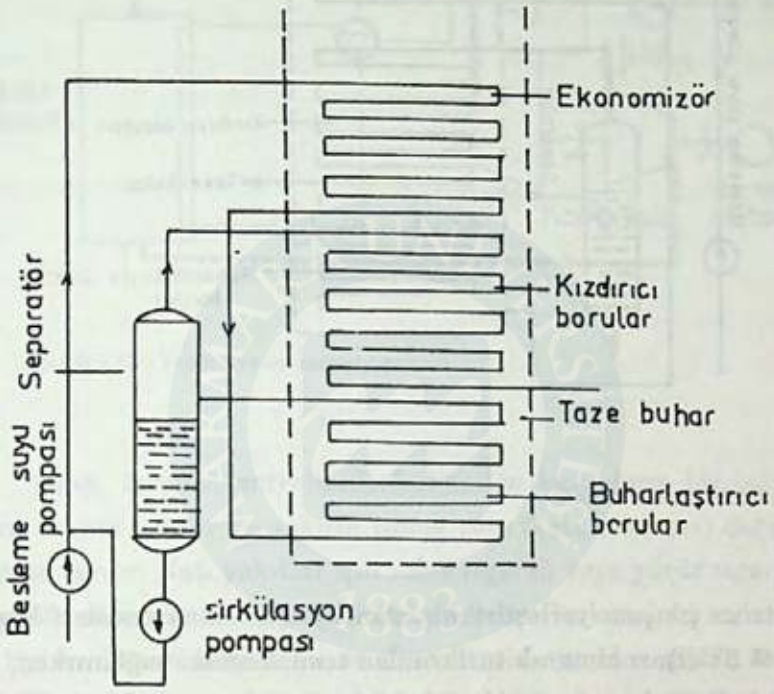


Şekil 4.9 - Benson kazanı prensip şeması

Besleme suyu pompası yardımıyla kazanın bir ucundan giren su, öteki ucundan kızgın buhar olarak çıkar. Termik santralların düşük yükte çalıştırılabilme imkanını sağlayabilmesi ve devreye alma sürelerinin kısaltılabilmesi için, Benson kazanlarında buharlaştırıcı çıkışlarına seperatör (ayrıştırıcı) eklenebilir böylece su ile buharın birbirlerinden tam olarak ayrılmaları sağlanır. Ayrıştırıcılı Benson kazanları klasik tip Benson kazanlarına oranla çok daha kısa zamanda devreye alınabilirler. Devreye alma esnasında bir sirkülasyon pompası, ayrıştırıcıda buhardan ayrılan suyun ön ısıtıcıdan ve buharlaştırıcıdan geçirerek yeniden sirkü-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

lasyonunu sağlar. Şekil 4.10'da ayrıştırıcılı bir Benson kazanının şeması gösterilmiştir.



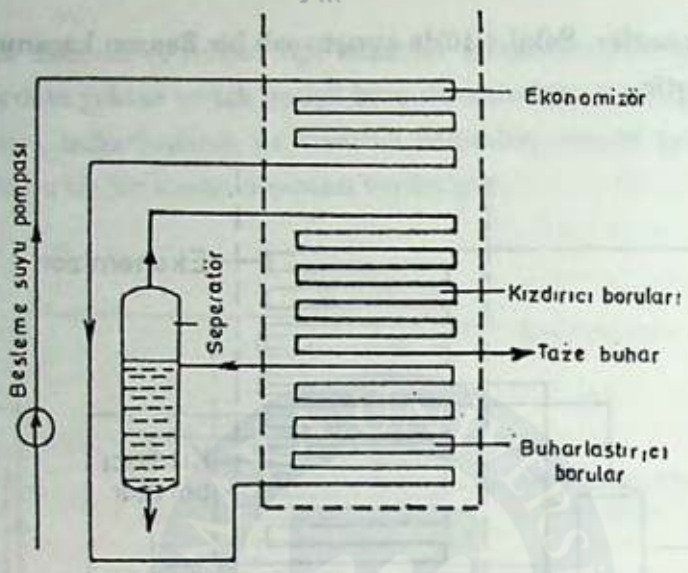
Şekil 4.10 - Ayrıştırıcılı Benson kazanı

Bazı tip Benson kazanlarında santralın yük ve çalışma durumuna bakılmaksızın sürekli olarak çalışan bir sirkülasyon pompası bulunur. Bunun görevi sirkülasyonu devamlı olarak sağlayarak buharlaştırıcı boruların soğutulmasını temin etmektir.

4.3.2.4 Sulzer Kazanları

Sulzer kazanları çalışma prensibi yönünden ayrıştırıcılı Benson kazanlarına benzer. Kesit alanı daha büyük olan borulardan yapılırlar. Bu tip kazanlarda kullanılan su, Benson kazanlarındaki kadar kaliteli değildir. Şekil 4.11'de bir Sulzer kazanının şeması gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



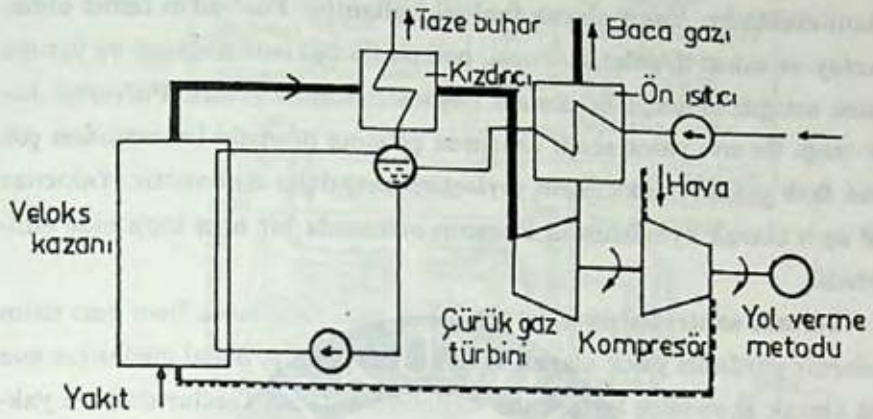
Şekil 4.11 - Sulzer kazanı

Buharlaştırıcı çıkışına yerleştirilmiş olan ayrıştırıcıdan önceleri kazan suyunun % 5'i dışarı alınarak tuzlarından temizlenmesi sağlanırken, zaman içerisinde su hazırlama tekniğindeki gelişmelere paralel olarak buna da gerek kalmamıştır.

4.3.2.5 Velox Kazanları

Velox kazanının yanma odası basınç altında olup, bu tip kazanlarda sadece sıvı veya gaz yakıtlar kullanılır. Yanma sonucunda oluşan baca gazları yüksek basınç altında olduğundan kazan hacmi azalır ve ısı transferi artar. Özel tesisler için kullanılabilir ve bu tip kazanlar taşınabilir. Kompresör yardımı ile yanma havası sıkıştırılır ve böylece de ısıtılır. Kompresör, kazandan çıkan baca gazlarının tahrik ettiği bir türbin yardımıyla çalıştırılır. Baca gazları türbine girmeden önce kızdırıcı ve besleme suyu ön ısıtıcısını ısıtırlar. Şekil 4.12'de bir Velox kazanı verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.12 - Velox kazanı prensip şeması

Ocak, termik santrallarda kullanılan kazanların bir bölümüdür. Yakıt ocakta yakılır ve yakıtın tipine göre (katı, sıvı, gaz) değişik tipte ocaklar vardır. Katı yakıtlar için sabit ızgaralı veya yürür ızgaralı ocaklar ya da pülverize kömür ocakları kullanılır. Ocak tipinin seçiminde, yakıt tipi ve kazan kapasitesi en önemli rolü oynarlar. Sabit ve ızgaralı olan elle yüklenen ocaklar en eski tip ocaklar olup küçük kapasiteli kazanlarda kullanılır. Kazan kapasitesinin artmasıyla birlikte yürür ızgaralı ocakların yapılması ve kullanılması gündeme gelmiştir. Çok yavaş hızda (0,5 m/dak.) hareket eden yürür ızgaralı ocakta yakıt bir taraftan taşınır, bir taraftan da yanar. Izgaranın sonunda da arta kalan kül ve cüruf dökülür. Yanma verimini arttırmak için ızgaranın üzerine taze hava üflenir. Bu tip ocaklar düşük yükteki çalışmalarda iyi sonuç verirler. Pulverize kömür ocaklarında kömür, değirmenlerde öğütülerek ince toz haline getirilir ve daha sonra yanma odasına üflenir. Öğütülmüş olan yakıtın yanma yüzey alanının çok büyük olması nedeniyle yanma çabuk olur. Kömürün kurutulabilmesi için değirmene baca gazı veya ısıtılmış hava gönderilir. Yakıcılar kazanın tavanında veya ön tarafında olabilir. Modern kazanlarda köşelere yerleştirilmiştir.

Sıvı yakıt ocakları termik santral kazanlarında oldukça sık olarak

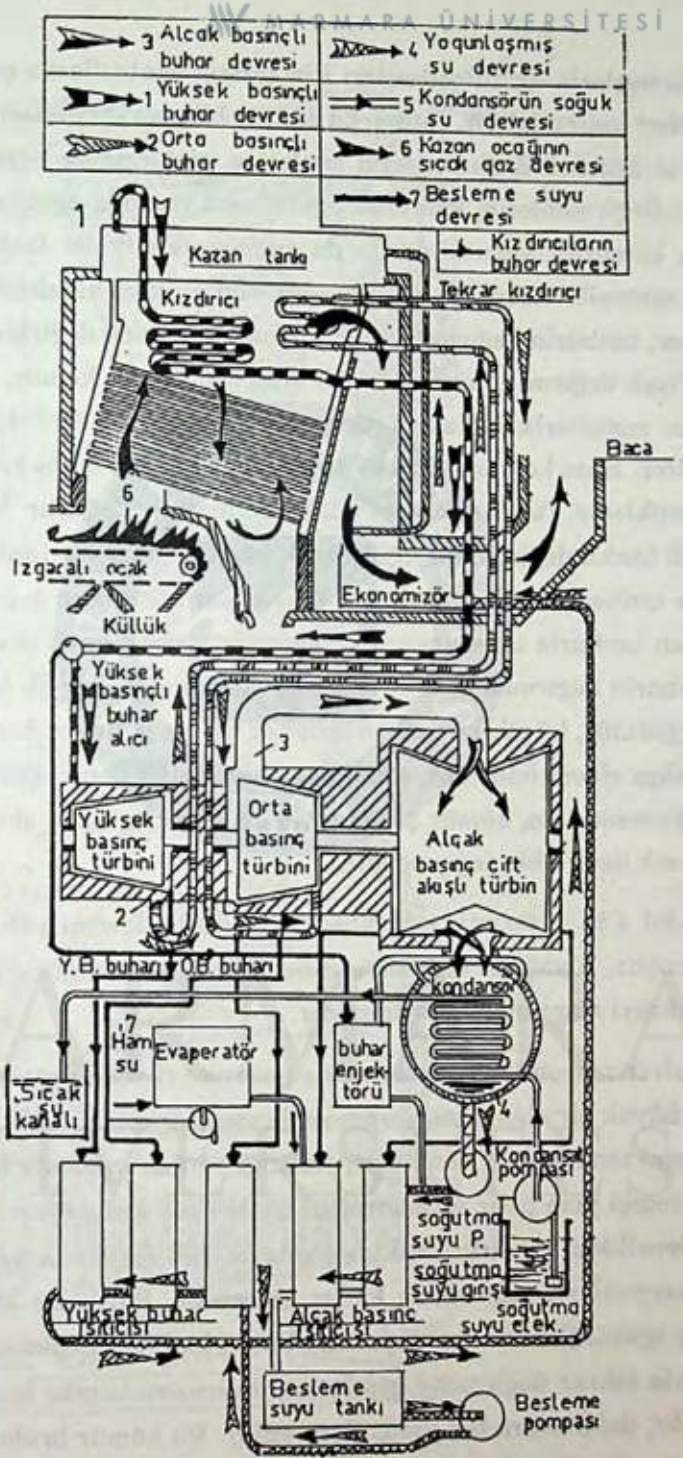
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

kullanılmaktadır. Yakıt olarak fuel-oil kullanılır. Fuel-oil'in temiz olması, kolay ve rahat depolanabilmesi, pompa ile nakledilebilmesi ve yanma sonucu artığın oldukça az olması başlıca üstünlükleridir. Pulverize kömür ocağı ile sıvı yakıt ocağı arasında çalışma prensibi bakımından çok büyük fark yoktur. Yakıcıların yerleştirilmesi daha da basittir. Yakıcılar hafif açılı olarak ayarlanarak kazanın ortasında bir ateş topu elde edilmektedir.

Termik santrallarda hava gazı, kok gazı ve yüksek fırın gazı uzun senelerdir yardımcı yakıt olarak kullanılmakta olup, doğal gazlar ise ana yakıt olarak ekonomik bir şekilde kullanılmaktadır. Gazlar ocak ve yakma tekniği bakımından ideal yakıtlardır. Çünkü katı yakıtlardaki gibi öğütme ve yanma sonrası artıklar mevcut değildir; ayrıca sıvı yakıtlardaki atomizasyon problemi yoktur. Gazların yanması esnasında gaz ile yanma havasının iyi bir şekilde karışmasına önem verilir. Gaz yakıt kullanan kazanlar genellikle doğrudan doğruya gaz hattından beslenirler. Böylece yakıtın depolanması problemi söz konusu olmaz.

Şekil 4.13'de termik santralların buharlaşma suyu ve buhar devresi görülmektedir. Boru ve kazandaki su, kazandaki ünitede üretilen ısı ile buharlaştırılır. Buharla sürüklenen su türbin kanatlarına zarar vereceğinden, buharı kurutmak gerekir; bu amaçla gaz devresi üzerine yerleştirilen borular kızdırılır. Yüksek basınçla gövdeden çıkan buhar, yüksek basınçla kanatlara girmeden önce tekrar kızdırılır. Bütün bu işlemler, buharın içindeki su damlacıklarının alınarak kuru buhar halinde türbine girmesini sağlamak için yapılır. Kinetik enerjinin bir kısmını türbinden kurtaran buhar soğutulur ve kondansörde su haline dönüşür. Tekrar buharlaşacağı kazana geri dönmeden önce, türbin çıkışından çekilen buhar, ısı transferinin oluştuğu helezon borularda ısıtılır. Boruların korozyonunu önlemek için suyun gazı alınır. Kazan beslemesi için sıcak su rezervi vazifesini tank görmektedir. Su kondansörden kazana pompalarla sevkedilir; ancak kazan besleme suyunun kazana girmeden önce ekonomizör ile ısı transferi gerçekleştirilir. Termik santralların kazanlarında kullanılan buharlaşmayı sağlayan suyun makina ve borular üzerinde korozyon, birikinti gibi tesirlerini önlemek için kimyasal işlemlere tabi tutulur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.13 - Termik santrallarda buhar devresi prensip şeması

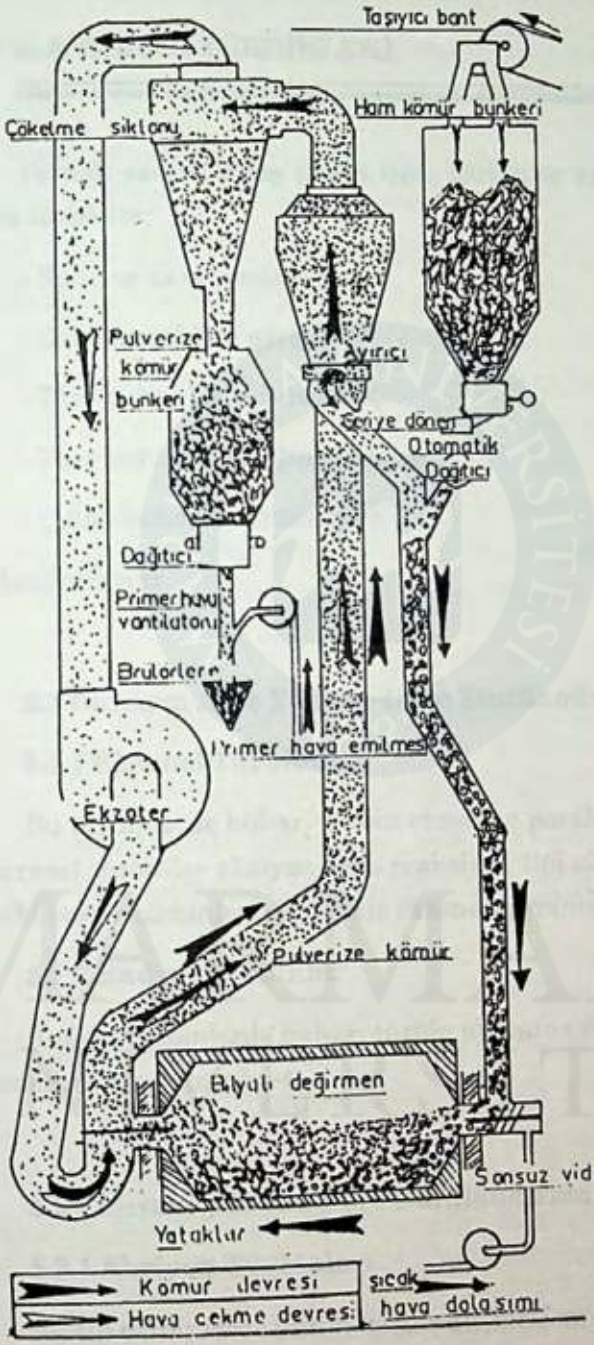
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Kömürlerin öğütülebilmeleri için termik santrallarda çeşitli değirmen tipleri kullanılabilir. Kömürün öğütülebilmesi sertliklerine bağlı olduğu gibi öğütücü değirmenlerin güçlerine, tiplerine ve boyutlarına da bağlıdır. Değirmenlerin, kömürün öğütülmesi yanında öğütme işlemi esnasında kömürün kurutulmasını da sağlamaları ikinci fonksiyonudur. Termik santrallarda bilyalı değirmenler, makaralı ve hareketli tanklı değirmenler, tanburlu değirmenler ve çarpmalı üflemeli değirmenler kullanılır. Bilyalı değirmenler orta devirli olup öğütülecek kömür, alt rulman yolundan motorlarla sağlanan dönme hareketiyle büyük bir bilyalı rulmana girer. Ham kömür, merkezkaç kuvvetli bilyalarla toz haline getirilerek sürüklenir. Toz, sıcak hava püskürtülmesi ile dağıtılır. Makaralı ve hareketli tanklı değirmende öğütülecek kömür döner bir tanbur üzerine düşer ve tanbur ile askıda bulunan makaralar arasından geçirilerek ezilir. Dönen tanburla tank arasından geçen toz, sıcak hava akımı ile üflenir. Tanburlu değirmen orta devirli olup içerisindeki büyük küreciklerle kömür öğütülür, küçük küreciklerle de toz haline getirilir. Sert kömürler için oldukça elverişlidir. Toz, sıcak hava akımıyla üflenir. Çarpmalı üflemeli değirmende ise, kömür şok yoluyla öğütülür ve hava akımıyla üflenir. Yüksek devirli bir değirmendir.

Şekil 4.14'te termik santrallardaki kömür devresi prensip olarak gösterilmiştir. Kömürün öğütülmesindeki amaç olabildiğince inceltilerek yanma yüzeyi alanının büyütülmesidir.

Pulverizasyon (ezerek toz haline getirme) sistemi tanelerin havada kalarak büyük bir alanla temasının sağlanması için kömürün oldukça inceltilmesini temin eder. Kömür depolandığı yerden mekanik bir sistemle depo edileceği yere gelir ve değirmeni beslemede kullanılan siloda depo edilir. Genellikle kömürün miktar kontrolü silo çıkışında yapılır. Ham kömür taşıyıcılarla değirmene kadar götürülür. Pulverize kömür hava akımıyla öğütücülerden uzaklaştırılır. Yeteri kadar öğütülmeyen taneler ayırıcılarla tekrar değirmene gönderilir. Pulverize kömür taşıyıcı havadan ayrılır, daha sonra bir siloda depo edilir. Bu kömür brülörleri besler ve arıza esnasında pulverizasyon için yedek görevi görür. Pulverize kömür için gerekli hava bir vantilatörle sağlanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.14 - Termik santrallarda kömür devresi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5. 0. BUHAR TÜRBİNLERİ

Termik santrallarda çeşitli tipte türbinler kullanılabilir. Kullanılan bu türbinler;

- Buharın akış yönüne göre,
- Çalışma şekline göre,
- Taze buhar basıncına göre,
- Taze buhar sıcaklığına göre ve
- Çıkan buharın türüne göre

sınıflandırılabilir.

5.1 Buharın Akış Yönüne Göre Sınıflandırma

5.1.1 Eksenel Türbinler

Bu türbinlerde buhar, türbin eksenine paralel olarak hareket eder ve eksenel türbinler aksiyon veya reaksiyon tipi olurlar. Termik santrallardaki buhar türbinleri genellikle eksenel türbinlerdir.

5.1.2 Radyal Türbinler

Radyal türbinlerde buhar, türbin eksenine dik yönde hareket eder. Maksimum güç sınırlıdır.

5.2 Çalışma Şekline Göre Sınıflandırma

5.2.1 Aksiyon Türbinleri

Bu tip türbinlerde bütün basınç düşmesi ve entalpi, sabit kanatlarda oluşur. Hareketli kanatlarda böyle bir düşüş olmaz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.2.2 Reaksiyon Türbinleri

Reaksiyon türbinlerinde basınç ve entalpi düşmesinin sadece bir bölümü sabit kanatlarda oluşur. Geri kalanı hareketli kanatlarda meydana gelir.

5.3 Taze Buhar Basıncına Göre Sınıflandırma

Bunlar da alçak basınç, orta basınç, yüksek basınç ve kritik basınç türbinleridir. Alçak basınç türbininde buhar giriş basıncı 10 atü'den az, orta basınç türbininde 10 - 88 atü arası, yüksek basınç türbininde 88 - 224 atü arası ve kritik basınç türbininde 224'atü'nün üzerindedir.

5.4 Taze Buhar Sıcaklığına Göre Sınıflandırma

Buhar türbinleri taze buhar sıcaklığına göre doymuş buhar türbinleri, orta sıcaklık türbinleri, yüksek sıcaklık türbinleri ve çok yüksek sıcaklık türbinleri olarak sınıflandırılabilirler.

5.5 Çıkan Buharın Türüne Göre Sınıflandırma

5.5.1 Kondensasyon Türbinleri

Bu tip türbinlerde, türbinden çıkan çürük buhar bir kondensede yoğunlaşır. Buharın kondensasyon ısısının alınması için soğutma suyundan faydalanılır.

5.5.2 Karşı Basınçlı Türbinler

Karşı basınçlı türbinlerde belirli bir basınç altında türbinden çıkan buharın ısısı, ısıtma veya seracılık gibi yan amaçlar için kullanılır.

5.5.3 Çekme Buharlı (Ara Buharlı) Türbinler

Bu türbinlerde de çeşitli basamaklardan alınan buhar, ön ısıtıcıların ısıtılmasında kullanılır. Alınan buhar basıncı verilen buhar basıncına bağlı olarak değişir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.6 Termik Santrallarda Kullanılan Türbinler

5.6.1 Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri

Curtis Türbini adı verilen hız kademeli aksiyon türbinlerinin çift sıralı kanatçıklarla donanmış bir rotoru vardır. Yüksek buhar hızı, iki veya daha fazla hareketli kanat sırası olan bir aksiyon türbin diskine enerjisini verir. Buharın enerjisi birinci hareketli kanat sırasında tümüyle kullanılmaz. Buradan çıkan buhar bir sabit kanat diskinde yön değiştirerek ikinci hareketli kanat sırasına girer. Birinci ve ikinci kanatlar arasındaki doğrultucu birinci kanat sırasında saptırılan buhara yön verir. Basınç, kanatlar ve doğrultucuyla temas sırasında değişmez; fakat buharın hızı azalır. Hızın düşürülmesine bir üçüncü sabit ve hareketli kanat çiftinde de devam edilebilir. Pratikte üçten fazla hız basamağı yapılmaz. Bu nedenle bu türbine hız kademeli türbin denir. Şekil 5.1'de hız kademeli türbinin şeması, Şekil 5.2'de ise hız ve basınç dağılımı görülmektedir.

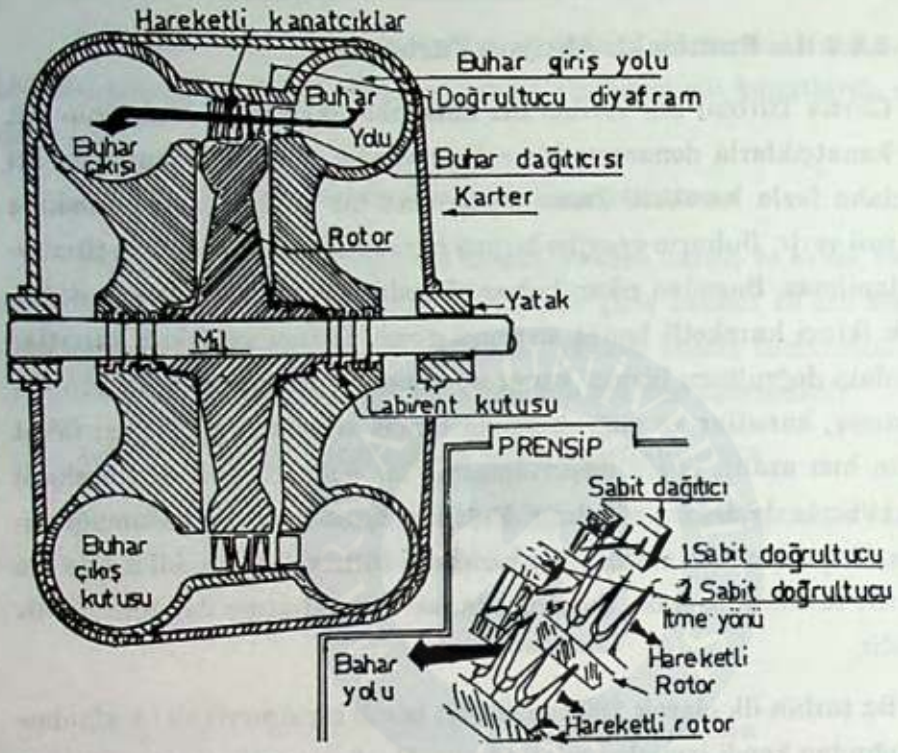
Bu türbin ilk olarak 1896'da Curtis isimli bir Amerikalı tarafından yapıldığından kendi ismiyle anılmaktadır. Hız basamaklı aksiyon türbinleri ucuz ve basit olması nedeniyle küçük ve orta güçlerde yaygın olarak kullanılır.

5.6.2 Basınç Basamaklı Aksiyon Türbinleri

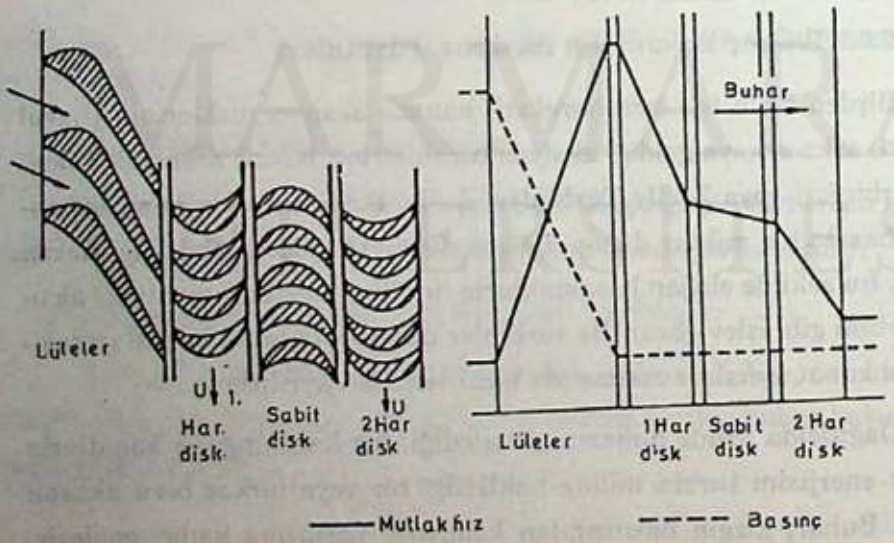
Birden fazla tek sıra hareketli kanatlı aksiyon disklerinin (Laval diskleri) arka arkaya geldiği aksiyon türbinlerine, basınç basamaklı aksiyon türbinleri veya Zoelly Türbinleri denir. Bu türbinlerin her basamağında basınç bir miktar düşer. Basınç düşmesi sadece sabit kanatlarda oluşur. Bu şekilde oluşan basamakların her birisi tek basamaklı bir aksiyon türbini gibi işlev görür. Bu türbinler üzerlerinde sabit kanatları taşıyan ara kanat aynaları vasıtasıyla birbirlerinden ayrılırlar.

Dağıtıcıda içinde buharın genişlediği, hız kazandığı ve kanatlarla kinetik enerjisini türbin miline naklettiği bir veya birkaç boru aksamı vardır. Buhar, kızgın basıncından kondense basıncına kadar genleşir. Basamaklar arasındaki basınç farkı nedeniyle meydana gelebilecek bu-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



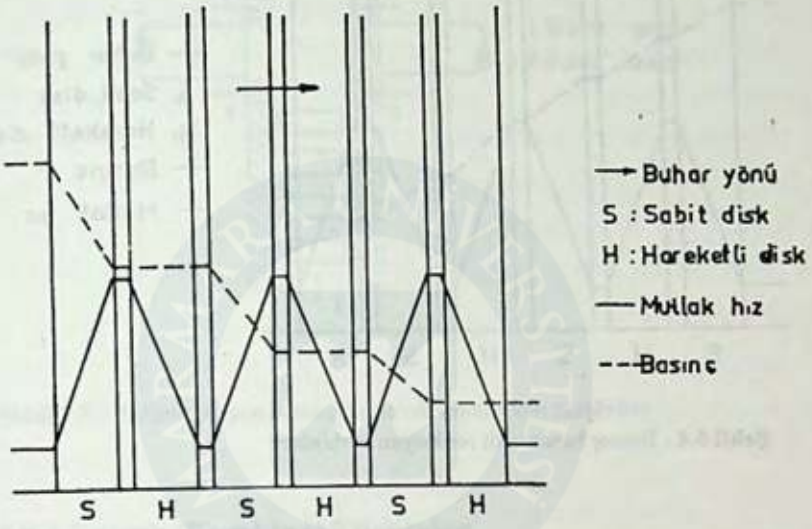
Şekil 5.1 - Hız basamaklı türbin prensip şeması



Şekil 5.2 - Hız basamaklı türbinlerde hız basınç değişimi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

har sızmaları labirentlerle önlenir. Böyle bir türbine ait hız ve basınç dağılımı Şekil 5.3' de görülmektedir. Basınç basamaklı aksiyon türbinlerinde her basamak kanatlarının çevre hızı o basamaktaki buhar hızının yarısı kadar olduğunda, türbin en ekonomik şekilde çalışmaktadır.

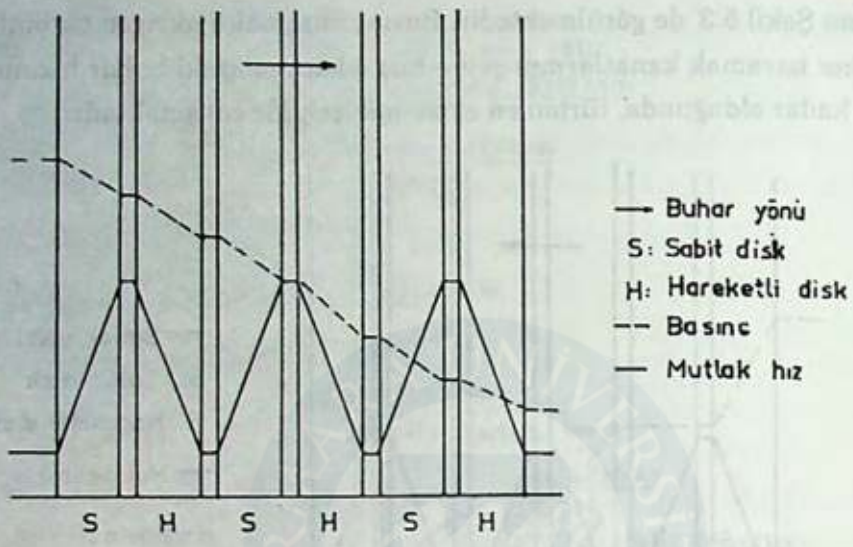


Şekil 5.3 - Basınç basamaklı aksiyon türbinleri

5.6.3 Eksenel Çalışan Basınç Basamaklı Reaksiyon Türbinleri

Reaksiyon türbinlerinde basınç ve entalpi düşümünün bir kısmı sabit kanatlarda oluşmakta ve geri kalan düşüş miktarları ise hareketli kanatlarda tamamlanmaktadır. Şekil 5.4'de basınç basamaklı bir reaksiyon türbinine ait basınç ve hız dağılımları gösterilmiştir. Bu şekilden görülebileceği gibi sabit ve hareketli kanatlarda eşit miktarda basınç düşümü meydana gelmekte olup bu türbin, basınç basamaklı bir reaksiyon türbinidir. Yani bu türbinde sabit ve hareketli kanatlar aynı profile sahiptir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

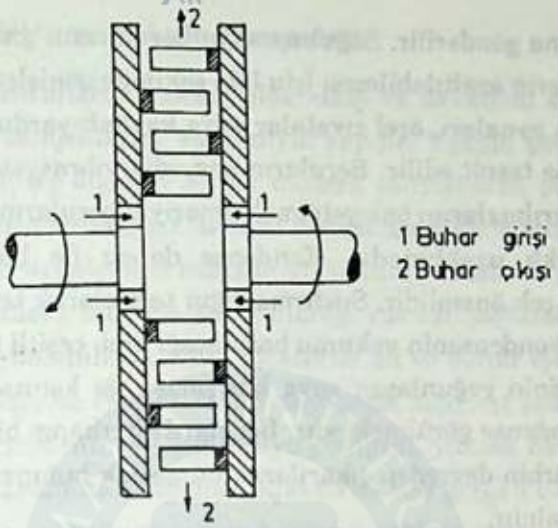


Şekil 5.4 - Basınç basamaklı reaksiyon türbinleri

5.6.4 Radyal Çalışan Basınç Basamaklı Reaksiyon Türbinleri

Bu türbinlerde kanatlar, birbirleriyle ters yönde dönen iki diskin üzerine sıralanmışlardır. Ljungström Türbinleri adı verilen bu türbin özel bir radyal türbindir. Bu türbinlerin en önemli sakıncası iki generatöre ihtiyaç göstermesidir. Bunun yanında, boylarının küçük olması, müsaade edilen çevre hızındaki maksimum entalpi düşüşünün öteki türbinlere göre daha fazla olması üstünlükleridir. Ayrıca buharın merkezden dışarı doğru akması nedeniyle genişleyen buhar hacmine paralel olarak buharın geçtiği kesit alanı büyür; dolayısıyla kanat boylarının sabit kalabilmesi ve hem de basıncın çok yüksek olduğu ilk basamaklarda öteki türbinlere nazaran daha uzun kanatlar kullanılabilmesi mümkün olur. Şekil 5.5'de bu tip türbin görülmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.5 - Radyal çalışan basınç basamaklı reaksiyon türbinleri

5.6.5 Karma (Kombine) Türbinler

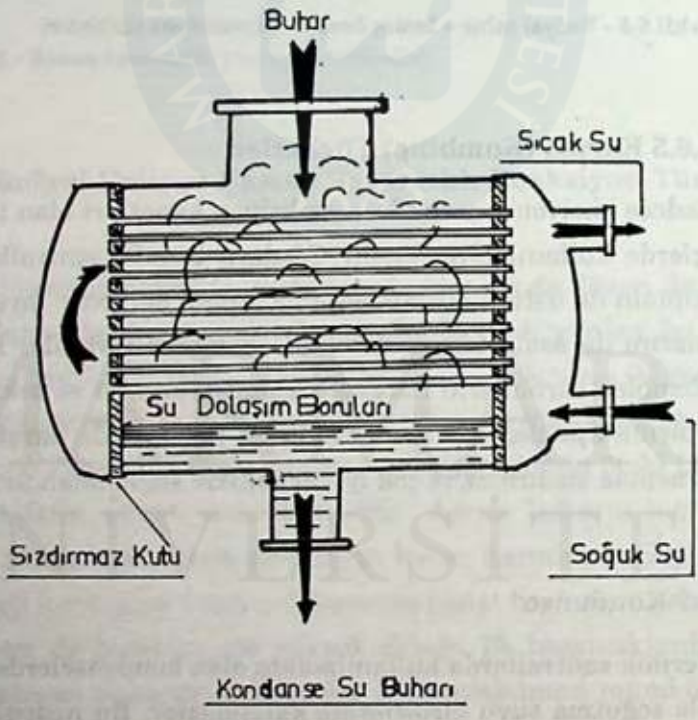
Sadece aksiyon veya sadece reaksiyon kanatları olan türbinler küçük güçlerde kullanılabilmektedir. Modern termik santrallarda her iki türbin tipinin de üstünlüklerinden maksimum derecede faydalanmak ve sakıncalarını da azaltabilmek amacıyla kombine türbinler kullanılmaktadır. Kombine türbinlerin hareketli kanatlarının ön ve arkasındaki basınç birbirine eşit değildir; dolayısıyla bu türbinlerde hareketli disk ile gövde arasında sızdırmazlık çok iyi bir şekilde sağlanmalıdır.

5.7 Kondense

Termik santrallarda kullanılmakta olan kondenselerde yoğunlaşan buhar ile soğutma suyu birbirlerine karışmazlar. Bu nedenle de yüzeyli tip kondense adını alırlar. Türbinden çıkan çürük buhar, kondensenin üzerindeki geniş bir ağızdan gövdenin içerisine dolar ve soğutma borularıyla temas ederek yoğunlaşır. Daha sonra kondensenin altındaki bir haznede toplanır. Buradan daha sonra pompalar yardımıyla alçak basınç

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ön ısıtıcılarına gönderilir. Soğutma suyu borularının giriş kısımları hidrolik dirençlerin azaltılabilmesi için lüle şeklinde genişletilir. Bu boruları taşıyan boru aynaları, özel cıvatalar veya kaynak yardımıyla kondensenin gövdesine tespit edilir. Boruların peryodik vibrasyonlarını ve bu nedenle boru kırılmalarını önleyebilmek amacıyla boruların aynaları birbirlerinden farklı uzaklıktadır. Kondense de su ile buhar arasındaki sızdırmazlık çok önemlidir. Sızdırmazlığın tam olarak temin edilmemesi durumunda kondensenin vakumu bozulacağı gibi, çeşitli tuzların ve sertlik maddelerinin yoğunlaşan suya karışması söz konusu olabilir. Şekil 5.6'da bir kondense görülmektedir. Borularda herhangi bir patlak oluştuğu zaman, türbin devreden çıkarılarak bu patlak bulunmalı ve patlayan boru onarılmalıdır.



Şekil 5.6 - Kondensör görünümü

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.8 Ejektörler ve Vakum Pompaları

Termik santrallarda vakum elde etme ve devamını sağlama, vakum pompaları ve ejektörler yardımıyla yapılır. Vakum pompaları pistonlu veya rotatif tip olabilir. Ancak modern santrallarda pistonlu pompalar pek kullanılmamaktadır. Rotatif pompalarda ise işletme güvencesi düşük olduğu gibi erişilebilen maksimum vakum yüzdesi de pek fazla değildir. Günümüzdeki modern santrallarda vakum sağlanabilmesi için ejektörlerden faydalanılmaktadır. Ejektörler su ve buhar ejektörleri olarak ikiye ayrılırlar. Su ejektörlerinin çalıştırma maddesi sudur. Su alçak basınçlarda kondensenin soğutma suyu pompası, yüksek basınçlarda ise ayrı bir pompa tarafından sağlanır. Ejektörler için gerekli olan su miktarı giriş basıncına, ejektör tipine ve bağlanış şekline göre değişir. Buhar ejektörlerinde havanın emilmesi için, buhar enerjisinden faydalanılır. Bu tip ejektörlerde buharın ısı enerjisi kinetik enerjiye dönüşür ve bu nedenle meydana gelen düşük basınç havanın emilmesini sağlar.

5.9 Termik Santrallarda Suyun Yoğunlaştırılması

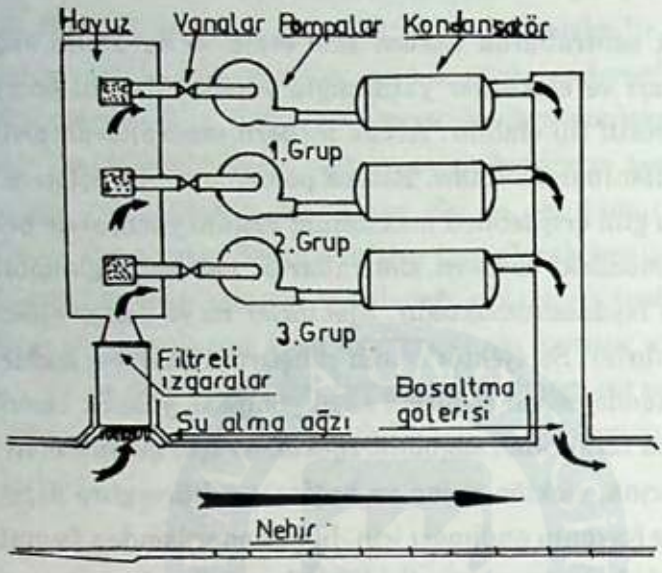
Termik santrallarda buharın kondensede yoğunlaştırılabilmesi için gereken su, açık devre soğutma sistemi veya kapalı devre soğutma sistemi ile sağlanır.

5.9.1 Açık Devre Soğutma

Şekil 5.7'de açık devre bir soğutma sisteminin prensip şeması görülmektedir.

Nehrin üst kısmından alınan soğutma suyu, su buharını yoğunlaştırma için kondansöre girer ve daha sonra ısısı yükselerek tekrar nehire boşalır. Su alma ağzında su çökeltme kabına veya kanallara nehirden alınan su, süzgeçler yardımıyla büyük artıklarından arındırılır. Çökeltme havuzunun girişinde ince çift süzgeçler küçük boyutlu cisimlerin geçmesine engel olur. Izgaraların temizlenmesi elle veya otomatik olarak yapılabilir. Pompalar suyun çekilerek kondanseye basılmasını temin eder.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

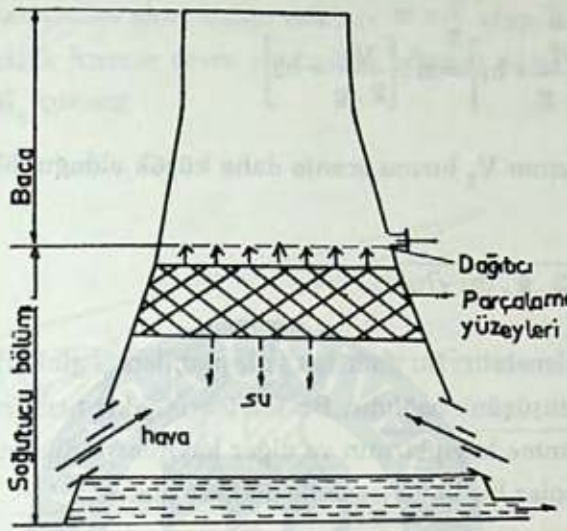


Şekil 5.7 - Açık devre soğutma sistemi

5.9.2 Kapalı Devre Soğutma

Suyun bol miktarda bulunmadığı yerlerde kondansede ısınan su soğutma kulelerinde soğutulur ve bu şekildeki soğutma, kapalı devredir. Soğutma kulelerinde su üst taraftan girerek aşağıya dökülür. Suyun dökülmesi esnasında kulenin altından giren hava sudan daha soğuk olduğu için ısınarak yükselir. Böylece aşağıya akan su, yukarı çıkmakta olan hava tarafından soğutulur. Su kule içerisinde ne kadar fazla kalır ve ne kadar küçük damlalara ayrılırsa, o kadar fazla soğur. Bu nedenle kule içerisine su akışını yavaşlatıcı ve onu parçalayıcı engeller konulur. Böyle kuleler doğal çekişli soğutma kulesi olarak adlandırılır. Şekil 5.8'de doğal çekişli bir soğutma kulesi görülmektedir. Bu tip kulelerin ilk kuruluş maliyetleri oldukça yüksektir. Ancak işletme ve bakım giderleri son derece düşüktür. Soğutma kulelerindeki çekmeyi bir vantilatör yardımıyla temin etmek için yapılan dizayna cebri (zoraki) çekişli soğutma kuleleri denir. Kulenin alt tarafına vantilatör konur, üst tarafına ise aspiratör

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.8 - Doğal çekişli soğutma kulesi

yerleştirilir. Bu kulelerin kule ölçüleri daha küçük ve baca boyları da daha kısadır. Bunun nedeni, birim zamanda geçen hava miktarının fazla olmasıdır.

5.10 Buharın Isı Enerjisinin Kinetik Enerjiye Dönüşümü

Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümü, türbinin sabit kanatlarında bütünüyle olabileceği gibi, hem sabit hem de hareketli kanatlarda da oluşabilir. Böylece buhar, bir miktar basınç kaybederek belirli bir hıza erişir. Bir boru kesitinden geçen su buharının toplam enerjisi, birim zamanda geçen buhar miktarına, buharın kinetik enerjisine ve entalpisine bağlı olarak

$$E = m \cdot \left[\frac{V^2}{2 \cdot g} + h \right] \qquad [5.1]$$

yazılabilir. Bu ifadede V (m/s) hızı, m (kg) kütleyi, h (kcal/kg) entalpiyi ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. Buhar, konik bir lüleden basınç düşümü altında akarsa genleşir. Bu sırada toplam enerji sabit kalır, hız

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

artar, entalpi ise düşer. Buna göre

$$m \cdot \left[\frac{V_1^2}{2 \cdot g} + h_1\right] = m \cdot \left[\frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_2\right] \qquad [5.2]$$

yazılır. V_2 hızının V_1 hızına oranla daha küçük olduğu dikkate alınarak (5.2) ifadesi

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \qquad [5.3]$$

olarak düzenlenebilir. Bu ifadeden anlaşılabileceği gibi lüle çıkış hızı sadece entalpi düşüşüne bağlıdır. Bu hız teorik çıkış hızıdır. Gerçek çıkış hızında, sürtünme kayıplarının ve diğer kayıpların dikkate alınması gerekir. Bu kayıplar hız katsayısı k ile dikkate alınırsa

$$V = k \cdot V_2 \qquad [5.4]$$

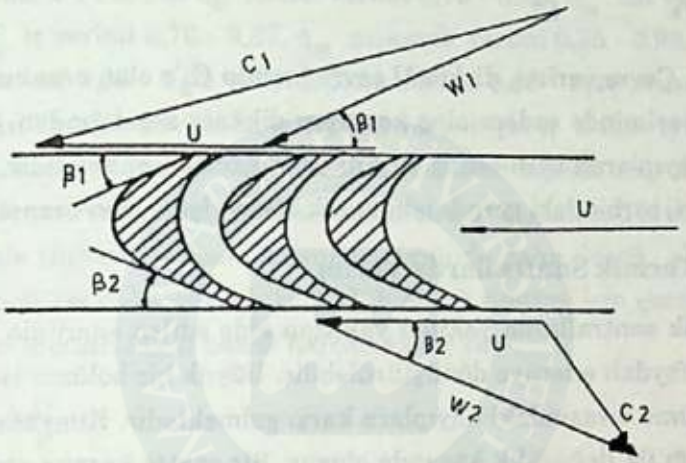
gerçek çıkış hızını verir. k katsayısı 0.93 - 0,97 arasındadır.

5.11 Buharın Kinetik Enerjisinin Mekanik İşe Dönüşümü

Aksiyon türbininde buhar basıncı ve dolayısı ile entalpi düşüşünün tamamı, sabit kanatlarda meydana gelir. Hareketli kanatlarda hiçbir basınç düşmesi oluşmaz. Reaksiyon türbinlerinde basınç ve entalpi düşümünün ancak bir kısmı sabit kanatlarda meydana gelir. Geri kalan düşüş ise hareketli kanatlarda oluşur. Şekil 5.9'da bir aksiyon türbininde herhangi bir basamakta buhar akış yönü görülmektedir. Buhar, sabit kanat diskinde oluşan belirli bir entalpi düşümüne bağlı olarak hız kazanır ve C_1 hızı ile hareketli diske gelir. Hareketli disk bu esnada U çevre hızıyla sabit kanatların önünde dönmektedir. Buharın hareketli kanatlara ulaştığı anda relatif (bağıl) hızı W_1'dir. Çarpma kayıplarının önlenmesi için W_1 hızının yönü, hareketli kanatların giriş açısı β_1 ile çakışmalıdır. Buhar, kanatlarda yön değiştirdikten sonra, W_2 relatif hızı ve β_2 açısı ile hareketli kanat diskinden çıkar. Teorik olarak, mutlak değer bakımından W_1, W_2, ye eşittir. Pratikte ise W_2 sürtünme kayıpları nedeniyle W_1'den küçüktür. Diskin çevre hızı U olduğuna göre, buhar çıkış hızının C_2 olduğu şekilden görülebilmektedir. Mutlak hızın sadece çevre yönün-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

deki bileşkesi rotor üzerinde bir döndürme kuvveti oluşturabilir. t zamanında türbin içerisinden akan buhar miktarı $m = \frac{V}{g}$ olup, hareketli diskteki buhar mutlak hızının çevre yönündeki bileşeni düşer ve hareketli disk üzerinde $K_ç$ kuvveti



Şekil 5.9 - Aksiyon türbininde buhar akış yönü

$$K_ç = m \cdot \frac{C_{1ç} - C_{2ç}}{t} \qquad [5.5]$$

oluşur. Şekil 5.9'da bu durumlarla ilgili hız üçgenleri verilmiştir. Birim zamanda akan $m = \frac{m}{t}$ kütle miktarı ve diskin çevre hızı U'nun yardımıyla bu basamaktan rotora geçen güç

$$P = K_ç \cdot U = m \cdot [C_{1ç} - C_{2ç}] \cdot U \qquad [5.6]$$

yazılabilir. Bu güç türbine giren buharın gücünden daha azdır. C_1 buhar mutlak hızından buharın kinetik enerjisi

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot C_1^2 \qquad [5.7]$$

yazılarak buhar gücü için

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$P_b = \frac{E}{t} = \frac{1/2 \cdot m \cdot C_1^2}{t} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot C_1^2 \qquad [5.8]$$

olur. Çevre verimi ise

$$\eta = \frac{P}{P_b} = \frac{2 \cdot [C_{1ç} - C_{2ç}] \cdot U}{C_1^2} \qquad [5.9]$$

olmaktadır. Çevre verimi, diskin U çevre hızının C_1'e olan oranına bağlıdır. Çevre veriminde sadece akış kayıpları dikkate alındığından, türbindeki tüm kayıplarda türbinin iç verimi de göz önüne alınmalıdır. Türbinin iç verimi, türbindeki gerçek işin teorik türbin işine olan oranıdır.

5.12 Termik Santrallarda Verim

Termik santrallarda yakılan yakıttan elde edilen enerjinin sadece bir bölümü faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Büyük bir bölümü ise enerjinin dönüşümü sırasındaki kayıplara karşı gelmektedir. Kimyasal enerjinin uğradığı ilk değişiklik kazanda oluşur. Bir saatte kazana verilmesi gereken Q ısı miktarı için, alt ısıl değeri H_u olan yakıttan saatte B tona ihtiyaç vardır. Böylece

$$Q = B \cdot H_u \qquad [5.10]$$

bulunur. Kazanda ışıma, baca gazlarıyla atılan ısı v.b. gibi kayıplarda kazan verimi η_k ile dikkate alınır. Buna göre kazana birim zamanda verilen Q toplam ısısının $Q \cdot \eta_k$ kadarından kazanda faydalanılabilir. Bu faydalı ısı kazandan bir saatte geçen D miktar besleme suyunu buharlaştırmada ve kızdırmada kullanılır. Kazanda bir entalpi düşümü oluşur ve ancak bir kısmından türbinde faydalanılabilir. Geri kalan entalpi düşümü kondensede meydana gelir. Türbindeki sürtünmeler mekanik kayıplar meydana getireceğinden, türbin çıkış kaplinindeki P_k gücü, D miktarındaki buharın akışı esnasında oluşan entalpi düşümünün karşılığı olan teorik güçten daha azdır. Bu sebeple türbin çıkış kaplininden temin edilebilen gücün, ideal koşullarda alınması gereken teorik güce olan oranı mekanik verimdir. Türbin ile generatör arasında bulunan kaplindeki P_k gücü generatörde P elektrik gücüne dönüşürken de kayıplar meydana ge-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

lir. Bu kayıplarda elektriksel verim de göz önüne alınır. Termik santrallardaki bütün kayıplar dikkate alındığında toplam verim

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_{ıs} \cdot \eta_{iç} \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} = \frac{P}{B \cdot H_u} \qquad [5.11]$$

yazılabilir. Bu ifadede η_k kazan verimi 0,70 - 0,93, $\eta_{ıs}$ ısıl verimi 0,20 - 0,52, $\eta_{iç}$ iç verimi 0,70 - 0,87, η_m mekanik verimi 0,95 - 0,99, η_{el} elektriksel verimi 0,92 - 0,99 ve η toplam verimi 0,08 - 0,40 arasında değişmektedir. Termik santralların toplam verimi için η = 0,30 iyi bir değerdir. Yakıt olarak fuel-oil'i kullanan santralların dışında en yüksek kazan verimleri pulverize kömür ocaklı kazanlardan sağlanır. Türbin iç verimi genellikle türbinin yüksek basınç bölümünde daha düşük, alçak basınç bölümünde ise daha yüksektir. 1 kWh enerji üretimi için gerekli olan taze buhar miktarı özgül buhar harcamasıdır ve

$$d = \frac{D}{P} \qquad [5.12]$$

olarak verilebilir. Özgül buhar harcaması 3 - 4 kg/kWh dolaylarındadır. 1 kWh enerji üretimi için gerekli olan ısı miktarına özgül ısı harcaması denir ve

$$q = \frac{B \cdot H_u}{P} \qquad [5.13]$$

ifadesiyle gösterilir. Özgül ısı harcaması 2400 - 4000 kcal/kWh dolaylarındadır. 1 kWh enerji üretimi için gerekli olan yakıt miktarı

$$b = \frac{B}{P} \qquad [5.14]$$

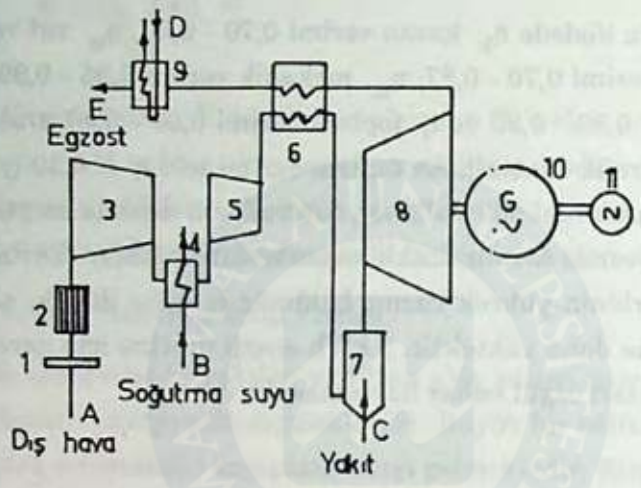
dir ve özgül yakıt harcaması olarak adlandırılır. Bu kavramlar, termik santralların birbirleriyle olan karşılaştırılmaları bakımından önemlidir.

5.13 Gaz Türbinli Termik Santrallar

Bu tip santrallarda yüksek fırın gazı veya doğal gaz yakıt olarak kullanılır. Tesis maliyeti düşük olduğundan üretilen enerjinin maliyeti de düşüktür. Sürekli çalışma için elverişsiz olduğundan, genellikle puant

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

santralı olarak kullanılırlar. Enerji üretimindeki yeri oldukça fazladır. Buhar santralları kadar karmaşık olmamaları, daha küçük olmaları, kısa zamanda yol almaları, soğutma suyu probleminin minimum olması



Şekil 5.10 - Gaz türbinli santralların prensip şeması

başlıca üstünlükleridir. Enerji taşıyıcı, sıcak gazdır. Kompresör yardımı ile hava alınır ve yanma hücresine basılır. Hava yanma hücresine basılmadan önce, ön ısıtıcılarla ısıtılarak verim artırılır. Yanma hücresinde yakıtın yakılmasıyla ısınan gaz, enerjisini türbine verir: enerjisini veren gaz atmosfere atılır. Gaz türbinli santralların prensip şeması Şekil 5.10'da görülmektedir. Bu santrallar basit çevrimli gaz türbinli santrallar, ön ısıtıcılı gaz türbinli santrallar ve birleşik çevrimli gaz türbinli santrallar olmak üzere üç tipte olabilmektedir. Az yer kaplamaları, çok az suya ihtiyaç göstermeleri ve çok çabuk işletmeye alınabilmeleri en önemli özellikleridir. Şekil 5.10'dan görüleceği gibi hava süzgecinden geçen hava susturucudan geçerek önce alçak basınç daha sonra yüksek basınç kompresörüne gelir. Burada sıkıştırılan hava, ısı dönüştürücüde, türbin çıkış gazıyla biraz daha ısıtılarak yanma odasına geçer ve yakıtla karıştırılarak yakılır. Meydana gelen patlamayla karışımın sıcaklığı ve

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

basıncı iyice artar. Yüksek basınç ve sıcaklıktaki karışım türbine geçerek mekanik enerjiye ve türbine akuple olan generatörde de elektrik enerjisine dönüşür. Türbin hem generatörü ve hem de kompresörü tahrik etmede kullanılır. Yol verme basınçlı hava ile veya elektrik motoruyla yapılır. Bu santrallar basit yapıda olup işletmeciliği koluydır.

Generatör grubu oldukça az yer tutar. Verimin az olması en önemli sakıncasıdır. Malzemelerin dayandığı sıcaklık dereceleri düşük olduğundan, verim arttırılamaz. Ayrıca dış soğutucu ile de verimin arttırılması söz konusu olursa da, bu durumda buhar santrallarından farklı bir yapısı olmaz. Yakıttan tasarruf sağlamak için kompresörü verilen atmosfer basınç ve sıcaklığındaki hava, ön ısıtmaya maruz bırakılabilir. Bu amaçla da ön ısıtıcılar kullanılır. Bu şekilde % 22 mertebesinde olan verim % 36'ya kadar yükseltilebilir. Bazı durumlarda bir tane ön ısıtıcı yeterli olmaz ve kademeli olarak birkaç ön ısıtıcı kullanılır. Gaz türbinli santrallarda açık sistemde yanma ürünleri doğrudan doğruya gaza dönüştüğü için, bu gazın içinde çeşitli yabancı maddeler olabilir. Bu maddeler, türbin kanatlarının, hem çarpma suretiyle, hem de kimyasal etkileri nedeniyle tahrip olmasına sebep olabilirler. Bu nedenle gaza, kapalı bir devrede sürekli bir devri daim yaptırılır. Atmosfere atılan gazla bir temas söz konusu değildir. Böylece türbin kanatları korunmuş olur. Bu tip türbinler Ackert-Keller adıyla anılırlar. Gaz kompresörden ve ön ısıtıcıdan çıkarak kazandaki yanma hücresinde ısısı daha da arttırılır ve daha sonra türbine verilir. Türbin, generatör ve kompresörü tahrik eder; türbinden çıkan gaz yeniden kompresöre gider ve tekrar ısıtılarak sirkülasyona devam edilir.

Yarı kapalı devrede ise açık ve kapalı sistemlerin sakıncaları ortadan kaldırılarak her iki sistemin üstünlüklerinden faydalanılmaya çalışılır. Türbin ömrü bu sistemde daha uzundur. Yanma, türbinden sonra olur ve yanma hücresi ön ısıtıcılarla kombine edilmiştir. Gaz türbinli santrallarda basınçlı hava çok önemlidir ve puant santralı olarak kullanılmaya elverişlidir. Ayrıca buhar santralıyla veya nükleer santralla kombine edilerek verim yükseltilebilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.14 Diesel Yakıtlı (Fuel-Oil) Termik Santrallar

Diesel santralları, ham enerji maddesi olarak petrol ürünlerine bağımlı olması ve petrol fiyatlarının artması nedeniyle yavaş yavaş önemini kaybetmektedir. Diesel santralların da çalışma süresi düşük, enerji maliyeti yüksektir. Daha çok yedek santral olarak kullanılabilirler. Ekonomik olarak çalıştırılabilmesi için çok küçük güçlerden büyük güçlere kadar çok çeşitli kademelerde yapılabilmektedir. Ham enerji maddesi kolay bir şekilde taşınabilmektedir. Bu tip santralların yol alma zamanı oldukça kısadır, kayıpları azdır ve boşta çalışabilirler. Bu santrallarda birim tesis masrafı küçük, işletme süresi kısa, yakıtın birim fiyatı yüksek olduğundan üretilen enerjinin maliyeti de yüksektir. Ancak bu enerji puant zamanlarındaki açığı kapattığından, üretilen enerji önemlidir. Bu santrallarda motor generatör grubu, güç bakımından çok küçük güçler için de imal edilebilmektedir. Üst sınır 10 - 15 MW mertebesindedir. Motor generatör grubu sabit tesis olabildiği gibi, taşınabilir durumda da olabilir. Sabit tesiste bu grup oldukça sağlam bir temel üzerine oturtulur. Diesel motoru 4 veya 2 zamanlı olabileceği gibi, hava doldurmalı motor da olabilir. Sıcaklık derecesine ve yüksekliğe göre motorun verimi değişir. Hava, bir kompresör yardımıyla diesel motorun silindirleri içine basılarak verimin sabit tutulmasına çalışılır. Bu grup içinde kullanılan volan, dönebilen bir kütledir. Savrulma momentinin büyük olması için tahrik edilen milden uzakta yer alması gerekir. Volan yardımıyla patlama esnasındaki kinetik enerji toplanır ve sonradan sıkıştırma amacıyla kullanılabilir. Volan bir kinetik enerji deposudur. Devir sayısı sabit tutularak bu kinetik enerji alınıp verilebilir. Devir sayısı regülatörü gibi işlev görür. Kullanılan generatör çıkık kutuplu senkron generatördür. Diesel motorların devir sayıları büyük sınırlar arasında değiştiği için ve diesel motoruyla dişli olmaksızın akuple edildiğinden, generatörlerin dönme sayısı da çok geniş sınırlar arasında değişir. Buna bağlı olarak çift kutup sayısı da çok değişir. Senkron generatörler, uyarma devresi, uyarma sargısı ve bu sargıyı besleyen doğru akım kaynağından oluşur. Son zamanlarda ekonomikliği nedeniyle kendi kendini uyaran makinalar tercih edilmektedir. Motor generatör grubu, rezonansı önlemek için çok sağlam

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

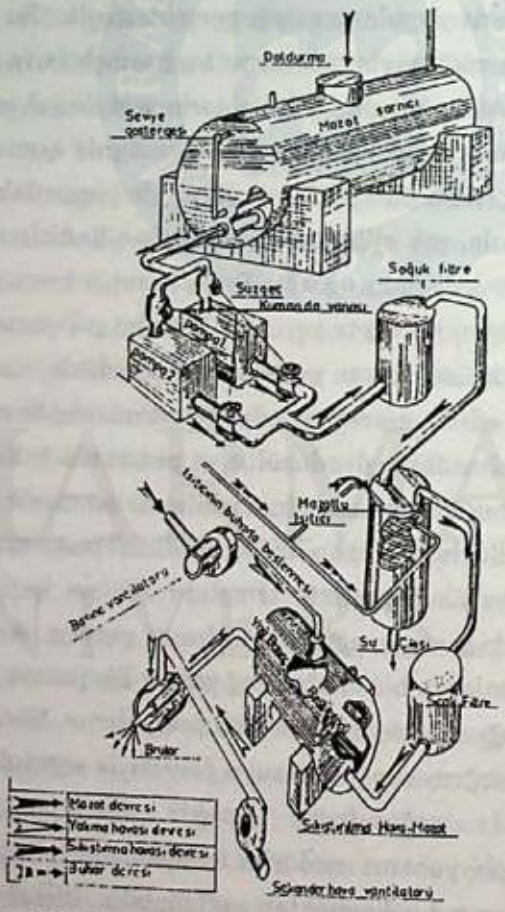
bir temel üzerine oturtulmalıdır. Grup gücü

$$P_D = \frac{S_G\,(kVA) \cdot \eta_{gen} \cdot \cos\varphi}{0{,}736}\,(P.S) \qquad [5.15]$$

olarak verilebilir. cosφ, güç katsayısını (güç faktörünü) göstermektedir.

Yakıt deposu aynı zamanda yakıtın dinlenmesini ve yabancı maddelerin tortu şeklinde birikmesini de sağlar. Alt tarafında bulunan bir vana ile bu tortu dışarı atılır. Tesisin yapıldığı yerde sıcaklık çok düşükse, yakıt donabilir. Bunu önlemek için, yakıtın belirli bir sıcaklıkta tutulması ve akıcılığının korunması gerekir. Ana yakıt deposundan günlük yakıt deposuna yakıt temini için, çeşitli el pompaları ve elektrikli pompalar kullanılır. Diesel motorlar kendiliğinden yol alamadığından, ilk devir dışarıdan bir moment uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu amaçla el ile yol verme, elektrik motoruyla yol verme ve basınçlı hava ile yol verme düzenleri kullanılabilir. Küçük güçlü motorlara el ile yol verilebilir. Akü grubuyla doğru akım motoru tahrik edilerek bununla aynı mile bağlı diesel motoruna ilk çevrim elektrikli yol vermeyle yaptırılabilir. Basınçlı hava ile yol vermede, çok silindirli motorlarda silindirlerden bir tanesi uyarma silindiri fonksiyonunu görür. Buna basınçlı hava püskürtülerek silindir içindeki piston harekete geçirilir. Eğer bu yol verme pistonu başlangıçta ölü noktada ise, sistem yol almaz. Bu nedenle, işaret sistemiyle bu durum kontrol edilir; gerekirse sabit bir manivelayla sistem hareket ettirilerek motor bir miktar döndürülür ve piston ölü noktadan kurtarılır. Basınçlı havanın hazır bulundurulabilmesi amacıyla basınçlı hava tüpleri kullanılır. Böyle bir tüpün hacmi bir diesel motoruna arka arkaya birkaç defa yol verecek kapasitede olmalıdır. Sistem içerisindeki yağlama yağı devresinde ısınan yağın soğutulması gerekir. Ayrıca silindirin içindeki sıcak kısımlarda bir miktar yağ yanar. Bir pompa yardımıyla diesel motoru çalıştığı sürece yağlama yağı pompalanır. Motorun çeşitli kısımları doğrudan doğruya soğutma suyu devresiyle soğutulduğu gibi yağlama yağının da soğutulması gerekir. Soğutma suyu buhar santrallarındaki gibi yabancı maddeler içermemelidir. Soğutma suyu şehir şebekesinden veya bir kaynaktan sağlanabilir. Diesel santrallarında

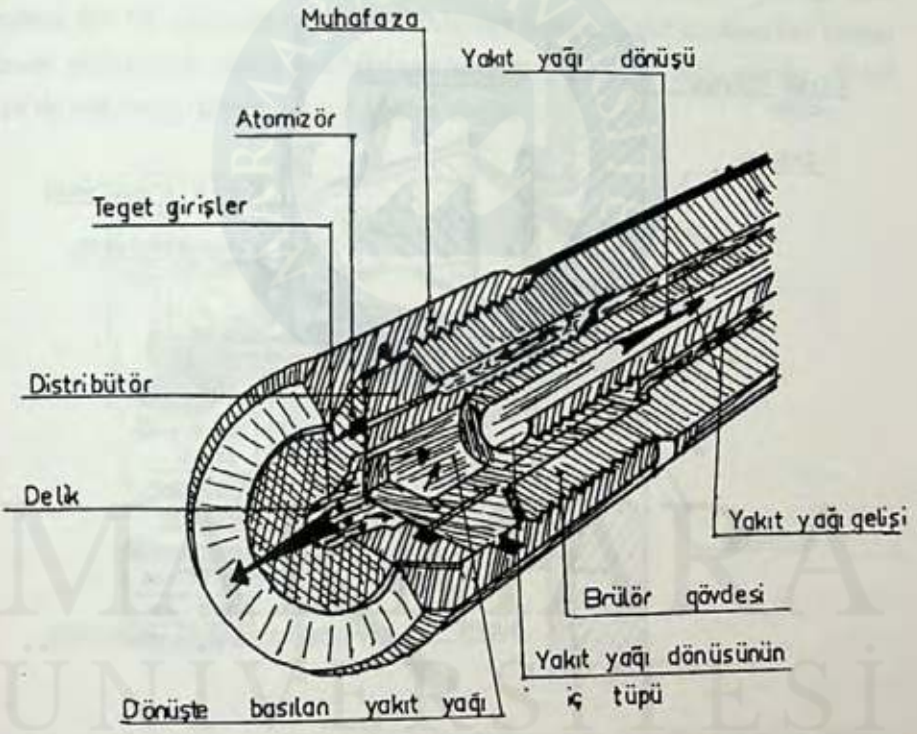
hava çok önemlidir. Temizlenmiş olan silindirin içine hava emilir, sıkıştırılır ve içine yakıt püskürtülür. Bu yakıtın yanabilmesi için havada yeterli oksijenin olması gerekir. Yakıtın tam yanmasını sağlamak için, havanın belli bir sıcaklığı ve basıncı olmalıdır. Sıvı yakıtla beslenen bir termik santraldaki yakıt devresi Şekil 5.11'de verilmiştir. Soğuk havalarda yakıtın donmaması için ve yangın tehlikesine karşı yakıt deposu toprağa gömülebilir. Yakıt yağının sirkülasyonu için, biri yedek olmak üzere iki pompa vardır. Brülörlerin tıkanmasını önleyebilmek için filtre tesisleri vardır. Normal sıcaklıkta yakıt yağının akışkanlığı az olduğundan iyi püskürtülemez; bu nedenle türbinden alınan buhar ısı transferiyle tekrar ısıtılır. Yeniden ısınma sırasında çökme ihtimali olan tortu ve artıklar sıcak filtre yardımıyla temizlenir.



Şekil 5.11 - Yakıt devresi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Brülörlerdeki yakıt yağı regülasyonu, diferansiyel bir pompayla veya hava basıncı altındaki bir devre aracılığıyla yapılabilir. Regülatör yardımıyla yapılan yağ basınç ayarı, yakıt yağının brülörlerde yanmasına imkan verir. Sıvı yakıtlı brülörler basınçlı havayı kullanırlar; bu suretle gazlaşan ve tam yanmaya kadar oksijenle birleşen hidrokarbür buharı püskürtmesi sağlanmış olur. Şekil 5.12'de yakıt yağı dönüş debisiyle ayarlanan Peabody tipi brülör verilmiştir. Yağ yakıtlı brülörlerin rolü, yakıt yağını basınçlı hava ile mümkün olduğu kadar homojen bir eriyik haline getirerek ateş alma noktasının ötesine götürmektir.

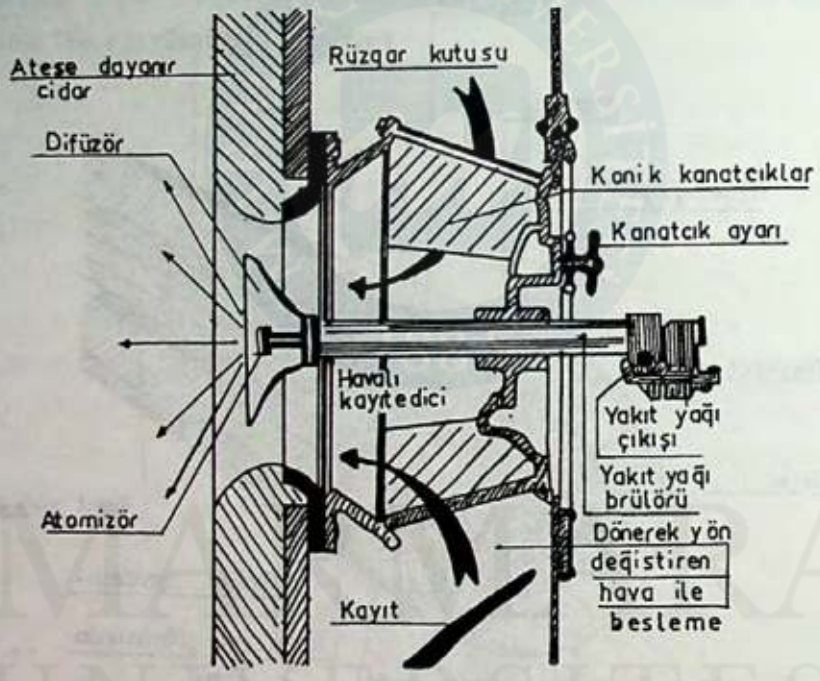


Şekil 5.12 - Peabody tipi brülör

Yakıt yağı pulverizasyonu çok ince deliklere sahip disklerden oluşan elemanlarla (atomizörlerle) sağlanır. Yakma havası, üfleme vantilatöründen gelir ve brülörü çevreleyen konik kanatçıklardan ocağa girer. Bura-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

da bulunan kepenkler hava hüzmesinin dönerek yön değiştirmesini sağlar. Akım ayarı bir taraftan hava debisi, diğer taraftan yakıt yağının dönüşü ile sağlanır. Şekil 5.13'de mazotlu brülörler görülmektedir. Büyük güçteki sabit diesel grupları, elektrik enerjisi temin etmek için gereken kaynakları olmayan bölgelerde, orta güçteki sabit diesel gruplar hastahaneler, maden ocakları v.b. yerlerle iş güvenliği sebebi veya fabrika faaliyetlerini aksatmamak için yardımcı olarak, ufak güçteki hareketli gruplarsa tamir işleri ve şantiyelerde kullanılırlar.



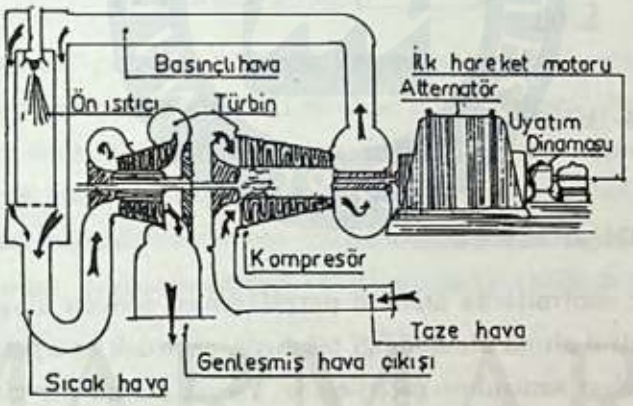
Şekil 5.13 - Mazotlu tip brülör

Diesel motorlarında yanma sonucu oluşan egzos gazlarının toplanarak dışarı atılması gerekir. Bu gazların içerisinde çeşitli oksitler ve bol mik-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

tarda su buharı bulunur. Gürültü ve titreşimi önlemek amacıyla, egzos gazları atmosfere çıkmadan önce susturuculardan geçer. Susturucudan çıkan gazlar atmosfere temas edince yoğunlaşır, bunlar toplanarak atıksu kanallarına verilir.

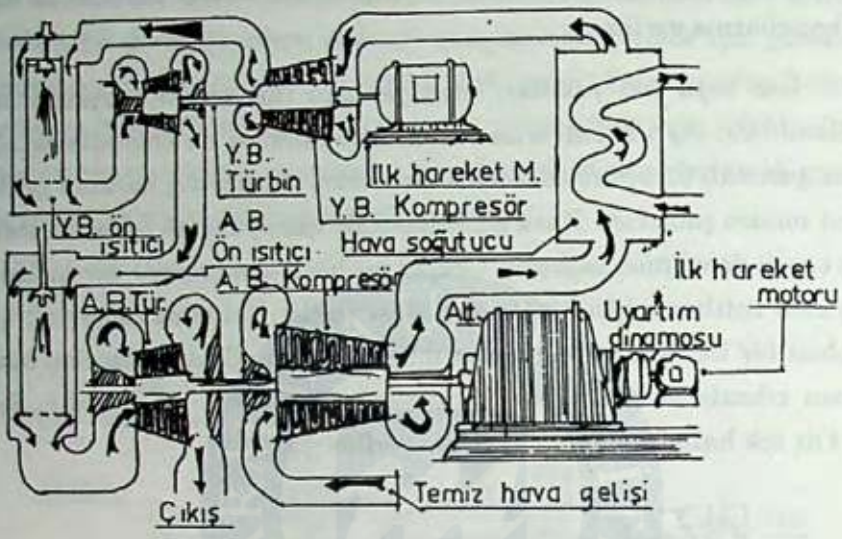
Gaz veya sıvı yakıtlar, içten yanmalı türbinlerin çalışmalarında kullanılırlar. Ayrıca pulveriza kömür kullanılması da öngörülmektedir. İçten yanmalı türbinler önceden sıkıştırılmış ve ısıtılmış havanın genleşmesi sonucu çalışırlar. Hava genleşmesi ile içten yanmalı türbinde mekanik enerji dönüşümü sağlanır. Grupta bir hava kompresörü, bir türbin ve havanın ısıtılması için bir yanma odası vardır. Yol alma (demeraj) için, grubun bir ilk hareket motoruna ihtiyacı vardır. Grubun üzerine bütün dönen cihazların tespit edildiği sadece tek bir hat mili vardır. Şekil 5.14'de tek hatlı (tandem) mil grubu verilmiştir.



Şekil 5.14 - Tandem mil grubu

Grup verimini arttırmak için birbirinden ayrı hat mili grupları dizayn edilebilir. Şekil 5.15'de iki gaz genleşmeli iki katlı mil grubu verilmiştir. Çift katlı (komponant) grupta iki kompresör arasında ikinci kompresör girişindeki sıcaklığı azaltmak için hava soğutulur. Çalışma devresinin basıncı arttırılırken verimin de artması sağlanır. Bazı durumlarda grubun verimini arttırmak için, türbin ile yanma odası arasına türbinden çıkan gazların kalorisinden faydalanılması amacıyla ısı ekonomizörü ko-

nulabilir (Şekil 5.16). Isı ekonomizörü yardımıyla türbinden çıkan gazların ısısından faydalanılır. ve dolayısıyla yakıt tasarrufuda sağlanır.

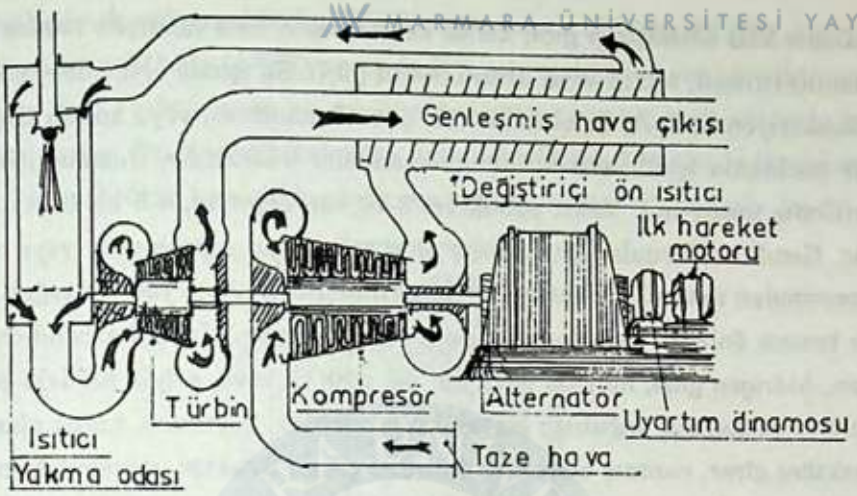


Şekil 5.15 - İki hatlı mil grubu

5.15 Nükleer Santrallar

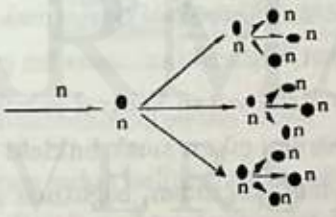
Nükleer santrallarda atomun parçalanması sonucu oluşan zincir reaksiyon kontrol altına alınabildiği takdirde, çekirdek enerjisinden faydalanılarak buhar santralına geçirilebilir. Teorik olarak her cismin atomunun parçalanması mümkün olabilir, ancak gerçekte yalnız U^{235}'in çekirdeği kolayca parçalanabilmektedir ki bu da doğada oldukça az bulunmaktadır. Nükleer yakıtlar iki grupta toplanabilir. Primer nükleer yakıtlar doğada bulunan ve nötron bombardımanıyla parçalanabilen yakıtlardır. (U^{235} gibi) Sekonder nükleer yakıtlar ise, doğada bulunan ancak nötron bombardımanıyla atomu parçalanmayan sadece başka bir atoma dönüşen yakıtlardır. Bu dönüşen yakıt yeni bir nötron bombardımanıyla zincir reaksiyonu oluşturur. Sekonder yakıtlar yapay olarak imal edilirler. (U^{238}'den Pu^{239} eldesi, Th^{232}'den U^{233} eldesi gibi). Atomların çekirdeğinde oluşan bu parçalanmaya fission denir. Bir nötron

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.16 - Sıcaklık değiştiricili tek hatlı mil grubu

yakıt atomuna çarpınca, üç tane nötron çıkarır. Çıkan bu nötronların herbiri yeni bir çarpmada üç tane daha nötron çıkarır. Bu olay zincirleme devam eder. Nükleer santrallar, reaktör, yakıt, moderatör, soğutucu ekranlar ve kontrol ünitelerinden oluşur. Zincir reaksiyon, reaktör denilen küresel veya silindirik kap içerisinde oluşur. Reaktör kalın çelikten yapılmış olup, içerisinde atomik yakıtlar çubuklar halinde aşağıya doğru

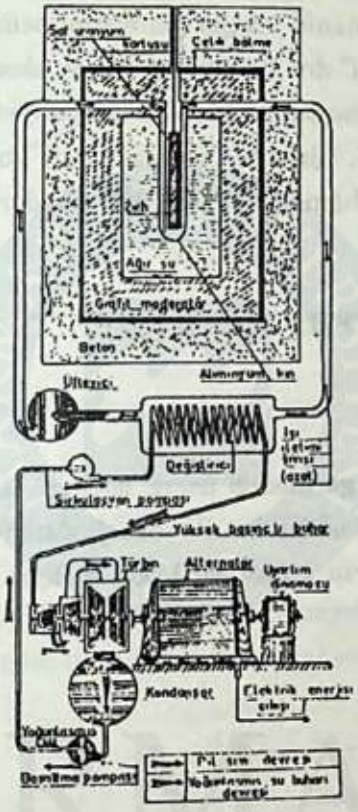


Şekil 5.17 - Zincir reaksiyon

asılmıştır. Bu yakıtlar katı olabileceği gibi sıvı da (U_2O) olabilir. Reaktör yakıtına U^{235} konulmasına zenginleştirme denir; bu % 5'i geçmez. Yakıtın tamamı kullanılmaz. Değerini ve özelliklerini yitiren artık yakıt, kurşun muhafazalar içinde yeni yakıt yapılmak üzere gönderilir. Yakıt çu-

bukları katı olabileceği gibi, kendi kendine sıvı hale dönüşen madde de olabilir (uranil, nitrat veya uranil sülfat gibi). Su içinde erimeden duran süspansiyon halinde de olabilir. (bir uranil maddesi), veya sudan başka bir maddenin içinde eritilip konan maddeler halindedir. (bizmut içinde eritilmiş uranyum). Yakıt çubukları 8-10 cm. çapında, 4-5 m. boyundadır. Kendi aralarında kutulanmış olup tekrardan alüminyum veya sirkonyumdan mamül bir kutuya yerleştirilmiştir. Böylece yakıtın soğutucu ile teması önlenir. Soğutucu akışkan bir maddedir. Hava, karbondioksit gazı, hidrojen gazı, helyum gazı, adi su, ağır su, cıva, eriyik haldeki sodyum ve potasyum, soğutucu olarak kullanılabilir. Soğutucu, soğuk olarak reaktöre girer, ısınmış olarak reaktörden çıkar. Reaktör içerisindeki nötronların hızlarını yavaşlatmak için moderatörden faydalanılır. 10000 km./sn.'lik nötron hızı 2000 km./sn.'ye düşürülür. Moderatörlerin nötronları çok az miktarda yutması gerekir. Moderatör olarak grafit, berilyum, hafif su, ağır su kullanılabilir. Moderatör ısındıkça moderatörlük özelliği azalabileceği gibi, miktarı da azalınca fonksiyonlarını yerine getiremez. Reaktörün altında yer alan moderatör kabına moderatör maddesi boşaltılınca, nötronların hızı kontrol edilemez. Yakıtların parçalanması sırasında α, β partikülleri ve γ radyoaktif maddeleri çıkar. Bu radyoaktif maddelerin dışarı çıkmasını önlemek amacıyla reaktörün etrafı radyoaktiviteye karşı biyolojik ekranla, ısının dışarı çıkmasını önlemek için termik ekranla ve nötronların sızmasını önlemek için de reflektörle çevrilmiştir. Bu durumdaki reaktöre ilk hareketi başlatmak için nötron veren bir çubuk sokulur ve reaksiyon başladıktan sonra bu çubuk dışarı alınır. Bunun üst kısmında ayrıca nötron yutan kontrol çubukları ile de reaksiyonun hızı denetlenir. Reaktörden çıkan sıcak haldeki soğutucu içerisinde de radyoaktif maddeler olabileceğinden, soğutucu ısı geçişine imkan veren bir ısı değiştiricisine gelir. Bunlar emniyet bakımından kademeli olur. En son ısı değiştiricisinden çıkan buhar, türbine verilir. Buradan çıkan çürük buhar tekrar buharlaştırılarak türbine verilir ki, bu son ısı değiştiricisi buhar generatörü (buhar kazanı) adını alır. Bu tip santrallar büyük güçlü olduklarından temel yük santralı olarak işletilirler ve diğer santrallarla kombine olarak da çalıştırılabilirler. Çeşitli reaktör tiplerine

göre basınçlı sulu reaktörler (PWR), ağır sulu reaktörler (HWR), kaynayan sulu reaktörler (BWR) ve organik sıvılı reaktörler olarak adlandırılırlar. Bazı reaktörlerde ise moderatör yoktur; bunlar hızlı nötronlu tip adını alırlar. Bu tip reaktörlerden daha ziyade yakıt imalinde faydalanılır. Bir reaktörün içerisinde zincir reaksiyonun oluşabilmesi için, bu re-



Şekil 5.18 - Nükleer santralın prensip şeması

aktör içerisine konan yakıt belli bir miktarda olmalıdır ki buna kritik yakıt miktarı denir. Kritik miktardaki yakıt konulmazsa zincir reaksiyon meydana gelmez. Reaktör faaliyete geçtikten sonra bir takım artık maddeler oluşur (baryum, kripton, v.b.). Bu artık maddeler fazla miktarda nötron yutar ve reaksiyonu yavaşlatır. Dolayısıyla reaktör faaliyeti durabilir, bu ise reaktör zehirlenmesi olarak adlandırılır. Bu yakıtlar yenileme merkezlerinde yabancı maddelerinden arındırılırlar. Şekil 5.18'de bir nükleer santralın prensip şeması verilmiştir.

5.16 Termik Ünitelerde Ekonomik Yüklenmenin Esasları

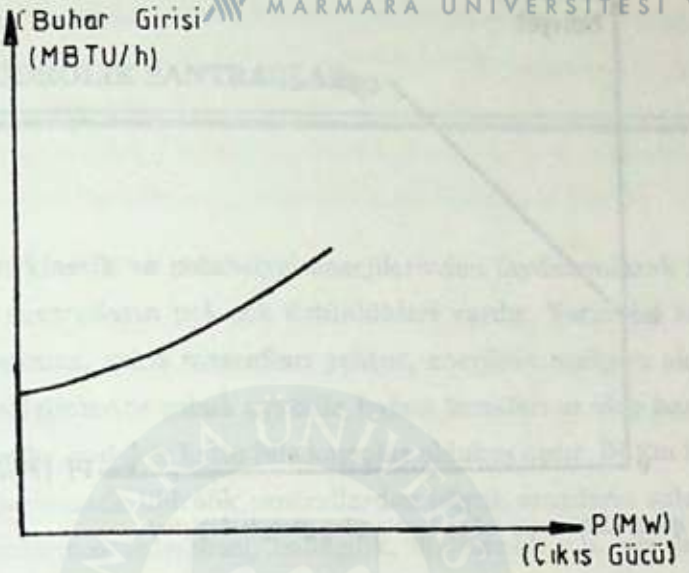
Kapasiteleri ve verimleri farklı olan termik ünitelerden oluşan enerji sistemleri için, belirli bir yük talebinin karşılanmasında ünitelerin hangi oranlarda güç paylaşımında bulunacakları ekonomik yönden incelenmelidir. Burada amaç üretimin toplam maliyetinin minimum yapılmasıdır. Bir termik ünitenin üretim maliyetini belirleyen en önemli kriter, "Giriş - Çıkış Eğrisi" dir. Bu eğrinin yatay ekseninde ünitenin çıkış gücü, düşey ekseninde ise buhar girişi ya da maliyet yer alır. Buhar girişi için genellikle B.T.U. (British Thermal Unit) kullanılır. Bu 1 pound (0,454 kg.) suyun sıcaklığını 62°F'dan 63°F'a kadar ısıtmak için verilen ısı miktarı olup

$$1\ \text{kcal} = \frac{1}{0{,}454} \cdot 1{,}8\ \text{B.T.U.} \cong 4\ \text{B.T.U.}$$

ilişkisi mevcuttur.

Şekil 5.19'dan da görüleceği üzere, eğrinin değişimi ikinci dereceden bir polinomla ifade edilebilir. Bir enerji sisteminde G tane üretim ünitesi olduğu varsayılırsa, i. üniteye ilişkin maliyet fonksiyonu (M_i)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.19 - Bir termik ünitenin giriş - çıkış eğrisi

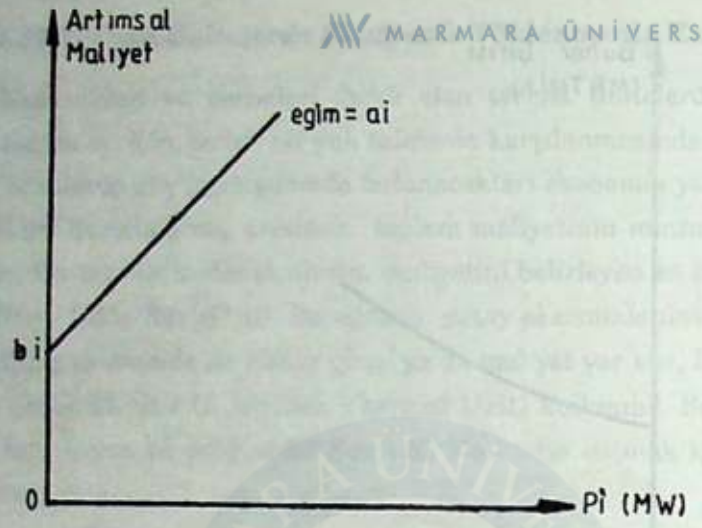
$$M_i = a_i \cdot P_i^2 + b_i \cdot P_i + c_i \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots\ldots (G) \qquad [5.16]$$

a_i, b_i ve c_i i. üniteye ilişkin reel maliyet katsayılarıdır. Maliyet eşitliğinin üretilen aktif güce göre türevi "Artımsal Maliyet"i verir.

$$\frac{dM_i}{dP_i} = 2 \cdot a_i \cdot P_i + b_i \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots\ldots (G) \qquad [5.17]$$

Artımsal Maliyet, eğimi $2 \cdot a_i$ olan bir doğrudur. (Şekil 5.20)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.20 - Artımsal maliyetin çıkış gücüyle değişimi

Artımsal maliyetler dikkate alınarak enerji sisteminin en ekonomik işletmesi araştırılır. Bu amaçla "Lagrange Çarpanları Yöntemi"nden yararlanılır. Ekonomik işlemenin genel ismi "optimizasyondur". Çok geniş olan bu konuya burada ayrıntılı olarak yer verilmemiştir.*

Matematiksel analizine geçmeden, sonuç olarak ifade edilecek olursa "bir enerji sisteminden en ekonomik olarak yararlanabilmek için, bütün ünitelerin artımsal maliyetlerinin aynı olması gerekir" denilebilir. Bir başka deyişle

$$\lambda = \frac{dM_1}{dP_1} = \frac{dM_2}{dP_2} = \ldots\ldots = \frac{dM_G}{dP_G} \qquad [5.18]$$

olmalıdır.

---

* Daha geniş bilgi için bkz.:

N. Tarkan "Optimisation et Estimasion d'Etat des Systemes d'Energie Electrique", Premiere Partie, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Rektörlük Matbaası, 1984.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

6. 0. HİDROLİK SANTRALLAR

Suların kinetik ve potansiyel enerjilerinden faydalanılarak kurulan hidrolik santralların pek çok üstünlükleri vardır. Verimleri zaman içerisinde azalmaz, yakıt masrafları yoktur, enerjinin maliyeti oldukça azdır, yük değişimlerine çabuk uyabilir, bakım ücretleri az olup basit yapılı ve sağlamdır, yedekte kalsa bile kayıplar oldukça azdır. Bütün bu üstünlüklerinin yanında hidrolik santrallardan büyük arazilerin sulanması, sel baskınlarının önlenmesi, balıkçılık, taşımacılık v.b. gibi değişik amaçlar için de faydalanılır. Belli bir yerde biriken suların potansiyel enerjileri vardır. Bu potansiyel enerji bir yükseklikten belli bir hızla düşürülerek kinetik enerjiye ve bu kinetik enerji de türbini tahrik ederek mekanik enerjiye dönüşür. Milin mekanik enerjisi de mile akuple olan generatörleri döndürerek elektrik enerjisi temin edilir. Hidrolik santrallar göllerin veya akarsuların, nehirlerin üzerine kurulabileceği gibi gelgit olayları sonucuyla biriken sulardan faydalanmak amacıyla da dizayn edilebilirler. Hidrolik santralların en önemli bölümleri baraj kısmı, su girişi, cebri borular, valfler ve savaklar, süzgeçler, türbinler ve elektroteknik teçhizattan oluşmaktadır. Santrallar kurulacağı yere göre de akarsu (nehir) santralları, göl (baraj) santralları, ve kaynak santralları olmak üzere üç grupta toplanırlar. Düşen suyun miktarı Q (m^3/sn) ve düşü yüksekliği h (m) olmak üzere barajdaki güç potansiyeli

$$P = Q \,.\, h \text{ ton} \,.\, \text{metre/sn} \qquad [6.1]$$

dir. 75 kgm = 0,736 kW olduğuna göre (6.1) eşitliği

$P = 1000 \,.\, Q \,.\, h$ (kgm/sn) olacaktır. Buradan

$$P = \frac{1000 \,.\, Q \,.\, h}{75} \,.\, 0{,}736 = 9{,}8 \,.\, Q \,.\, h \text{ (kW)} \qquad [6.2]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

elde edilir. Generatörün ve türbinlerin verimlerinin de (6.2) eşitliğinde dikkate alınmasıyla

$$P = 9{,}8 \cdot Q \cdot h \cdot \eta_{tür} \cdot \eta_{gen} \text{ (kW)} \qquad [6.3]$$

yazılır.

6.1 Baraj

Hidrolik santralların baraj bölümü, akarsuların hem yükseklik bakımından hem de jeolojik yapısı bakımından en uygun yerine yapılarak arkasında su biriktirilir. Barajlar yapım şekline göre ağırlık barajları, kemer barajları ve toprak yığmalı barajlar olarak dizayn edilirler. Ağırlık barajlarında suyun itme kuvveti, barajın ağırlığı ile karşılanır. İtme kuvvetinin karşılanmasını kolaylaştırabilmek amacıyla baraj geometrik yamuk şeklinde, betondan veya taştan yapılmaktadır. Kemer barajlarında ise, suyun itme kuvveti, barajın kendi ağırlığı ve yarım ay şeklindeki kemer yapısıyla karşılanmakta olup, bu barajların kalınlığı daha azdır. Bu tip barajlar beton ve demir kullanılarak inşa edilirler. Eğer barajın yapılacağı yerde beton baraj yapımı için uygun bir yer bulunamazsa, bu takdirde toprak yığmalı barajlar yapılır. Bu tip barajlarda ise suyun itme kuvveti çeşitli cins ve kalınlıktaki topraklarla karşılanmakta olup taban kısmı oldukça geniş yapılır. Suyun sızmasını önlemek amacıyla killi kum, ince kum, kalın kum ve çakıllar arasına killi topraklar konulur. Taşkınları önleme amacıyla baraj gövdeleri üzerinde su boşaltma kapakları (savaklar) yapılır.

6.2 Su Girişi

Hidrolik santralların su girişinde su kanalları, borular ve kuvvet tünelleri yer alır. Barajın uygun bir yerine su giriş ağzı yapılır. Su giriş ağzı, suyun üzerinde yüzen cisimlerin ağaç, buz, çalı v.b. kanallara ve borulara girmesini önleyecek biçimde yapılır. Ayrıca suyun akıntı yönünü değiştirmeyecek şekilde tasarlanır. Baraj yapımı sırasında suyun yatağı-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

nın geçici bir süre için değiştirilmesi amacıyla açılan kanal ve tünellere "derivasyon kanalları" denir. Su giriş ağzında vinçlerle açılıp kapatılabilen büyük kapaklar yer alır ve suyun düşüş hızı, hız düzenleyicilerle ayarlanır. Su giriş boruları uzun ve kapalı olarak yapılırsa bu kısımda yer alan denge bacaları da su girişini ayarlamada kullanılabilir.

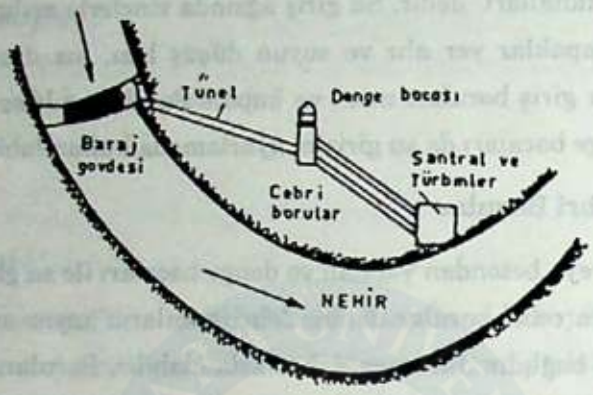
6.3 Cebri Borular

Çelik veya betondan yapılan ve denge bacaları ile su girişini birleştiren borulara cebri borular denir. Cebri boruların sayısı suyun düşme yüksekliğine bağlıdır. Bir veya daha fazla olabilir. Boruların çapları ve kalınlıkları su basıncına bağlı olarak değişir. Türbinlere doğru inildikçe bu borular, daha küçük çaplı boru gruplarına ayrılarak sayıları arttırılabilir. Cebri borular her ünitenin kelebek vanalarına kadar devam eder.

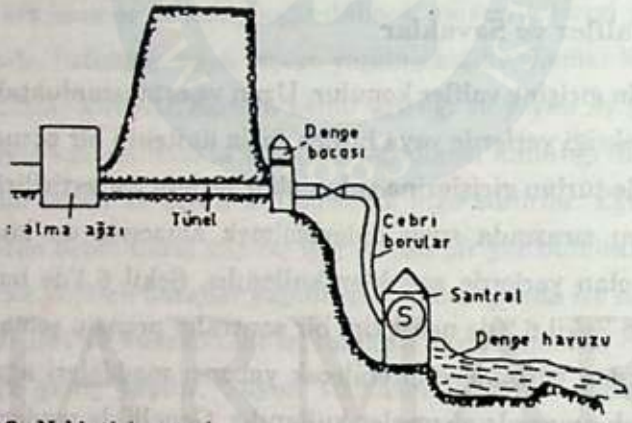
6.4 Valfler ve Savaklar

Türbin girişine valfler konulur. Uzun ve orta uzunluktaki cebri boruların gerektiği yerlerde veya birden fazla ünitenin bir borudan beslenmesi halinde türbin girişlerine yakın olan yerlere yerleştirilirler. Türbinlerin bakımı sırasında suyu önleyebilmek amacıyla da küçük düşme yüksekliği olan yerlerde savaklar kullanılır. Şekil 6.1'de baraj tipi bir santralın ve Şekil 6.2'de nehir tipi bir santralın prensip şeması verilmiştir. Borulardan türbinlere girebilecek yabancı maddeleri ağaç, buz v.b. önleyebilmek amacıyla süzgeçler kullanılır. Genellikle madeni çubuklardan yapılan süzgeçlerin buzlanma nedeniyle tıkanmalarını önleyebilmek için sıcak hava gönderilerek ısıtılması sağlanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.1 - Baraj tipi santral



Şekil 6.2 - Nehir tipi santral

6.5 Türbinler

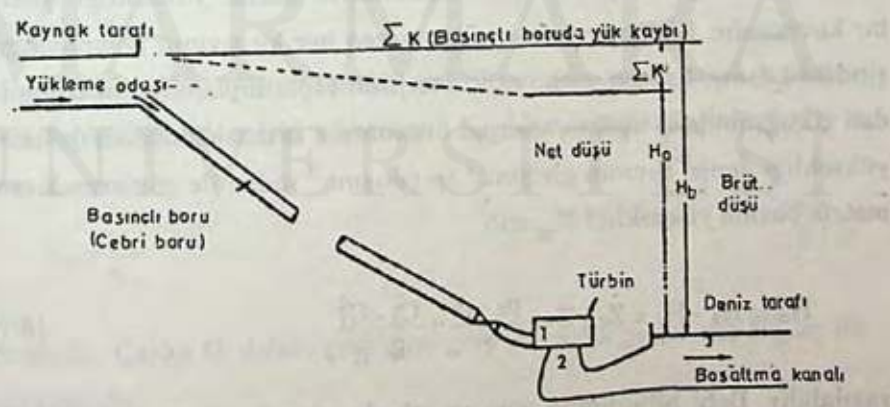
Suların sahip oldukları potansiyel enerjiyi faydalı güç şeklinde makina miline intikal ettiren, suyun çarpmasıyla dönebilen kısımdır. Hidroelektrik santrallarında barajı besleyen akarsuların debileri ve düşüleri, türbin tipini ve gücünü belirleyen en önemli faktörlerdir. Türbinin içinden birim zamanda geçen hacim, ağırlık veya kütle cinsinden sıvı miktarı en genel olarak debinin tanımıdır. Birikmiş olan suyun düşme yüksek-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

liğine ise "düşü" denir. Birikmiş olan suyun üst seviyesi ile suyun türbin çıkışındaki yüksekliği arasındaki farka "geometrik düşü" denir. Birikmiş suyun devamlı olarak kullanıldığı yükseklikle, türbinden çıkan su arasındaki yüksekliğe ise "faydalı (etkin) düşü" denir. Bunlardan başka devir sayısı, verim, güç ve özellikle tulumbalar için basma yüksekliği de önemli kavramlardır. Türbinin bir dakika içerisinde döndüğü devire "devir sayısı" denir. Verim ise, türbinde enerji dönüşümü sırasında meydana gelen kayıplarla ilgili katsayıdır. Türbinin birim zamandaki iş miktarı da "türbin gücü"dür. Bir akarsuyun güzergahı boyunca bir hidrolik santralın tesisi için, tesisin başı ve sonu olabilecek birbirine yakın iki nokta arasında kot farkı yeter derecede büyükse, türbinin çalıştırılması mümkündür. Şekil 6.3'de net düşü tesisin su kaynağı ve deniz tarafında kalan noktaları arasında Q debisi ile meydana gelen Σ k toplam yük kayıplarının H_b brüt düşü (geometrik düşü) değerinden çıkarılması ile bulunur.

$$H_o = H_b - \Sigma k \qquad [6.4]$$

H_b, her kg suyun kaynak ve deniz tarafındaki noktalar arasında kalan potansiyel enerjisidir.



Şekil 6.3 - Yükseklik farklarının gösterilmesi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

H_o net düşüşü ise, her kg suyun türbinden geçerken türbine bıraktığı enerjidir. Suyun türbine girişindeki büyüklükleri ^{1} ve çıkıştaki büyüklükleri ^{2} indisi ile göstermek üzere her kg suyun toplam enerjisi girişte H_1 ve çıkışta H_2 olur. Böylece Z_1 türbin giriş noktasının kotu, Z_2 türbin çıkış noktasının kotu, C_1 türbin girişinde suyun mutlak hızı, C_2 türbin çıkışında suyun mutlak hızı, p_1 türbin girişinde suyun basıncı ve p_2 türbin çıkışında suyun basıncını göstermek üzere

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= Z_1 + \frac{C_1^2}{2.g} + \frac{p_1}{\gamma} \\ H_2 &= Z_2 + \frac{C_2^2}{2.g} + \frac{p_2}{\gamma} \end{aligned}\right\} \qquad [6.5]$$

ve

$$H_1 - H_2 = (Z_1 - Z_2) + \frac{C_1^2 - C_2^2}{2.g} + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \qquad [6.6]$$

yazılabilir.

$H_1 - H_2$, her kg suyun türbine bıraktığı enerjidir. g yerçekimi ivmesi (= 9,81 m/s^2) ve γ (kg/m^3) özgül ağırlıktır. Suyun enerjisini arttıran tulumba, pompa gibi teçhizat için "monometrik basma yüksekliği" önemli bir kavramdır. Bir pompanın içinden geçen her kg sıvının pompaya girişindeki basınç, konum ve kinetik enerjinin toplamıyla, sıvının tulumbadan çıktığı andaki toplam enerjisi arasındaki artışa monometrik basma yüksekliği denir. Sıvının girişini ^{1} ve çıkışını ^{2} indisi ile göstererek mnometrik basma yüksekliği H_m için

$$H_m = H_2 - H_1 = Z_2 - Z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2.g} \qquad [6.7]$$

yazılabilir. Debi bilindiğine göre ve çıkışla giriş kesitleri de bilindiğine göre $\frac{C_2^2 - C_1^2}{2.g}$ terimi kolayca hesaplanabilir. Tulumbalarda bu terim sıfıra eşittir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Türbinler için, türbin milindeki efektif gücün, türbin içinden geçen suyun türbine bırakabileceği maksimum güce oranına "türbin verimi" denir ve

$$\eta_t = \frac{N_e}{N_o} \qquad [6.8]$$

olarak ifade edilir. Her kg suyun türbine bırakabileceği güç, H_o net düşüsü ile ifade edilir. N_o gücü buhar beygiri cinsinden

$$N_o = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_o}{75} \qquad [6.9]$$

olacaktır. Türbin milindeki efektif güç ise

$$N_o = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_o}{75} \eta_t \qquad [6.10]$$

olur. Orta büyüklükteki türbinlerde verim 0,85 - 0,90, büyük türbinlerde 0,91 - 0,93 ve küçük türbinlerde 0,80 değerindedir. Türbinde meydana gelen kayıplar hidrolik, mekanik ve kaçak kayıplardan oluşmaktadır. Türbinin debisi Q ile ifade edildiğinde kaçaklar nedeniyle çarktan daha ufak bir Q' debisi geçer ve kaçak verimi

$$\eta_k = \frac{Q'}{Q} \qquad [6.11]$$

olur. Çarkın türbin miline ilettiği güç N'_e olmak üzere yatak kayıpları nedeniyle, türbin milindeki efektif güç N_e daha küçük bir değerdedir ve mekanik verim

$$\eta_m = \frac{N_e}{N'_e} \qquad [6.12]$$

şeklindedir. Çarka Q' debisi girdiğine göre ve çarka gelen güç N'_o ile ifade edildiğinde

$$N'_o = \frac{\gamma \cdot Q' \cdot H_o}{75} \qquad [6.13]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

olur ve çarkın hidrolik verimi

$$\eta'_h = \frac{N'_e}{N'_o} \qquad [6.14]$$

dir. Buna göre türbinin genel verimi

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_h \cdot \eta_k \qquad [6.15]$$

olarak ifade edilir. n (d/d) devir sayısı, N_e (B.B.) efektif güç ve H_o (m) net düşü olmak üzere türbinin özgül hızı

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{N_e}}{H_o^{5/4}} \quad (d/d) \qquad [6.16]$$

dür. Uygulamada özgül hız türbin tipinin belirlenmesinde çok önemli rol oynar. Bir türbinin özgül hızı, bu türbine benzer ve bir metrelik net düşüyle maksimum verim koşulları altında bir buhar beygir efektif güç veren türbinin dakikadaki devir sayısıdır. Türbinler, özgül hızlarına göre üç grupta toplanabilir: n_s = 2 - 35 d/d arasındakiler tek püskürtücülü Pelton türbinleri, n_s = 70 - 500 d/d arasındakiler Francis ve ns = 380 - 1200 d/d arasındaki türbinler de Kaplan veya Uskur türbinleridir. Buradan, genel olarak yüksek düşülerde Pelton türbinleri, orta düşülerde Francis türbinleri ve alçak düşülerde Kaplan ve Uskur türbinleri kullanılır sonucuna varılabilir. (6.16) ifadesi

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} \cdot H_o^{-5/4}$$

olarak düzenlendiğinde ve $n \cdot N_e^{1/2} = K$ sabitiyle gösterilirse

$$n_s = K \cdot H_o^{-5/4} \qquad [6.17]$$

bulunur. Eşit güç ve devir adedinde (6.17) ifadesinden görülebileceği gibi, Ho değerinin büyük olması durumunda küçük özgül hız değerleri elde edilir. Her türbin için maksimum verimi verecek olan şekil ve ebadları sağlamak, uygulamada çok zor bir problemdir. Bu nedenle her özgül hız

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

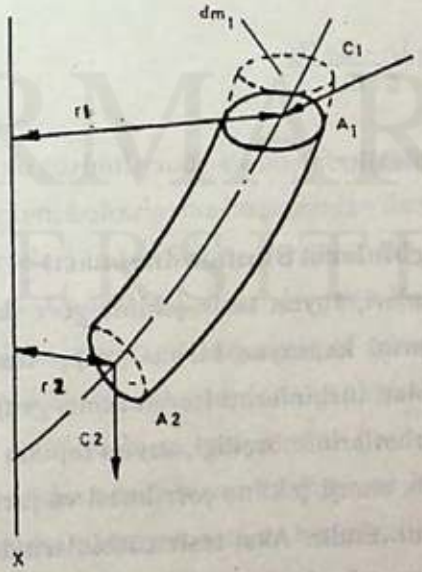
değerine karşılık düşen türbin tipi için en uygun şekil ve boyutlar araştırılır. (6.16) ifadesinde H_o = 1 m düşüde çalışan ve N_e = 1 B. B. güç verebilecek şekilde debisi ayarlanan ve $n = n_s$ devir sayısıyla çalışan türbine "özgül türbin" adı verilir. Su türbinlerinde su çarka enerji vermekte olup, çarkın kazandığı güç N_h ile gösterilirse

$$N_h = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (C_{u1} U_1 - C_{u2} U_2) \qquad [6.18]$$

olur. ^{1} indisi ile suyun çarka girişi, ^{2} indisi ile de suyun çarktan çıkışı ifade edilmektedir. C_{u1} ve C_{u2} hızların teğet istikametindeki bileşkelerini göstermekte olup $U_1 = W \cdot r_1$, $U_2 = W \cdot r_2$ dir. r_1 ve r_2 sıvı iplikçiğinin eksenden uzaklığını, W ise açısal hızı ifade eder. Şekil 6.4'de kanal içerisindeki akışa ait bir sıvı iplikçiği görülmektedir. (6.18) ifadesi [B. B.] cinsinden

$$N_h = \frac{\gamma \cdot Q}{75 \cdot g} (C_{u1} U_1 - C_{u2} U_2) \qquad [6.19]$$

olarak yazılabilir.



Şekil 6.4 - Kanal içerisindeki akışa ait sıvı iplikçiği

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Türbin içinden geçen suyun bir kısım enerjisi (6.15) ifadesinde belirtilen kayıpları karşılayacaktır. Suyun her kilogramının türbin girişindeki enerjisi (H_o) net düşüşü şeklinde ifade edilirse, debisi Q olan bir türbinde sudan türbine verilecek olan maksimum güç N_o'dır. (6.15) ifadesinde kayıpların yerine konulmasıyla

$$\eta_g = \frac{N_e}{N_h} \cdot \frac{N_h}{N'_o} \cdot \frac{N'_o}{N_o} \qquad [6.20]$$

bulunur. Çark içindeki su debisi Q' olduğundan ve Q' debisiyle N'_o gücü elde edileceğinden

$$\eta_h = \frac{N_h}{N'_o} = \frac{\gamma \cdot Q'}{g} \cdot \frac{(C_{u1} U_1 - C_{u2} U_2)}{\gamma \cdot Q' \cdot H_o} \qquad [6.21]$$

ve buradan

$$\eta_h = \frac{C_{u1} U_1 - C_{u2} U_2}{g \cdot H_o} \qquad [6.22]$$

elde edilir. H_o net düşüsü de

$$H_o = \frac{C_{u1} U_1 - C_{u2} U_2}{g \cdot \eta_h} \qquad [6.23]$$

olarak ifade edilebilir.

6.5.1 Türbinlerin Sınıflandırılması

Su türbinleri, suyun tesir şekline göre iki grupta toplanabilirler. Pelton türbinlerini kapsayan birinci grup, "tesir türbinleri" adını alır. Francis ve Kaplan türbinlerini içeren ikinci grup da "aksi tesir türbinleri"dir. Tesir türbinlerinin özelliği, suyun toplam enerjisinin çarka girmeden önce kinetik enerji şekline çevrilmesi ve çarkın sadece bu hız enerjisinden faydalanmasıdır. Aksi tesir türbinlerindeyse, suyun çarka girişi ve çarktan çıkışı atmosfer basıncından farklı değerlerdedir. Tesir türbinleri atmosfer basıncındadır. Türbinin aksi tesir derecesi $\frac{h}{H_o}$ oranıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

H_o türbinin net düşü değeri olmak üzere

$$H_o = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{C_1^2 - C_2^2}{2 \cdot g} \qquad [6.23\text{-a}]$$

dir ve h ise

$$h = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

olduğuna göre ρ aksi tesir derecesi

$$\rho = \frac{h}{h_o} \qquad [6.23\text{-b}]$$

olur. Pelton türbinlerinde bu değer sıfırdır. Diğer türbinlerde ise sıfırla 1 arasındadır.

Kinetik enerji şeklinde kullanılan enerji yukarıdaki ifadelerden

$$H_o - h = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2 \cdot g} \qquad [6.24]$$

olarak yazılabilir.

6.5.2 Kavitasyon

Kavitasyon olayı, su türbinlerinde en önemli problemlerden birisidir. Su hareket halindeyken, buharlaşma basıncından daha düşük bir ortamdan geçerken su zerreleri buhar haline dönüşür. Böylece oluşan buhar, suyun sürükleyici tesiriyle hareketine devam ederek buharlaşma basıncından daha yüksek basınçlı bir ortama geldiği zaman da yoğunlaşmaktadır. Bu yoğunlaşma ani olarak meydana geldiğinden ve yoğunlaşan buhar habbeciğinin etrafındaki su ortaya çıkan boşluğa hareket ettiğinden, suyun boşluğu doldurması esnasında diğer su kütlelerine veya boşluğu çevreleyen cidarlara çarpması sonucu bir gürültü oluşmaktadır. Bundan başka, ani basınç yükselmelerine yol açmakta ve basınç dalgalarının etrafa yayılmasına sebep olmaktadır. Bu basınç dalgalarının uzun

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

süre tekrarlanması sonucuyla da kavitasyon meydana gelmektedir. Reaksiyon türbinlerinde, çark kanatlarının çıkış kenarlarıyla yayıcı başlangıcına yakın döner ve sabit kısımlar kavitasyona çok müsait yerlerdir. Bu gibi yerlerde konstrüksiyona özel şekiller verilerek kavitasyonun azaltılması söz konusudur. Thoma'nın kendi ismiyle anılan kavitasyon katsayısı σ

$$\sigma = \frac{H_{st} - H_b - H_s}{H_o} \qquad [6.25]$$

olarak ifade edilmektedir. Suyun buharlaşma basıncı yüksekliğiyle yayıcı yüksekliği değerlerinin atmosferik basınç yüksekliğinden çıkartılmasıyla bulunan değerin H_o net düşüşüne bölünmesiyle elde edilmektedir. Bir hidrolik santralda kullanılacak olan türbinin kavitasyon yapmaması için, tesisin σ kavitasyon katsayısı türbinin σ_{kr} kritik kavitasyon katsayısından büyük olmalıdır. Kavitasyonun başlayacağı maksimum yayıcı yüksekliğindeki kavitasyon katsayısına "kritik kavitasyon katsayısı" denir ve

$$\sigma_{kr} = \frac{H_{st} - H_b - H_{s\,max}}{H_o} \qquad [6.26]$$

olarak yazılabilir. Tesiste kullanılacak H_b buharlaşma basıncı yüksekliği değeri için, sıcaklığın bilinmesi gerekmektedir. Sıcaklıkla beraber buharlaşma basıncı arttığından, tesise ait kavitasyon katsayısının değeri azalacaktır. Ayrıca her özgül hızdaki türbinin σ_{kr} değerini bulabilmek için, istatistiki yol başarılı bir sonuç vermektedir. Yayıcı yüksekliği kavitasyon katsayısını ayarlayabilmek için en geçerli yoldur. Kavitasyonu önleyebilmek ve tesise ait kavitasyon katsayısını büyütebilmek için, türbinin yayıcı yüksekliğini azaltmak gerekir. Kavitasyon gürültü, titreşim, karakteristik eğriler ve verimde ani değişikliklerle kendisini belli eder. Ayrıca, kavitasyona maruz kalan malzeme tahrip olarak süngerleşmektedir. % 18 Cr ve % 8 Ni ihtiva eden paslanmaz çelik, kavitasyona karşı nispeten daha dayanıklıdır. Kullanılan alaşımın yanısıra düz ve pürüz-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

süz yüzeyler, akımın cidardan ayrılmasını önleyici profiller, malzemenin yüzey sertleştirilmesi ve maruz kaldığı termik işlemler de kavitasyonun tesirlerini azaltmaktadır. Bunlardan başka kavitasyonun tahribatı çok fazla ilerlemeden türbini sık sık bakıma almak ve hasar gören kısımları kaynakla doldurmak, kavitasyon bölgesinden önce sıvı içerisine az miktarda hava vermek, küçük ilavelerle ve konstrüksiyonda yapılacak değişiklerle yayıcıda akışı daha düzgün hale getirerek yük kaybını arttırmak da önleyici tedbirler arasındadır.

6.5.3 Pelton Türbinler

Türbinlerde suyun basınç enerjisi, kinetik enerjisi ve konum enerjisinden faydalanılır. Pelton türbinleri suyun sadece kinetik enerjisinden faydalanan bir tesir türbinidir. Aksi tesir derecesi $\rho = 0$ dır. Pelton türbinleri, genellikle yüksek düşü ve küçük debiler için çok uygundur. Düşü yükseklikleri 300 m'den fazladır. Yüksek basınçlı su atmosfer basıncına püskürtülerek yüksek hızlı su jetinin kinetik enerjisinden faydalanılır. Bir enjektörden püskürtülen su üzerinde kepçeleri olan bir çarkın kepçelerine çarpar ve oluşan mekanik enerji türbin miline geçirilir. Çark kepçelerinin verim üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Kepçelere konstrüksiyon bakımından uygun formlar verilerek verim % 91'e kadar çıkarılmıştır. Pelton türbinlerinde türbin debisi püskürtücü sayısına bölüneceğinden, her püskürtücüye karşı gelen güç değerleri de aynı miktarda azalır. N_c toplam türbin gücü, n_s türbinin özgül hızı ve Z püskürtücü adedi olmak üzere püskürtücü başına düşen güç N_c/Z olacaktır ve püskürtücünün n'_s özgül hızı

$$n'_s = \frac{n \cdot \sqrt{N_c/Z}}{H_o^{5/4}} = \frac{n_s}{\sqrt{Z}} \qquad [6.27]$$

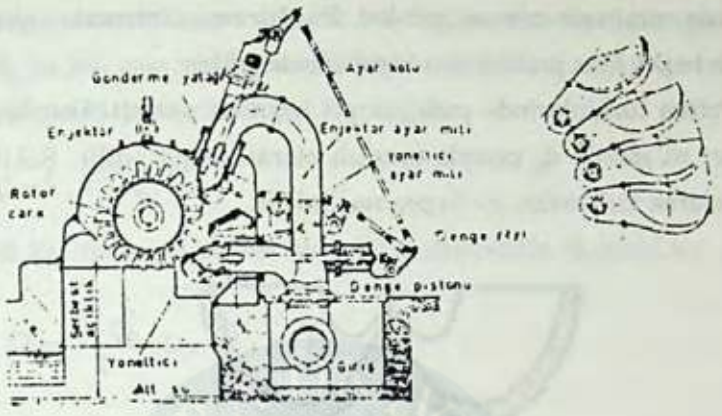
dır. Pelton türbinlerinde türbinin özgül hızı n_s 2 - 30 d/d arasındadır. (6.16) özgül hız ifadesinde H_o değerinin büyük olması halinde, belirli bir n ve N_c değerinde n_s azalacaktır. Santralın su alma ağzından itibaren cebri borularla su türbine kadar taşınır. Suyun borularda akması esna-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

sında oluşan yük kayıpları brüt ve net düşü arasındaki farkı arttıracaktır ve dolayısıyla toplam verim düşecektir. Cebri borunun arazinin topografik koşullarına göre minimum uzunlukta olmasıyla yük kayıpları azaltılabileceği gibi, ekonomik bakımdan maliyet de azaltılacaktır. Yük kaybını azaltmak amacıyla boru çapı arttırılabilir ve cebri boru içindeki su hızının azaltılması sağlanır; ancak bu durumda da yüksek basınç nedeniyle boru mukavemet problemleriyle karşılaşılır ve malzeme artacağından yatırım masrafları artar. Boru çapını küçültmek amacıyla debinin ikiye bölünmesi, yani iki cebri borunun kullanılması da bir çözümdür. Ayrıca türbine yaklaşıldıkça boru çapının küçültülmesi ve daha ufak çapta tek veya çift boru kullanılması da uygulamada yapılmaktadır. Cebri boruların arazide olabildiğince düz olmasına ve kıvrımlardan kaçınılmasına çalışılır. Eğimli arazilerde aşağıya doğru yerleştirilen cebri borular, ağırlıkları nedeniyle bir eksenel kaymaya maruzdurlar. Bu kuvvetleri karşılayabilmek için sabit ve ankanstra mesnetler kullanılır.

Pelton türbinleri püskürtücü, saptırıcı ve çark ünitelerinden oluşmaktadır. Püskürtücüler cebri borularla yüksek basınç ve düşük hızla gelen suyun basıncını atmosfer basıncına inecek şekilde bir su jeti oluştururlar ve bu su jetini türbin çarkına uygun bir şekilde püskürtürler. Püskürtücü içerisindeki iğne yardımıyla, iğnenin ileri geri hareket etmesiyle normal çalışma koşullarında suyun debisi ayarlanır. Su jetinin debisinde ani azalmalara gerek duyulduğunda, çarka giden su miktarının bir kısmını saptırarak çarkı besleyen debi değerinde ani azalmalar saptırıcı yardımıyla gerçekleştirilir. Püskürtücünün debiyi aniden kısması su darbelerini ve cebri borular içerisinde yüksek basınçları oluşturacağından, saptırıcılar kullanılır. Çarkın çevresinde kepçeler vardır ve bu püskürtücünün oluşturduğu su jetinin kinetik enerjisini alarak bu enerjiyi mile geçirir. Şekil 6.5'de bir Pelton türbini ve kepçeleri gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.5 - Pelton türbini

Püskürtücüde su basıncı maksimum değerde olduğu için, mukavemet ve sızdırmazlık çok önemlidir. İğnenin durumu püskürtücü gövdesinin konstrüksiyonuna ve formuna tesir eden en büyük faktördür. Püskürtücünün verimi su jetinin gerçek debisi Q ve çapı d_o ile gösterilirse

$$\eta = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}} \qquad [6.28]$$

olarak ifade edilebilir. Püskürtücünün verimi iğne açıklığına çok bağlıdır. İğnede de sürtünme kayıpları oluştuğundan toplam verimi olumsuz olarak etkilemektedir.

Su jetindeki su hızı, türbinin H_o net düşü değeriyle püskürtücünün hız katsayısına bağlı olarak değişir. Pelton türbinlerinde püskürtücülerin hız katsayısı 0,96 - 0,98 arasındadır. Buna göre suyun hızı C_o

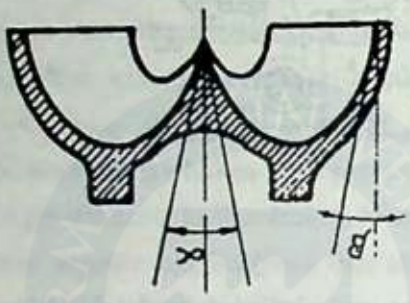
$$C_o = (0{,}96 - 0{,}98) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o} \qquad [6.29]$$

olarak yazılabilir. Saptırıcı, türbinin normal çalışması sırasında bir işlev görmeyen ancak türbine gönderilen debinin ani azalması gerektiğinde püskürtücüyle kepçe arasındaki su jetine tesir ederek gereken miktardaki suyu saptırmak suretiyle debiyi azaltan bir ünitedir. Su jetinin düzgünlüğünü muhafaza edebilmesi için, püskürtücüyle kepçe arasındaki

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

mesafenin minimum olması gerekir. Bu durum, saptırıcının yerleştirilmesinde başka bazı problemleri beraberinde getirir.

Pelton türbinlerinde çark çevresi boyunca yerleştirilen kepçelerin boyutları su jetinin d_o çapıyla orantılı olarak tespit edilir. Şekil 6.6'da, yaygın olarak kullanılan bir kepçe verilmiştir.



Şekil 6.6 - Pelton türbini kepçe görünümü

Kepçe bıçağının keskin ve $\alpha = 0°$ olması teorik olarak geçerliyse de uygulamada bu durum bıçak kısmının aşınmasına sebep olmaktadır. Genellikle $\alpha < 20°$ olmak üzere bir değer seçilebilir. Suyun kepçeden çıkış açısında sıfır olması teorik bakımdan istenilen bir durum olmakla beraber, suyun çark hacmini kısa zamanda boşaltabilmesi için β açısı da 8° - 12° arasında bir değer almaktadır. Kepçe malzemesinin aşınmaya karşı koyabilecek sert malzemeden seçilmesi gerekir. Kepçeler döküm suretiyle elde edilmektedir. Uygulamada çark üzerindeki kepçe sayısı Z

$$Z = 15 + \frac{D_o}{2 \cdot d_o} \qquad [6.30]$$

bağıntısıyla bulunmaktadır. Burada D_o çarkın su jeti eksenine teğet olan dairesinin çapını ve d_o su jetinin çapını ifade etmektedir. d_o/D_o oranı uygulamada $\frac{1}{100}$ ile $\frac{1}{6}$ arasında değişen değerler almaktadır. Bu oranın büyük olması, yani d_o'ın küçük D_o'ın büyük olması halinde, suyun katedeceği mesafe artacağından su jeti dağılacak ve bu durum verim üzerinde olumsuzluklar yaratacaktır. d_o/D_o oranı çok küçülürse kepçeler içinde

akış şartları, kepçe başına debinin büyük olması nedeniyle, verim düşecektir. d_o su jeti çapı ve C_1 su iplikçiğinin değerleri, su jetinin ve dolayısıyla türbinin Q debisini belirler. C_1 değeri

$$C_1 = k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}$$

olarak (6.29) ifadesine benzer bir şekilde yazılabilir. Q debisi ise

$$Q = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o} \qquad [6.31]$$

dır ve türbin genel verimi belliyse türbin gücü

$$N_c = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_o}{75} \cdot \eta_g = \gamma \cdot k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o} \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot H_o \cdot \eta_g \qquad [6.32]$$

ile bulunabilir. Çark kepçelerinin sürüklenme hızı, çarkın n devir sayısı ve D_o çapıyla k_u hız katsayısı cinsinden

$$u = k_u \cdot \sqrt{2 \cdot g \, H_o} \cdot \frac{\pi \cdot D_o \cdot n}{60} \qquad [6.33]$$

olarak yazılabilir. (6.33) ifadesinden n devir sayısı

$$n = 60 \cdot k_u \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \, H_o}}{\pi \cdot D_o} \qquad [6.34]$$

bulunur. Bulunan bu değerler n_s özgül hız ifadesinde yerlerine konularak

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{N_c}}{H_o^{5/4}} = \frac{60 \cdot k_u \cdot \sqrt{2 \cdot g \, H_o}}{\pi \cdot D_o} \sqrt{\gamma k \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o} \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot \frac{H_o}{75} \cdot \eta_g \frac{1}{H_o^{5/4}}} \qquad [6.35]$$

yazılabilir. Bu ifadede sabit değerlerin toplanmasıyla

$$n_s = 576 \cdot k_u \sqrt{k \cdot \eta_g} \cdot \frac{d_o}{D_o} \qquad [6.36]$$

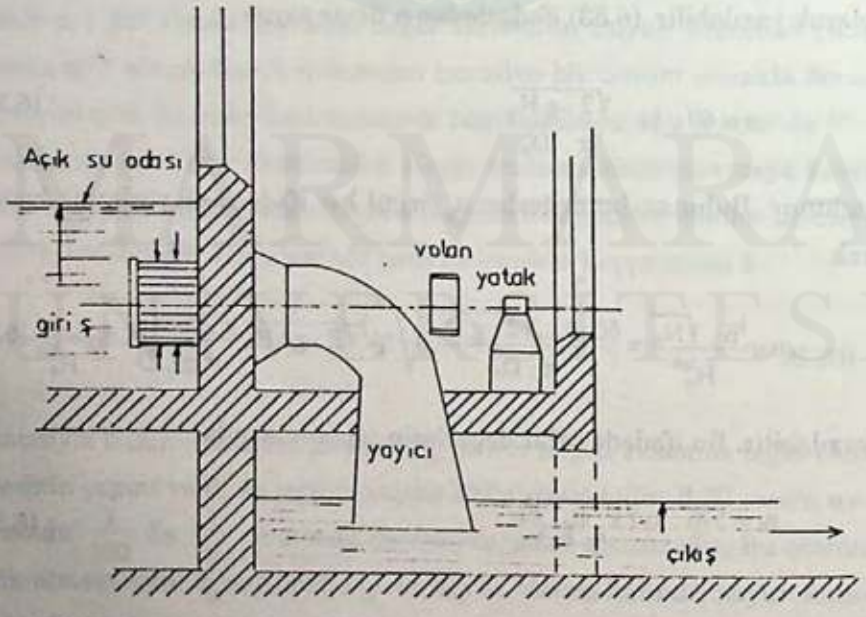
elde edilir. Bu ifadelerde k_u 0,45 - 0,49 arasında, k ise 0,97 - 0,98 arasındaki katsayılardır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

6.5.4 Francis Türbinler

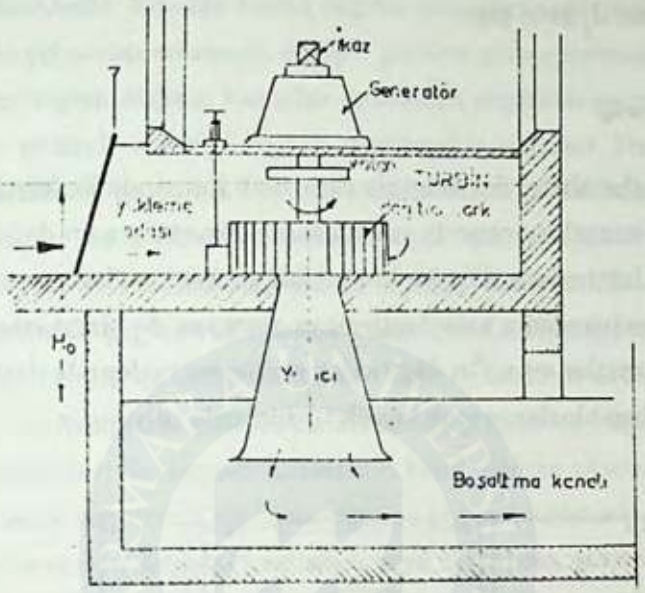
Bu türbinlerde özgül hız 45-550 d/d arasında olup, Kaplan türbinleri gibi reaksiyon türbinleridir. Düşü yükseklikleri 300 m kadar olabilmektedir. Çok geniş bir kullanım alanı olan bu türbinlerde suyun çark kepçelerine giriş ve çıkışında oluşan basınç farkının büyüklüğünden faydalanılır. Büyük güçteki Francis türbinleri dik, küçük güçtekiler ise yatay eksenli olarak çalışırlar. Francis türbinleri suyun girişine göre de açık su odalı Francis ve salyangozlu Francis türbinleri olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Yatay eksenli ve açık su odalı türbinler duvar tipi türbinler adını da alırlar. Şekil 6.7'de duvar tipi türbinler verilmiştir.

Açık su odalı Francis türbinlerinde suyun bütün çark çevresi boyunca çarka uygun bir şekilde sevk edilmesi söz konusu olduğundan, salyangoza ihtiyaç yoktur. Su odasında suyun üst seviyesi atmosfere açık olduğundan cebri boru donanımına da gerek yoktur ve dolayısıyla maliyet düşmektedir. Şekil 6.8'de açık su odalı düşey eksenli bir türbin görülmektedir.



Şekil 6.7 - Duvar tipi Francis türbinleri

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Sekil 6.8 - Açık su odalı düşey eksenli Francis türbini

Salyangoz reaksiyon türbinlerinde cebri borulardan türbine gelen suyu türbin, dağıtıcı kanatları çevresine eşit basınç ve debi oranı altında dağıtarak türbin çarkının tüm çevresi boyunca her an eşit hız ve debi ile beslenebilmesini sağlar. Genel olarak salyangoz, cebri borunun devamı gibi düşünülebilir. Suyu bütün dağıtıcı kanatlarına dağıtabilmek için, cebri borunun dağıtıcı çevresine sarılmasıdır. Salyangozlar adi veya çelik dökümden, betondan ve kaynaklı veya perçinli saçlardan yapılabilmektedir. Hız katsayısı 0,2 - 0,3 arasındadır. Saç ve beton salyangozlar imalat tekniği ve kolaylığı bakımından daha büyük boyutlarda yapılabildiğinden bu tip salyangozlarda hız 2 - 3 m/s arasında tutulmalıdır. İmalatçılar tarafından beton salyangozlar için tavsiye edilen hız

$$C < 0{,}14 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o} \qquad |6.37|$$

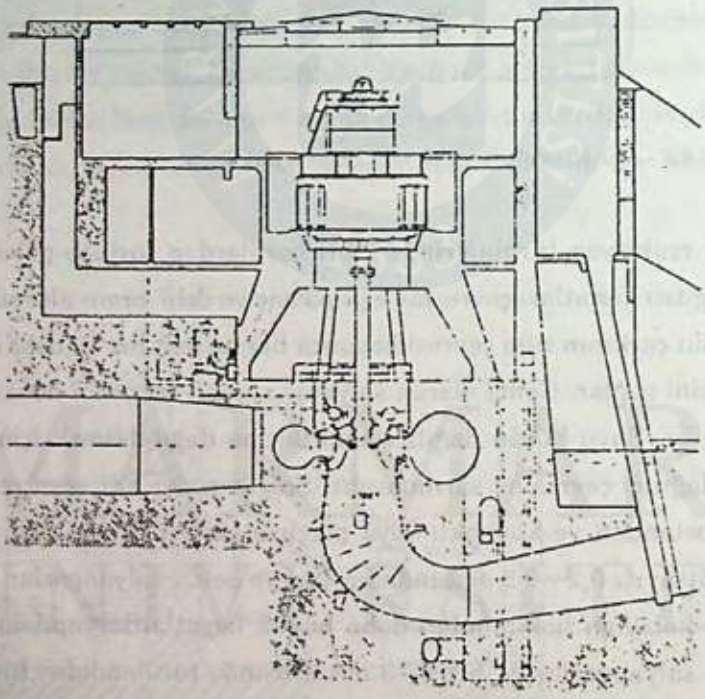
olarak verilmektedir. Beton salyangozların çalışma düşüleri 40 - 50 m arasında olup daha yüksek düşülerde beton içi saçla kaplanır. Salyango-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

za ait dairesel d_g giriş çapı:

$$\frac{\pi \cdot d_g^2}{4C} = Q \qquad [6.38]$$

ifadesi ile bulunabilir. Salyangozla dışarıdan kumanda ile hareket edebilen dağıtıcı kanatlar arasında yer alan sabit kanatlara ön dağıtıcılar denir. Suyun dağıtıcılara düzgün bir şekilde girişini sağlamaya ve dağıtıcı kanatların çalışmasını kolaylaştırmaya yarayan ön dağıtıcılara küçük türbinlerde rastlanmaz. Ön dağıtıcılar sürtünme nedeniyle ilave yük kayıplarına sebep olurlar, ancak büyük türbinlerde salyangoz

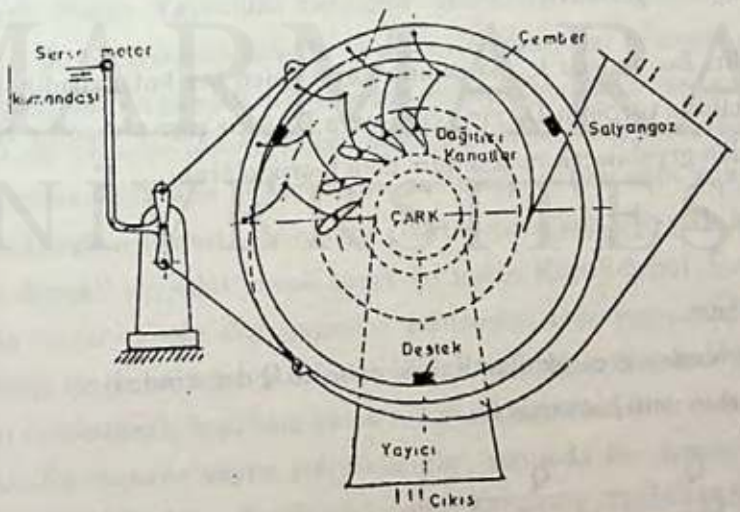


Şekil 6. 9 - Salyangozlu Francis türbini

tavanı ve dağıtıcı tavan için destek vazifesi görürler. Dağıtıcı kanatlar ise salyangoz ve ön dağıtıcı vasıtasıyla bütün çevre boyunca eşit debi ile gelen suya türbin çarkının giriş şartlarına uyacak biçimde bir hız vektörü sağlar. Böylece su türbin çarkına geldiğinde bir ilave hız bileşeni ihti-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

va edebilmektedir. Bundan başka dağıtıcı kanatlar yardımıyla türbin sabit devirle çalışması sırasında değişik güçlere göre ayarlanabilmektedir. Bu durum, suyun dağıtıcı kanatlar arasından geçerken geçiş kesitini değiştirmek ve böylece debiyi azaltıp çoğaltmakla sağlanır. Dağıtıcı kanatların kapatılması sırasında büyük kuvvetlere maruz kalarak zorlanmasını ve dolayısı ile kırılmasını önleyebilmek için biyelcik kollarına özel şekiller verilir ve zorlanma sırasında biyelcik kollarının bu zayıf noktalardan kırılması sağlanır. Böylece kırılan kısım türbin dışında olduğundan, değiştirilmesi de kolay ve dağıtıcı kollara nazaran ucuzdur. Dağıtıcı kanatlar, mafsallar yardımıyla bir kumanda çemberine bağlanır. Çemberin döndürülmesi ile dağıtıcı kanatların kendi dönme eksenleri etrafında döndürülmesi sağlanır. Çemberin dönüşü bir servo-motorla temin edilir. Servomotor türbin debisini azaltacak veya arttıracak şekilde dağıtıcı kanatlar kumanda çemberini döndürür. Şekil 6.10'da bu durum gösterilmiştir. Francis türbinlerinde çark döküm veya kaynatılmış çelik yüzeyler şeklinde dökme demir, çelik veya bronzdan imal edilebilir. Kavitasyona maruz kalabilecek kısımları krom ve nikelli sert alaşımlarla kaplanabilir. Francis çarklarının özgül hızları, 70 d/d - 400 d/d arasında değişmek-



Şekil 6 .10 - Kumanda çemberi ve dağıtıcı kanatları

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

tedir. Hız katsayısı

$$k_u = \frac{U}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}} \qquad [6.39a]$$

dır ve özgül türbinde $H_o = 1$ m olduğundan

$$k_u = \frac{U}{\sqrt{2 \cdot g}} = \frac{U}{4{,}43}$$

olarak yazılabilir. Sürüklenme hızı ise

$$U = \frac{\pi \cdot D_n}{60} \qquad [6.39b]$$

dır. Özgül türbinde (6.39b) ifadesinde $n = n_s$ alınarak bulunabilir. Buna göre hız katsayısı için

$$k_u = \frac{\pi \cdot Dn_s}{60\sqrt{2.g}} \cdot \frac{\pi \cdot Dn_s}{60 \cdot 4{,}43} = 0{,}01185\, n_s \cdot D$$

bulunur. n_s, N_c, U ve n için daha önce verilen ifadelerin özgül hız ifadesinde yerine konulmasıyla

$$n_s = \frac{60 \cdot k_u \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}}{\pi \cdot D \cdot H_o^{5/4}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot Q\, H_o}{75}} \cdot \eta_g \qquad [6.40]$$

elde edilir. Bu ifadede k_u, D çapına karşı gelen hız katsayısıdır. D çapı için genellikle türbinin D_1 giriş çapı veya D_2 çıkış çapı alınabilir. Seçilen D çapından geçebilecek maksimum debi teorik olarak

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}$$

değerindedir.

Türbinden geçecek olan hakiki debi ise Q değerindedir.

Türbin debi katsayısı Ø

$$\text{Ø} = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}} \qquad [6.41]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

veya buradan Q debisi için

$$Q = \varnothing . \frac{\pi . D^2}{4} . \sqrt{2 . g . H_o}$$

yazılabilir. Türbin debi katsayısı, gerçek debinin teorik olarak maksimum debiye olan orandır. n_s özgül hız değeri debi katsayısının kullanılmasıyla

$$n_s = \frac{60 . \sqrt{2 . g . H_o}}{\pi . H_o^{5/4}} . \frac{k_u}{D} . \sqrt{\frac{\gamma . \pi . D^2}{4.75} . \sqrt{2 . g . H_o} . H_o . n_g . \varnothing} \qquad |6.42|$$

ve gereken kısaltmaların yapılmasıyla

$$n_s = 577 . k_u . \sqrt{n_g} . \sqrt{\varnothing} \qquad |6.43|$$

olarak bulunur. Burada k_u hız katsayısı ile Ø debisi katsayısı için aynı D çapı gözönüne alınmıştır.

Difüzör (yayıcı) reaksiyon türbinlerinde, türbin çarkı ile boşaltma kanalı arasındaki bağlantıyı sağlar, türbin çarkından çıkan suyu boşaltma kanalına sevkeder ve türbin çarkının çıkışında atmosfer basıncının altında düşük bir basınç temin eder. Yayıcıda sürtünme nedeniyle bir yük kaybı oluşur. Yayıcıdaki basınçlar gözönüne alındığında çark çıkışında en düşük basıncın olduğu ve yayıcı boyunca bu basıncın artarak yayıcı çıkışında en yüksek değeri aldığı ve boşaltma kanalı serbest su yüzeyinde de atmosfer basıncına eşit olduğu görülür. Çalışma prensibi ise türbin çarkından çıkan suyun hızını azaltmak ve basıncını yükseltmek için kesitin genişlemesi şeklindedir. Türbin çıkışında yer alan yayıcılar düz ve dirsekli yayıcılar olmak üzere iki tiptir. Küçük özgül hıza sahip Francis türbinlerinde düz yayıcılar kullanılır. Düz yayıcılarda yayıcı yüksekliği ile, yayıcı boyu birbirine çok yakın olduğundan, uzun bir yayıcı boyu gerektiğinde boşaltma kanalının derinleştirilmesi tesis maliyetini arttırır. Bu nedenle yayıcı yüksekliğinin sonunda bir dirsekle suyun akış yönü değiştirilir ve bir dirsekli yayıcı kullanılır. Yatay eksenli reaksiyon türbinlerinde de dirsekli yayıcılar kullanılır. Yayıcı boyunun uzun

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

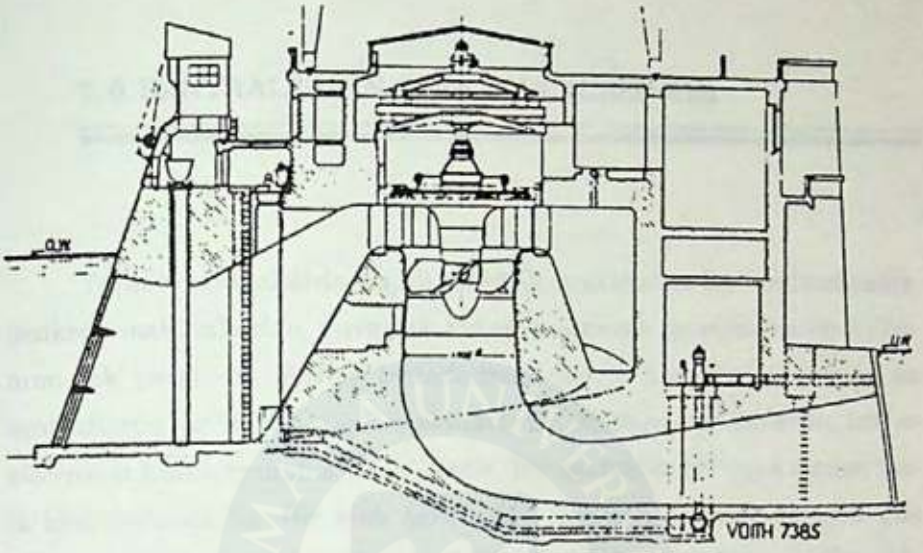
olması gereken yüksek özgül hızlı Francis ve Kaplan tipi türbinlerde büyük boyutlara ihtiyaç duyulduğunda suyun dirsekten akışını düzenlemek için dirseklerde sabit sevk kanatları kullanılır.

6.5.5 Kaplan Türbinleri

Özgül hız değeri n_s = 450 d/d'dan büyük değerleri için Kaplan tipi türbinler kullanılır. Alçak düşülerde debi yeterince büyük olduğundan Kaplan türbinlerinin güçleri de büyük yapılabilmektedir. Yükün azalıp çoğalmasına karşı çabuk uyum sağlayan Kaplan türbinlerinde verim de yüksektir. Debi ve düşü bakımından geniş bir kullanım alanı olan bu türbinler, 50 m kadar olan düşülerde bile kullanılabilmektedir. Kaplan türbinleri genellikle düşey eksenlidir. Net düşü değerinin küçük olması bütün çark çevresine eşit bir hız ve basınç dağılışı sağlanmasıyla ilgili zorunluk, özellikle böyle debilerde düşey eksenli tipleri zorunlu hale getirmektedir. Yayıcı yüksekliğinin küçük ve yayıcı uzunluğunun fazla olması nedeniyle tüm düşey milli Kaplan türbinlerinde dirsekli yayıcı kullanılır. Şekil 6.11'de bir Kaplan türbini verilmiştir. Kaplan türbinlerinin kanatları genellikle sabit değildir. Değişen yük durumuna göre otomatik olarak ayarlanmak suretiyle en ekonomik işleme durumu temin edilir. Ancak kanatları sabit olan Kaplan türbinleri sadece sabit yüklerde kullanılabileceğinden ayarlanmaları söz konusu değildir.

Francis türbinlerinin özgül hız artışına uygun olarak gelişerek türbin çarkının taban çemberinin ortadan kalkmasıyla da uskurlu türbinler oluşmuştur. Uskurlu türbinlerde çark kanatları sadece dip taraftan türbin gövdesine bağlıdır ve sabittirler. Uskurlu türbinlerde bu kanatlar pala adını alır. Kaplan Türbinlerinde ise türbin mili içinden çark gövdesine bağlanan bir kumanda tertibatı yardımıyla, mil eksenine dik bir eksen etrafında dışarıdan kumandayla döndürülebilen kanatlar vardır. Bir hidrolik santralda birkaç grup (türbin - generatör) kullanılacağı zaman, bunlardan bir tanesinin Kaplan tipi, diğerlerinin de uskur tipi yapılmasında oldukça yarar vardır. Yük değişiklikleri Kaplan türbini ile devamlı olarak karşılanır ve güç farkı bir ünite gücünü geçtiğinde ise uskurlu

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.11 - Kaplan Türbini

türbinlerden birisi paralel olarak devreye sokulur veya çıkarılır. Böylece bütün türbinlerin sabit güçte çalışması ve yük değişikliklerinin de bir Kaplan türbini ile karşılanması sağlanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ



MARMARA
ÜNİVERSİTESİ

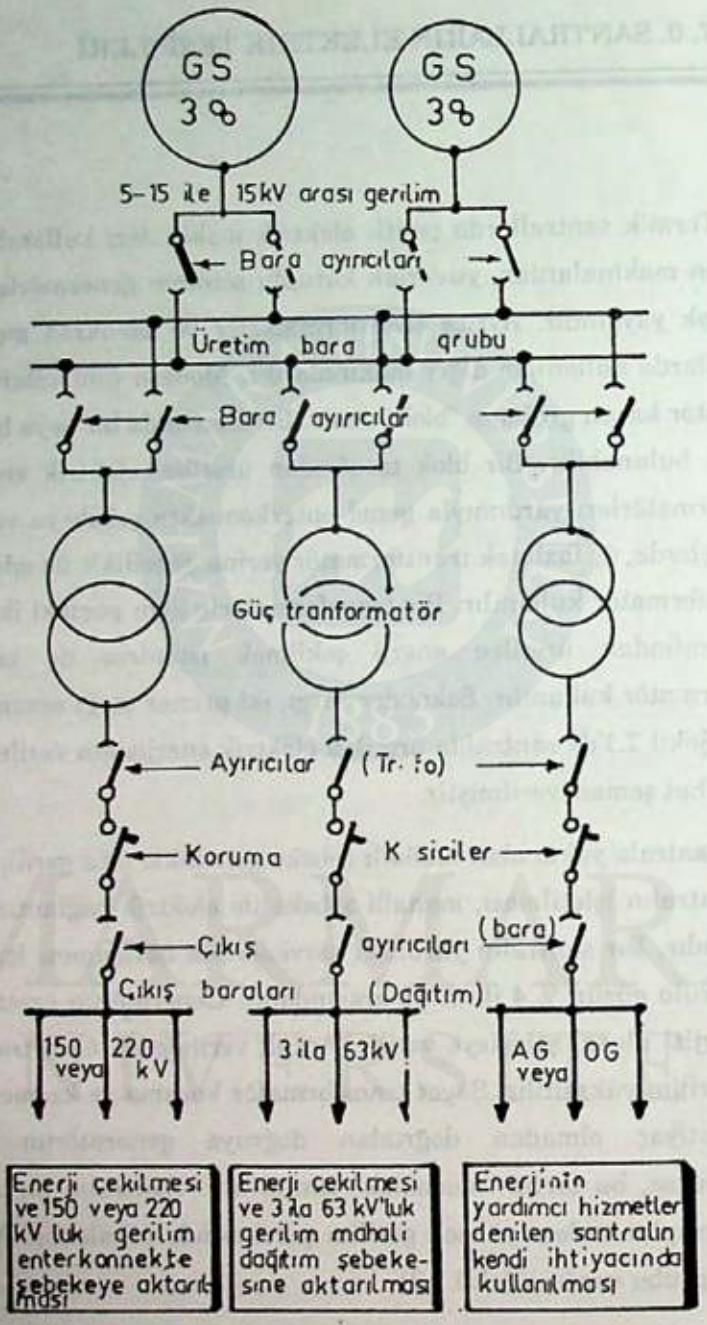
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

7. 0. SANTRALLARIN ELEKTRİK TESİSLERİ

Termik santrallarda çeşitli elektrik makinaları kullanılmaktadır. Senkron makinalardan, yuvarlak kutuplu senkron generatörlerin kullanımı çok yaygındır. Ayrıca transformatörler ve asenkron motorlar da santrallarda kullanılan diğer makinalardır. Modern santrallarda, turbo-alternatör kazan grubuna "blok" denir. Bir santralda bir veya birden fazla blok bulunabilir. Bir blok tarafından üretilen elektrik enerjisi güç transformatörleri yardımıyla genel enterkonnekte şebekeye verilir. Büyük güçlerde, üç fazlı tek transformatör yerine genellikle üç adet tek fazlı transformatör kullanılır. Bir transformatörle aynı güçteki iki alternatör tarafından üretilen enerji çekilmek istenirse üç sargılı bir transformatör kullanılır. Sekonder sargı, iki primer sargı arasına yerleştirilir. Şekil 7.1'de santralda üretilen elektrik enerjisinin verilmesiyle ilgili tek hat şeması verilmiştir.

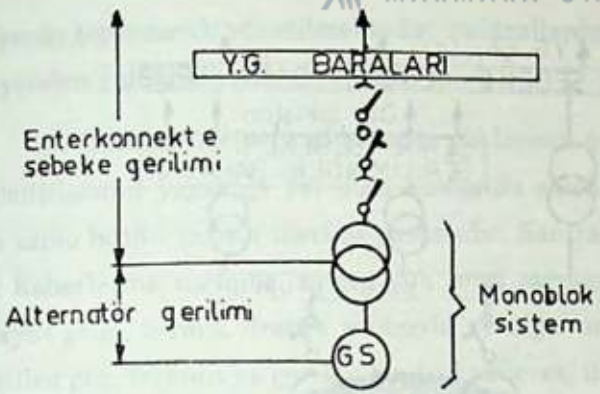
Santrala yakın olan mahalli şebeke genellikle orta gerilimle beslenir. Santralın işletilmesi, mahalli şebeke ile elektrik bağlantısı kurularak yapılır. Bir santralın yardımcı servislerinin beslenmesi için gerekli güç, kurulu gücün % 4 ile % 8'i arasındadır. Generatörün ürettiği elektrik enerjisi ulusal şebekeye verilir. Ancak verilmeden önce transformatörle gerilim yükseltilir. Şayet transformatör koruma ve kesme düzenlerine ihtiyaç olmadan doğrudan doğruya generatörün uçlarına bağlanmışsa, bu tertip "monoblok" ismini alır. Santralın birkaç grubu varsa, gruplar sadece yüksek gerilim şebekesinde paraleldir. Ayrıca bir de bara grubu vardır. (Şekil 7.2)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



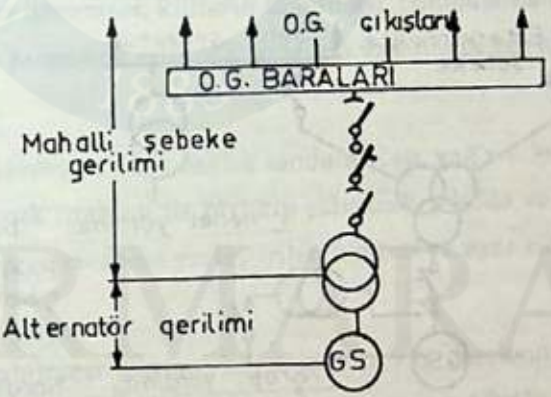
Şekil 7.1 - Üretilen enerjinin verilmesi ile ilgili tek kutup şeması

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.2 - Monoblok sistem şeması

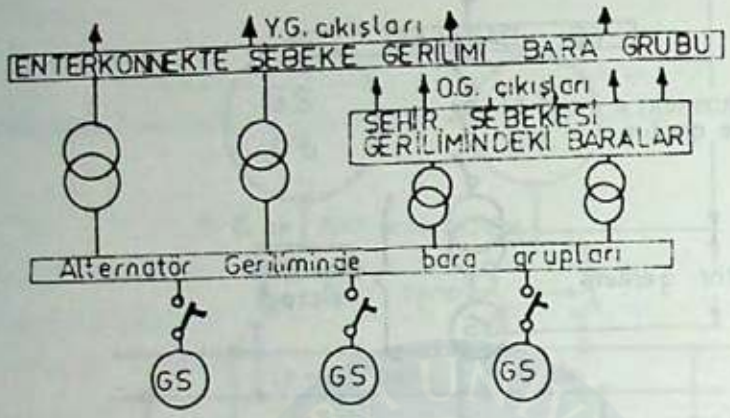
Generatörün verdiği elektrik enerjisi orta gerilimli şehir şebekesine aktarıldığı zaman, transformatör şehir şebeke gerilimini generatör gerilimine eşit kılar. Santralın birkaç grubu mevcutsa paralele sokma işi baralar üzerinde olur. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 - Enerjinin şehir şebekesine aktarılması

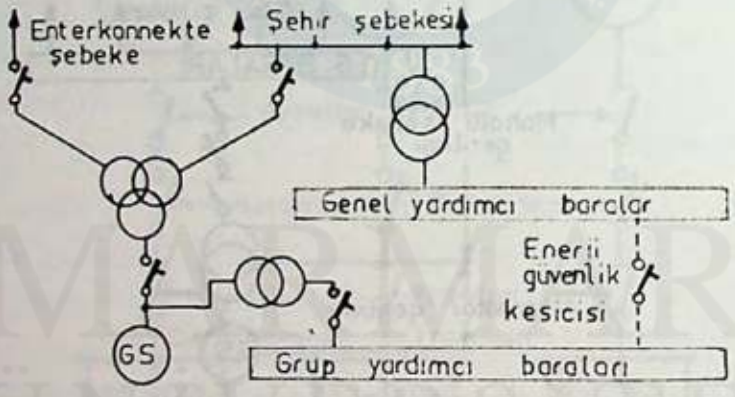
Elektrik enerjisi akımı enterkonnekte şehir şebekesine aktaran birkaç grup tarafından verilmişse, aynı grupla yüksek gerilim ve orta gerilim transformatörlerini fark gözetmeden beslemek için alternatörlerden sonra araya bara konularak işletme kolaylaştırılır. (Şekil 7.4)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.4 - Ara baralı sistem

Bu prensip şemalar özel şartlar, iş güvenliği veya işletme ihtiyaçları dikkate alınarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Örneğin transformatörün primerinin alternatörle beslendiği sekonderinin enterkonnekte şebe



Şekil 7.5 - Üç sargılı transformatörle yapılan tertip

keyi beslediği ve tersiyerin de şehir şebekesini beslediği üç sargılı transformatörle Şekil 7.5' deki tertip yapılabilir. Genel yardımcılarını servise koymada besleme işini üzerine alır. Bu durum, alternatörün uçlarına doğrudan doğruya bağlanmış olan transformatörle gerçekleştirilir. Bir santralın kumanda ve kontrolü, yapısına göre bir veya birkaç yerden yapılabilir. Modern santrallarda kumanda, kontrol ve alarm donanımları

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

bir yerde toplanarak yönetilmektedir. Santrallarda kumanda ve kontrol beş yönden yapılır. Bunlar sırasıyla;

1) Alternatörler veya alternatör yüklerinin ayarlandığı ve elektrik bağlantılarının yapıldığı yer olan kumanda salonları ve ana tablodur. Ana tablo bütün tesisin merkez postasıdır. Santral elemanları ile buradan haberleşme sağlanır, ayrıca yük tevzi merkeziyleirtibat halindedir ve aynı grup, termik üretim grubuyla ve diğer santrallarla haberleşir. Üretilen güç, frekans ve gerilim kontrol edilerek, üretilen elektrik enerjisine yol verilir.

2) Kumanda, grubun kontrol ve ayarı, kazan bloku, yakıt, hava, türbin, su v.s. nin kumanda edildiği kontrol odası.

3) Santral yardımcılarının kumanda yeri olan genel yardımcılar tablosu ki, bu tablo genellikle kumanda odasındadır.

4) Brüt kömürün işlenmesi, küllerin taşınması, pompalama stasyonu v.s. gibi kontrol ve kumanda edilecek sistemin yakınında yer alan sekonder tablolar.

5) Manometre, termometre, sıcaklık sondaları, su, yağ v.s. seviyeleri gibi kumanda edilecek makina ile birlikte çalışacak şekilde ve doğrudan doğruya makina veya civarına yerleştirilen kontrol ve ayar cihazlarıdır.

Santralın çalışabilmesi için su, hava, kömür v.b. gereksinim vardır. Elektrik enerjisi ile beslenen pompalar, değirmen, vantilatör, kaldırma aygıtları v.s. santralın genel yardımcılarıdır. Genel yardımcılar dört şekilde beslenebilir. Sırasıyla;

1) Bloklardan ayrı ve özel yardımcı turbo alternatör grubuyla,
2) Blok milinin ucuna tesbit edilen özel alternatörlerle,
3) Beslenmesi komşu elektrik şebekesine bağlanmakla,
4) Blok alternatörleriyle

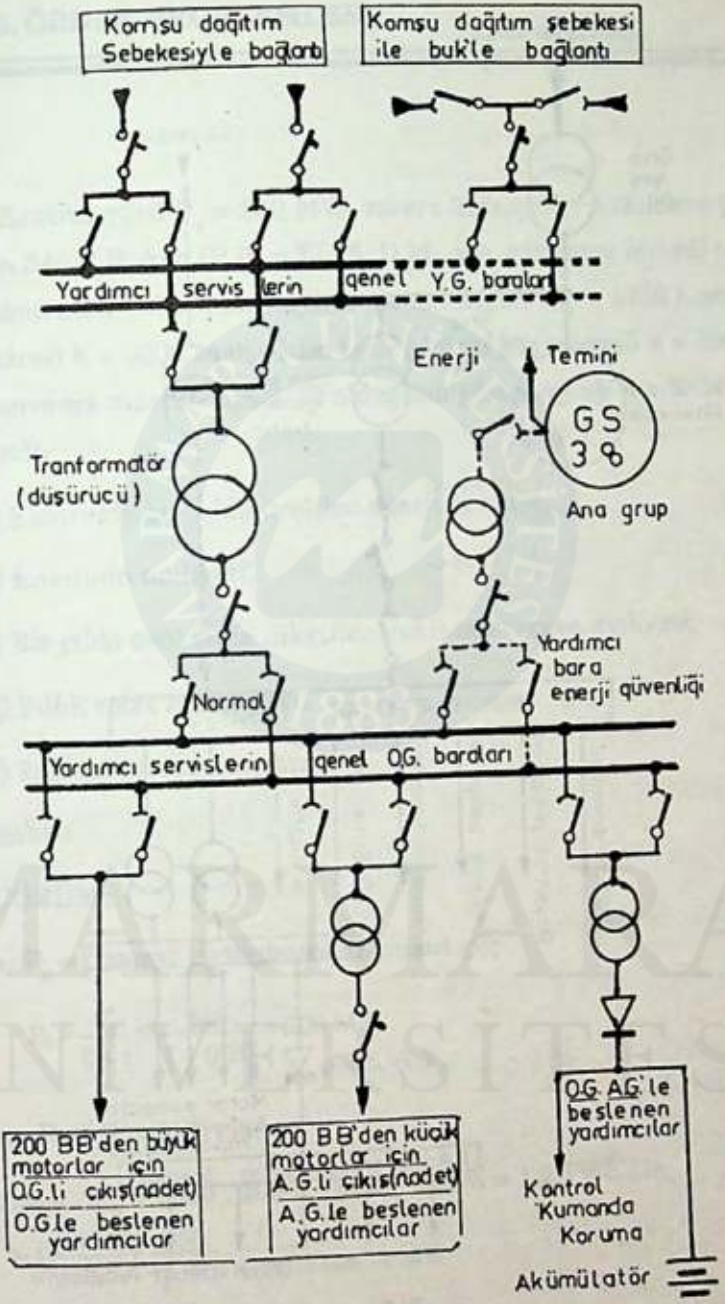
olur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Genel yardımcılar, santralın toplam gücünün % 3 ile % 6'sı arasında bir güce ihtiyaç duyarlar. Gerilim kademeleri 200 HP'den büyük motorlarda 2 - 5 kV arasında, 200 HP'den küçük olan motorlarda 380 V alternatif gerilim ve iş güvenliği, kontrol için de 220 V'luk doğru gerilimdir. Bu yardımcılar, bara ve kablolarla gücünü çeşitli cihazlara dağıtan gerilim düşürücü transformatörlerle beslenir. Bir veya birkaç gerilim düşürücü transformatör güçlerini baralar aracılığı ile çeşitli çıkışlara dağıtır. Bir veya daha fazla transformatör tarafından şarj eden doğrultmaç grupları beslenir. Şekil 7.6'da termik santralların genel yardımcı servislerine ait tek hat şeması verilmiştir.

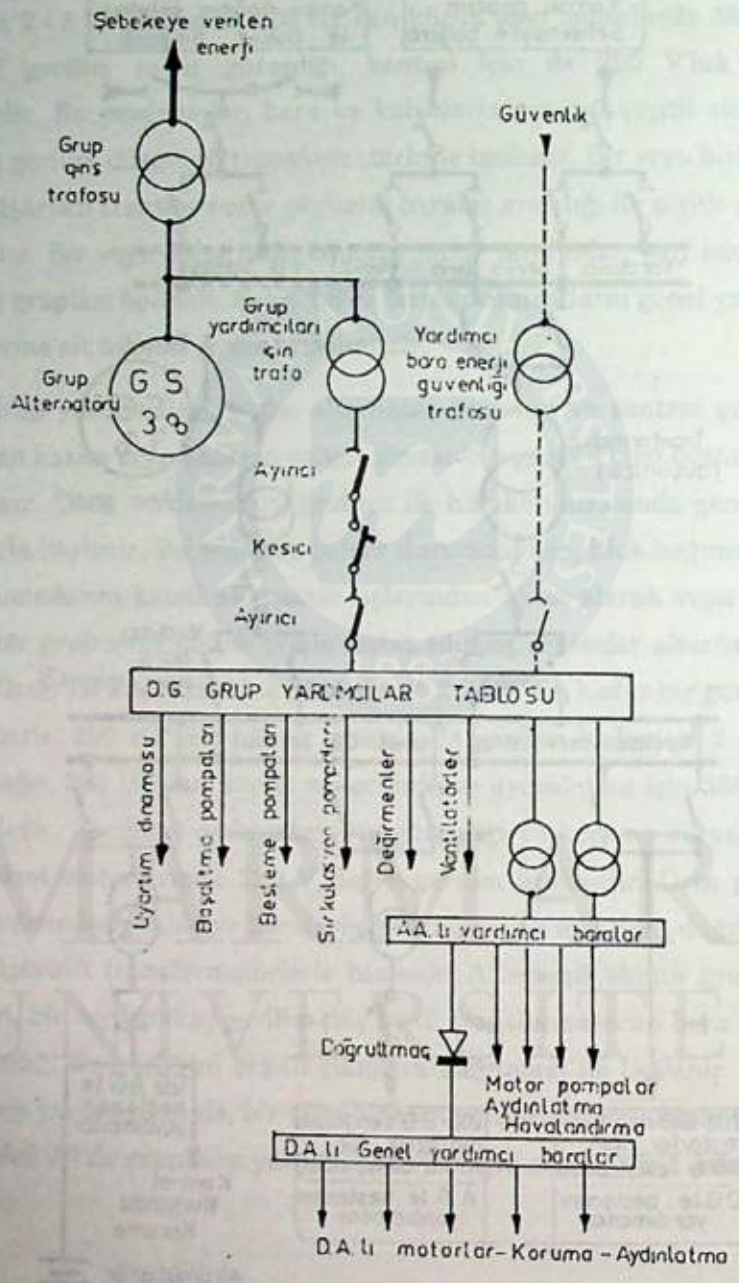
Grup yardımcıları, turbo alternatör grubunu ve santral grubunu oluşturan kazan veya kazanın çalıştırılması için gerekli olan bütün aksamı kapsar. Grup yardımcıları, grubun ilk hareketi sırasında genel yardımcılarla beslenir. Bu sonuncu çalışır durumdayken, blok bağımsızlaşır ve yardımcılarını kendi alternatör uçlarından akım alarak veya turbo-alternatör grubunun miline pimle tesbit edilmiş sekonder alternatör ile besler. Grup yardımcıları blok gücünün % 2 ile % 4'ü kadar bir güce ihtiyaç gösterir. 200 HP'den büyük motorlarda gerilim kademesi 2 - 5 kV arasındadır. 200 HP'den küçük motorlarda ve aydınlatma için 380 V gerilimindedir. Yardımcı aydınlatma, iş güvenliği ve koruma cihazları ile doğru akım motorlarında 220 V doğru gerilim kullanılır. Orta gerilim grup yardımcıları, kablo ve baralarla gücünü çeşitli aygıtlara dağıtan gerilim düşürücü transformatörlerle beslenir. Alternatif akımlı grup yardımcıları, bir veya birkaç gerilim düşürücü transformatörün bara takımları aracılığı ile güçlerini çeşitli çıkışlara dağıtması ile beslenir. Doğru akım grup yardımcıları da, bir veya birkaç transformatör yardımı ile beslenir. Şekil 7.7'de grupların yardımcı servislerine ait tek - hat şeması verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.6 - Genel yardımcı servisler tek kutup şeması

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.7 - Grupların yardımcı servisleri ile ilgili tek kutup şeması

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

8. 0. ÖRNEK PROBLEMLER

1. Santral gücü P_s = 240 MW, rezerv katsayısı r = % 20 ve yakıtın fiyatı fy = 340 P.B. /ton (P.B. = TL, $, D.M., v.b. gibi para birimi) olan bir termik santralda kullanılan linyitin alt ısıl değeri H_u = 4300 kcal/kg'dır. İşleme süresi h = 6000 saat, birim tesis kurulu güç masrafı a = 3000 P.B. /kW ve sermaye masrafı p = % 12 olduğuna göre verimin η = % 34 olması durumunda

a) Santralda bir yılda üretilen enerji miktarı,

b) Enerjinin maliyeti,

c) Bir yılda santralda tüketilen yakıt miktarı ve maliyeti,

d) Yıllık sabit masrafları,

e) Toplam sermaye masrafı

bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

a) $P_s = (1 + r) . P_p$ ifadesinden puant güç

$$P_p = \frac{P_s}{1+r} = \frac{240}{1+0,20} = 200 \text{ MW}$$

bulunur. Enerji miktarı ise

$$A = h . P_p = 6000 . 200 = 12 . 10^5 \text{ MWh} = 1,2 \text{ TWh'dir.}$$

b) $$f = \frac{a . p}{h} + \frac{860}{\eta . H_u} . \frac{f_y}{1000}$$

$$= \frac{3000 . 0,12}{6000} + \frac{860}{0,34 . 4300} . \frac{340}{1000}$$

$$= 0,26 \text{ \$/kWh}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

c) Bir yılda üretilen enerji A = 1,2 TWh idi. Giriş enerjisi ise

$$\frac{1,2}{\eta} = \frac{1,2}{0,34} = 3,53 \text{ TWh'dir.}$$

$$3,53 \cdot 10^{12} \text{ Wh} = 3,53 \cdot (3600)^{-1} \cdot 10^{12} \text{ Ws (j)}$$

$$= 12708 \cdot 10^{12} \text{ j}$$

1 cal = 0,24 j olduğuna göre

4300 kcal/kg = $10^3 \cdot 1032$ j/kg olur.

Yani yakıtın bir kilogramlık kütlesi yandığı zaman 1032 j'lük ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. $12708 \cdot 10^{12}$ j'lük enerji oluşturmak için bir yılda toplam olarak

$$\frac{12708 \cdot 10^{12} \text{ (j)}}{1032 \cdot 10^3 \text{ (j/kg)}} = 12,3 \cdot 10^9 \text{ kg yakıt gerekir.}$$

Bunun maliyeti ise

$0,34 \cdot 12,3 \cdot 10^9 = 4,188 \cdot 10^9$ $ dır.

d) $3000 \cdot 0,12 \cdot 200 \cdot 10^3 = 72 \cdot 10^6$ $ yıllık sabit masraflardır.

e) $S = a \cdot P_s = 3000 \cdot 240 \cdot 10^3$

$= 720 \cdot 10^6$ $

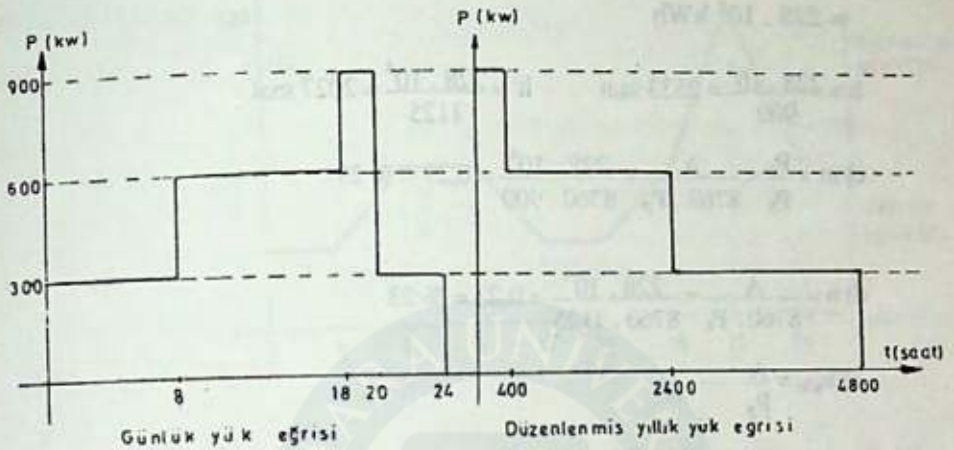
Santralın ömrü 20 yıl alınırsa, her yıl ayrılması gereken meblağ

$$\frac{720 \cdot 10^6}{20} = 36 \cdot 10^6 \text{ \$ olur.}$$

Bunun toplam sermaye masrafına oranı ise amortismandır.

$$p = \frac{36 \cdot 10^6}{720 \cdot 10^6} = 0,05 = \% 5 \text{ bulunur.}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



2- Şekilde bir termik santrala ait günlük yük eğrisi ve düzenlenmiş yıllık yük eğrisi verilmiştir. Rezerv katsayısı r = % 25 olduğuna göre

a) Kurulu santral gücü,

b) İşletme süresi,

c) Yükleme katsayısı,

d) Faydalanma katsayısı,

e) Günlük yük eğrisine göre işletme süresi,

f) Ortalama gücü,

g) Yük değiştirme oranı,

h) Günlük yük eğrisine göre yükleme katsayısı

bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

a) $P_s = (1 + r) \cdot P_p = (1 + 0{,}25) \cdot 900 = 1125$ kW

b) $h = \frac{A}{P_p}$ veya $h' = \frac{A}{P_s}$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$A = 400 \cdot 900 + 2000 \cdot 600 + 2400 \cdot 300$

$= 228 \cdot 10^4$ kWh

$h = \frac{228 \cdot 10^4}{900} = 2533$ saat $\qquad h' = \frac{228 \cdot 10^4}{1125} = 2027$ saat

c) $m = \frac{P_o}{P_p} = \frac{A}{8760 \cdot P_p} = \frac{228 \cdot 10^4}{8760 \cdot 900} = 0,29 = \%\ 29$

d) $n = \frac{A}{8760 \cdot P_s} = \frac{228 \cdot 10^4}{8760 \cdot 1125} = 0,23 = \%\ 23$

e) $h_{gün} = \frac{A}{P_p}$

$A = 8.300 + 10.600 + 2.900 + 4.300$

$= 11400$ kWh

$h_{gün} = \frac{11400}{900} = 12,67$ saat

f) $P_o = \frac{A}{24} = \frac{11400}{24} = 475$ kW

g) $V = \frac{P_{min}}{P} = \frac{300}{900} = 0,33$

h) $m = \frac{A}{A_{max}} = \frac{11400}{21600} = 0,527$

$A_{max} = 900 \cdot 24 = 21600$ kWh

veya

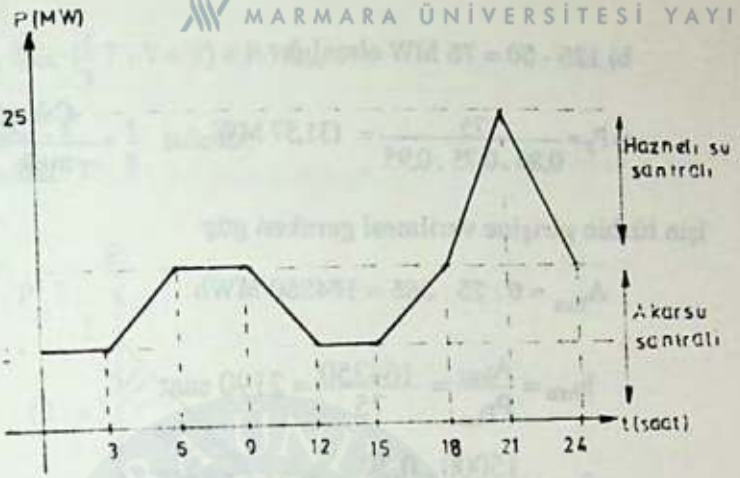
$m = \frac{P_o}{P_p} = \frac{475}{900} = 0,527$

$m = \frac{h_g}{24} = \frac{12,67}{24} = 0,527$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3-



Tertiplenmiş günlük eğrisi verilen iki santraldan Hazneli pompalı güç santralı, puant güç santralı olarak kullanılmakta olup, a = 15000 $/kW ve p = % 30'dur. Akarsu santralının gücü 50 MW, a = 14235 $/kW ve p = % 30'dur.

a) Yalnız başına çalışan su santralında enerjinin maliyeti,

b) Hazneli santralın gücü,

c) Hazneli su santralında $\eta_{türbin}$ = % 80, η_{pompa} = % 75, η_{mak} = % 95 olduğuna göre enerjinin maliyeti,

d) Her iki santralın birlikte çalışması halinde ortalama enerji maliyeti

bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

a) $A_{su} = (25 \cdot 24 + \frac{3 \cdot 25}{2} + 3 \cdot 25 + \frac{3 \cdot 25}{2} + 9 \cdot 25) \cdot 365$

$= 355875$ MWh (50 MW puant güçle çalıştığı süre)

$h_{su} = \frac{A_{su}}{P_{psu}} = \frac{355875}{50} = 7117{,}5$ saat

$f_{su} = \frac{a_{su} \cdot P_{su}}{h_{su}} = \frac{14235 \cdot 0{,}30}{7117{,}5} = 0{,}6$ $/kWh

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

b) 125 - 50 = 75 MW olmalıdır.

c) $P_P = \frac{75}{0{,}80 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}95} = 131{,}57$ MW

Çıkışta 75 MW alabilmek için türbin girişine verilmesi gereken güç

$$A_{hsu} = 6 \cdot 75 \cdot 365 = 164250 \text{ MWh}$$

$$h_{hsu} = \frac{A_{hsu}}{P_{P_{hsu}}} = \frac{164250}{75} = 2190 \text{ saat}$$

$$f_{hsu} = \frac{15000 \cdot 0{,}30}{2190} = 2{,}054 \text{ \$/kWh}$$

d) $$f_{ort} = \frac{A_{su} \cdot f_{su} + A_{hsu} \cdot f_{hsu}}{A_{su} + A_{hsu}}$$

$$= \frac{355875 \cdot 0{,}6 + 164250 \cdot 2{,}054}{355875 + 164250} = 0{,}475 \text{ \$ / kwh}$$

Su santrallarında, türbin, kanat, generatör v.s. elemanların verimleri η_{top} verimi üzerine etki yapmaz. Çünkü, yakıt maliyeti sıfırdır.

4- $i(t) = I_{max} \left(-\frac{t}{T} + 1\right)$ olarak verildiğine göre kayıp derecesi bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

$$i(t) = I_{max} \left(-\frac{t}{T} + 1\right)$$

$$i^2(t) = I_{max}^2 \left(-\frac{t}{T} + 1\right)^2$$

$$\theta = \frac{A_{max}}{A_{x\,max}} \qquad A_x = 3 \cdot R \cdot \int_o^T i^2(t) \cdot dt$$

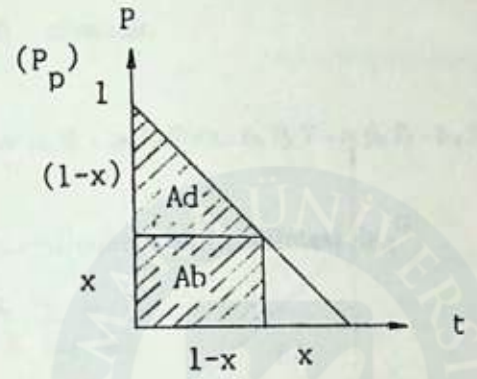
$$A_x = 3 \cdot R \cdot \int_o^T i^2(t) \cdot dt = 3 \cdot R \cdot \int_o^T I_{max}^2 \left[\left(-\frac{1}{T}\right)^2 - \frac{2 \cdot t}{T} + 1 \right] dt$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$= 3 . R . I_{max}^2 \left(\frac{1}{3} T - T + T\right) = R . I_{max}^2 T$$

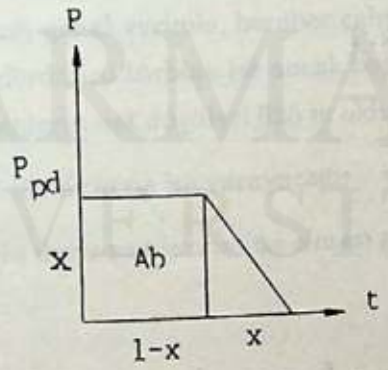
$$\theta = \frac{R . I_{max}^2 . T}{3 . R . I_{max}^2 . T} = \frac{1}{3} \text{ bulunur.}$$

5-



Düzenlenmiş yük eğrisi şekildeki gibi olan diesel ve buhar santrallarında P_p puant gücü, hangi oranda bölünürse enerjinin ortalama maliyetinin minimum olduğu bulunacaktır.

ÇÖZÜM:



Buhar santralı için

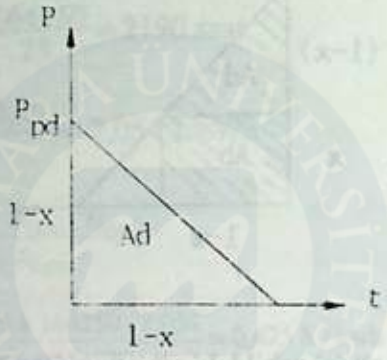
$$f_b = \frac{a_b . P_b}{h_b} + b_b$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$A_b = \left[x \cdot (1 - x) + \frac{x^2}{2} \right] \cdot P_p \cdot T$$

$$A_b = x \cdot \left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot P_p \cdot T$$

$$h_b = \frac{A_b}{P_{Pb}} = \frac{A_b}{x \cdot P_p}$$



Diesel santralı için $f_d = \frac{a_d \cdot P_d}{h_d} + b_d$

$$A_d = \frac{1}{2} \cdot \left[(1 - x) \cdot (1 - x) \right] \cdot P_p \cdot T$$

$$A_d = \frac{1}{2} \cdot (1 - x)^2 \cdot P_p \cdot T$$

$$h_d = \frac{A_d}{P_{Pd}} = \frac{A_d}{(1 - x) \cdot P_p}$$

$$f_o = \frac{A_b \cdot f_b + A_d \cdot f_d}{A_b + A_d}$$

$$= \frac{x \cdot \left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot P_p \cdot T \cdot \left[\frac{a_b \cdot P_b}{h_b} + b_b \right] + \frac{1}{2} \cdot (1 - x)^2 \cdot P_p \cdot T \cdot \left[\frac{a_d \cdot P_d}{h_d} + b_d \right]}{x \cdot \left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot P_p + \frac{1}{2} \cdot (1 - x)^2 \cdot P_p}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$= \frac{a_b\, p_b\, P_p\, x + x\,.\,(1 - \frac{x}{2})\, b_b\, P_p\, T + a_d\, p_d\, P_p\,(1 - x) + \frac{1}{2}(1 - x)^2\, b_d\, P_p\, T}{P_p / 2}$$

Enerjinin maliyetinin minimum olması için

$$\frac{\delta\,.\,f_o}{\delta\,.\,x} = 0 \quad \text{olmalıdır.}$$

$$\frac{\delta\,.\,f_o}{\delta\,.\,x} = a_b\, p_b\, P_p + b_b\, P_p\, T - x\,.\,b_b\, P_p\, T - a_d\, p_d\, P_p - b_d\, P_p\,.\,T + x\,.\,b_d\, P_p\, T$$

ve bunun sıfıra eşitlenerek x'in çekilmesi ile

$$x = 1 - \frac{a_b\,.\,P_b - a_d\,.\,P_d}{T\,.\,(b_d - b_b)}$$

bulunur. Bu bulunan değer

$$x = 1 - \frac{h_o}{T} \quad \text{olarak da yazılabilir.}$$

6- 50 Hz frekanslı Alternatif Akım üreten bir hidroelektrik santralda dört turbo-alternatör grubu bulunmaktadır. Su türbininden üç tanesi 0,90 olan maksimum genel verimle, beraber çalışırken toplam olarak 12 m^3/s su çekmekte dördüncü türbine ise ancak boşta dönebilecek kadar su kalmaktadır. Türbinlerin net düşüleri 625 m olduğuna göre:

a) Dördüncü türbinin ne işe yarayacağı,

b) Türbinlerin devir sayılarının ne olması gerektiği

bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

a) Dördüncü türbin yedektir.

b) Bir türbinin efektif gücü

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$N_e = \frac{10^3 \cdot 4 \cdot 625}{75} \cdot 0{,}90 = 30000 \text{ BG}$$

düşünün değeri gözönüne alınırsa türbinlerin Pelton tipi olduğu anlaşılmaktadır.

Türbinler tek püskürtücülü ise;

$$n_s = \frac{n}{H_o} \cdot \sqrt{\frac{N_e}{\sqrt{H_o}}} = \frac{n}{625} \cdot \sqrt{\frac{30000}{\sqrt{625}}} \leq 30 \text{ d/d}$$

veya $n \leq 541{,}5$ d/d olmalıdır. Bu şarta uygun en yüksek senkron devir 500 d/d'dır. İki püskürtücülü türbin kullanılırsa

$n \leq 541{,}5 \cdot \sqrt{2}$ veya

$n \leq 776$ d/d ve senkron devir olarak 750 d/d alınabilir.

7- Bir hidroelektrik santralında dakikada 1000 devirle çalışan yatay eksenli bir su türbini 1,05 m^3/s debi ile milinden 986 BG güç vermektedir. Türbine giriş kesitindeki madeni manometrede okunan basınç 7,4 kg/cm^2 ve 55 cm çapındaki bu kesitin yatay ekseninin boşaltma kanalından yüksekliği 6 m, boşaltma kanalında suyun ortalama akış hızı 70 cm/s'dir. Türbinin kritik kavitasyon faktörü 0,045 ve atmosfer basıncı 10 m SS, suyun buharlaşma basıncı 0,25 m SS dur.

a) Türbinin net düşüşü,

b) Türbinin genel verimi,

c) Türbinin tipi,

d) Çalışma noktasında kavitasyon tehlikesi olup olmadığı

bulunacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ÇÖZÜM

a) Net düşünün tanımından

$$H_o = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2.g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2.g}\right)$$

$$= 81 \text{ m}$$

b) $$N_e = \frac{\gamma . Q . H_o}{75} . \eta_g$$

$$= \frac{10^3 . 1{,}05 . 81}{75} . \eta_g = 986$$

$$\eta_g \equiv 0{,}87$$

c) $$n_s = \frac{n}{H_o} . \sqrt{\frac{N_e}{\sqrt{H_o}}} = \frac{1000}{81} . \sqrt{\frac{986}{\sqrt{81}}} = 129{,}2 \text{ d/d}$$

Francis türbin tipi.

d) $$\sigma = \frac{H_{at} - H_b - H_s}{H_o} = \frac{10 - 6 - 0{,}25}{81} = 0{,}046$$

$\sigma > \sigma_{kr} = 0{,}045$ olduğu için türbin kavitasyonsuz, ama ona çok yakın çalışıyor demektir.

8- Bir Pelton türbini 125 m net düşüde 200 d/d ile dönerek 0,85 genel verimli milinden 4500 kW güç vermektedir. Püskürtücüden çıkışta hız katsayısı 0,98 ve türbine girişte teğetsel hız katsayısı 0,46 dır.

a) Türbin debisi,

b) Çarkın D_o çapı

bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

a) $N_e = \frac{\gamma . Q . H_o}{75} . \eta_g$

$$Q = \frac{75 . 4500 . 1,36}{1000 . 125 . 0,85} = 4,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) $u = k_u . \sqrt{2 . g . H_o} = \frac{\pi . D_o . n}{60}$ dan

$$D_o = \frac{60 . 0,46 . \sqrt{2 . 9,81 . 1,25}}{\pi . 200} = 2,175 \text{ m}$$

bulunur.

9- Tek püskürtücülü bir Pelton Türbini 10000 kW gücünde 50 Hz frekanslı akım üretecek bir alternatör çalıştıracaktır. Alternatörün verimi 0,95, türbin net düşüşü 750 m, genel verimi 0,87 olduğuna göre türbinin Q debisi bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

Türbinin efektif gücü;

$$N_e = \frac{10000 . 1,36}{0,95} = 14315,8 \text{ BG}$$

$N_e = \frac{\gamma . Q . H_o}{75} . \eta_g$ den

$$14315,8 = \frac{10^3 . Q . 750}{75} . 0,87$$

ve $Q = 1,645 \text{ m}^3/\text{s}$ bulunur.

10- İki generatörlü bir santralın toplam çıkış gücü 315 MW değerindedir. Bu gücün en ekonomik şekilde nasıl paylaştırılması gerektiği bulunacaktır. A ve B generatörlerinin maliyet fonksiyonları

$$\lambda_A = \frac{d . M_A}{d . P_A} = 0,004 . P_A + 2,2 \text{ S/MWh}$$

$$\lambda_B = \frac{d . M_B}{d . P_B} = 0,007 . P_B + 2,0 \text{ S/MWh}$$

olarak verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ÇÖZÜM:

$\lambda_A = \lambda_B$, $P_A + P_B = P$ olmalıdır.

$0{,}004 \cdot PA + 2{,}2 = 0{,}007 \cdot (315 - PA) + 2{,}0$

Bu denklemin çözülmesinden

$P_A = 182$ MW

$P_B = 315 - 182 = 133$ MW

bulunur. λ_A ve λ_B ise

$\lambda_A = 0{,}004 \cdot 182 + 2{,}2 = 2{,}93$ $/MWh

$\lambda_B = 0{,}007 \cdot 133 + 2{,}0 = 2{,}53$ $/MWh

olur.

11-Bir santraldaki iki generatöre ait maliyet fonksiyonları

$$\frac{d \cdot M_1}{d \cdot P_1} = 0{,}020 \cdot P_1 + 4{,}4 \text{ \$/MWh}$$

$$\frac{d \cdot M_2}{d \cdot P_2} = 0{,}024 \cdot P_2 + 3{,}2 \text{ \$/MWh}$$

olarak verilmektedir. Her iki ünite aynı anda devreye girecek ve her birinin maksimum yükü 125 MW, minimum yükü ise 20 MW dır. Toplam çekilen yük 40 ile 250 MW arasında değişirken minimum yakıt masrafı olacak şekilde $\lambda = f(P)$ eğrisi çizilecektir.

ÇÖZÜM:

Düşük yükte ($P_{min} = 20$ MW) her iki generatör için λ değeri

$\lambda_1 = 0{,}020 \cdot 20 + 4{,}4 = 4{,}8$ $/MWh

$\lambda_2 = 0{,}024 \cdot 20 + 3{,}2 = 3{,}68$ $/MWh

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

olmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere düşük yükte G_1'in artan yakıt maliyeti daha büyüktür. λ_2 = 4,8 \$/MWh değerine ulaşıncaya kadar santralın yük artışına G_2 katkıda bulunmalı, bu arada, G_2 minimum kapasitede çalışmaya devam etmelidir. (G_1'in boşta çalışmadığı kabul ediliyor.)

$4,8 = \lambda_2 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$

$P_2 = 66,7$ MW

$P = 20 + 66,7 = 86,7$ MW

$\lambda = 5,2$ iken

$5,2 = 0,020 \cdot P_1 + 4,4$

$5,2 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$ den

$P_1 = 40$ MW $\quad P_2 = 83,3$ MW $\quad P = 123,3$ MW

$\lambda = 5,6$ iken

$5,6 = 0,020 \cdot P_1 + 4,4$

$5,6 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$ den

$P_1 = 60$ MW $\quad P_2 = 100$ MW $\quad P = 160$ MW

$\lambda = 6,0$ iken

$6,0 = 0,020 \cdot P_1 + 4,4$

$6,0 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$ den

$P_1 = 80$ MW $\quad P_2 = 116,7$ MW $\quad P = 196,7$ MW

$\lambda = 6,2$ iken

$6,2 = 0,020 \cdot P_1 + 4,4$

$6,2 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$ den

$P_1 = 90$ MW $\quad P_2 = 125$ MW $\quad P = 215$ MW

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

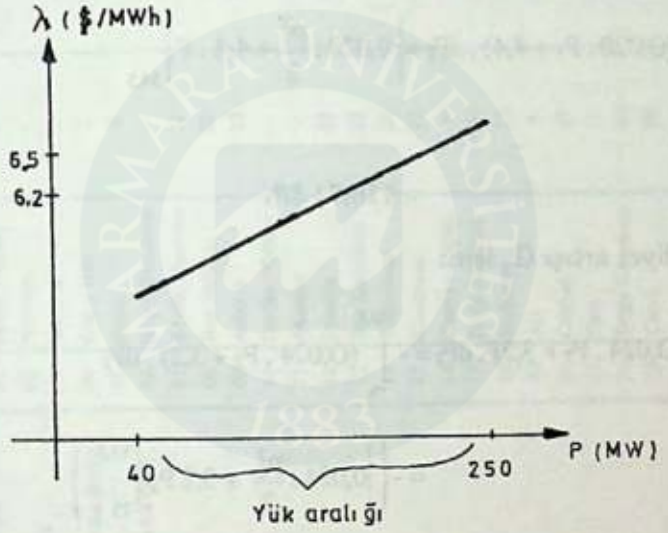
λ = 6,5 iken

$6,5 = 0,020 \cdot P_1 + 4,4$

$6,5 = 0,024 \cdot P_2 + 3,2$ den

$P_1 = 105$ MW $\quad P_2 = 137,53$ MW $\quad P = 242,5$ MW

$\lambda = \frac{4,8 + 3,68}{2} = 4,24$ $\quad P = 40$ MW



12- Problem - 11'de toplam yük 150 MW olduğunda yükün üniteler arasına eşit olarak dağıtılmasını ve ekonomi dikkate alınarak birimlere dağıtılmasını inceleyerek $/h olarak elde edilecek tasarruf bulunacaktır.

ÇÖZÜM:

$P = P_1 + P_2 = 150$ MW $\quad \lambda_1 = \lambda_2$ olmalıdır.

$P_2 = 150 - P_1$ olacağından

$0,020\ P_1 + 4,4 = 0,024\ (150 - P_1) + 3,2$

Bu denklemin çözümlenmesinden

$P_1 = 54,5$ MW bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$P_2 = 150 - 54,5 = 95,5$ MW olur.

Optimum çalışma için generatörler bu güçlerde yüklenmelidir. Eşit olarak toplam yükü pay etkilerinde ise herbirine $\frac{150}{2} = 75$MW düşecektir ki, 1. generatörün gücü 20,5 MW artarken 2. generatörünki 20,5 MW azalacaktır.

Maliyet artışı G_1 için:

$$\int_{54,5}^{75} (0,020 \cdot P_1 + 4,4) \cdot dP_1 = \left| 0,020 \cdot \frac{P_1^2}{2} + 4,4 \cdot P_1 \right|_{54,5}^{75}$$

$$= 116,74 \text{ \$/h}$$

Maliyet artışı G_2 için:

$$\int_{95,5}^{75} (0,024 \cdot P_2 + 3,2) \cdot dP_2 = - \int_{75}^{95,5} (0,024 \cdot P_2 + 3,2) \cdot dP_2$$

$$= - \left\{ \left| 0,024 \cdot \frac{P_2^2}{2} + 3,2 P_2 \right|_{75}^{95,5} \right\}$$

$= - 107,54$ \$/h olur.

(-) işaret maliyetteki azalışı göstermektedir.

Net tasarruf 116,74 - 107,54 = 9,2 \$/h bulunur.

TÜRKİYE (TURKEY)

TOPRAK KAYNAKLARI
Land Resources

Türkiye yüzölçüamü (izdüşüm alanı) The projected area of Turkey	77,95 milyon ha
Tarım arazileri Arable lands	27,70 milyon ha
Sulanabilir araziler Irrigable lands	25,30 milyon ha
Ekonomik olarak sulanabilir araziler Economically irrigable lands	8,5 milyon ha
Sulanmakta olan saha (1989 yılı başı) Existing irrigation area (beginning of 1989)	3,861 milyon ha (brüt)
DSİ'ce inşa edilen sulamalar (1989 yılı başı) Irrigation schemes constructed by DSİ (beginning of 1989)	1,609 milyon ha (net)

SU KAYNAKLARI
Water Resources.

Türkiye yıllık yağış ortalaması Mean annual precipitation in Turkey	642,6 mm
Türkiye'ye düşen ortalama yıllık yağış hacmi Volume of the mean annual precipitation in Turkey	501,0 km^3

YERÜSTÜ SULARI
Surface Water

Yıllık akış Annual run-off	186,05 km^3
Yıllık akış/yağış oranı Annual run-off coefficient	0,37
Tüketilebilecek yıllık su miktarı Annual amount of water to be used for consumptive purposes	95,0 km^3
Fiili yıllık tüketim Present annual consumption	25,0 km^3

YERALTI SULARI
Groundwater

Çekilebilir yıllık su potansiyeli Annual safe yield	9,5 km^3
Tahsis edilen miktar Allocated amount	6,6 km^3
Fiili yıllık tüketim Present annual consumption	5,4 km^3

HAVZALARA GÖRE EKONOMİK HİDROELEKTRİK POTANSİYEL
Economic Hydroelectric Potential Based on the River Basins

HAVZA River Basin No.	HAVZA River Basin ADI Name	HER PROJE ADEDİ Number of HEPP Projects	KURULU GÜÇ Installed Capacity MW	YILLIK ENERJİ Annual Energy ORTALAMA Average GWh	YILLIK ENERJİ Annual Energy GÜVENİLİR Firm GWh
01	Meriç - Ergene	-	-	-	-
02	Marmara	-	-	-	-
03	Susurluk	9	442	1386	1056
04	Kuzey Ege	2	16	42	26
05	Gediz	4	250	425	202
06	Küçük Menderes	-	-	-	-
07	Büyük Menderes	13	279	1003	232
08	Batı Akdeniz	20	803	2960	1154
09	Antalya	15	1113	3918	1716
10	Burdur - Göller	-	-	-	-
11	Akarçay	-	-	-	-
12	Sakarya	21	1061	2318	1465
13	Batı Karadeniz	25	709	2437	1248
14	Yeşilırmak	24	1226	5003	3784
15	Kızılırmak	28	2065	6586	4226
16	Konya - Kapalı	7	143	670	362
17	Doğu Akdeniz	24	1252	4634	2133
18	Seyhan	23	1853	6938	2989
19	Asi	3	50	120	15
20	Ceyhan	13	1418	4315	2563
21	Fırat	81	9650	38738	30263
22	Doğu Karadeniz	63	3446	11385	6273
23	Çoruh	39	3597	11245	6718
24	Aras	13	598	2317	1755
25	Van Kapalı	8	101	412	156
26	Dicle	42	4817	16682	10221
	TOPLAM Tota.	477	34892	123534	78557

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

CUMHURİYETTEN EVVEL YAPILMIŞ TARİHİ BENTLER

Small Dams Built Before Republican Era

Adı Name	İli Province	Göl Hacmi Reservoir Volume m^3	Yüksekliği Height m	Bitiş Yılı Completion Year
Çavdarhisar bendi	Kütahya	-	-	-
Örükkaya bendi	Çorum	500 000	-	-
Büget bendi	Niğde	-	-	-
Löştüğün bendi	Amasya	-	-	-
Semalı bendi	Amasya	-	-	-
Topuz bendi	İstanbul	70 000	8.6	620
Büyük bent	İstanbul	1 318 000	12.15	1724
Topuzlu bendi	İstanbul	160 000	16.00	1750
Ayvat bendi	İstanbul	156 000	13.45	1765
Valide bendi	İstanbul	255 000	13.50	1796
Kirazlı bendi	İstanbul	103 080	13.00	1818
Yeni bent	İstanbul	217 500	17.00	1839
Elmalı bendi	İstanbul	1 700 000	19.75	1893

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJESİ HAZIR OLAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Final Design Completed

Sıra No. Seq. No.	Adı Name	Yeri Location: Akarsuyu River	Yeri Location: İli Province	Gövde dolgu tipi (*) Embankment type	Gövde hacmi Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden From river bed m	Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı Reservoir area km^2	Amacı (**) Purpose	Faydası Benefit: Sulama alanı Irrigation area ha	Enerji Energy: Güç Capacity MW	Enerji Energy: Yıllık üretim Annual generation GWh	Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
1	KARAKURT	Bakırçay	Manisa	Toprak	442	203.85	21.90	20.85	200.30	28.50	6.19	S+T	3580	-	-	-
2	KARPUZLU	Karpuzlu	Aydın	Toprak	218	81.50	21.00	20.50	76.50	43.60	6.83	S+T	1900	-	-	-
3	ULUAĞAÇ	Kargaarkmez	Niğde	Toprak	825	1483.50	48.00	37.50	1480.50	3.30	0.31	S+T	395	-	-	-
4	TANRIVERMİŞ	Tanrıvermiş	Çorum	Toprak+Kaya	472	910.00	32.00	25.00	907.00	8.40	1.00	S	2198	-	-	-
5	SERBAN	Serban	Afyon	Toprak	288	1273.00	28.50	24.00	1269.40	3.09	0.47	S	721	-	-	-
6	KARAKUS	Hurman	K.Maraş	Toprak-Kaya	1705	1609.60	63.00	61.00	1606.50	58.00	3.42	S+T	16595	-	-	-
7	BOYAMAT	Kızılırmak	Samsun	Beton ağırlık	2300	335.00	195.00	193.00	330.00	3557.00	65.40	E	-	513	1468	-
8	ÖZKÖY	Gediz	Manisa	Kaya	10441	378.00	174.00	137.00	374.70	940.00	23.70	E	-	156	182	-
9	KUNDUZ	Kunduz	İzmir	Toprak	266	31.00	27.00	21.00	26.75	26.20	2.90	İ	-	-	-	53
10	SÖYLEMEZ	Aras	Erzurum	Kaya	3470	1843.00	112.00	110.00	1838.00	1101.12	45.34	S+E	23530	46	250	-
11	SUSURLUK	Susurluk	Balıkesir	Kaya	3045	83.00	40.00	34.00	80.00	249.00	14.20	S+E+T	24645	30	88	-
12	MECİTÖZÜ	Mecitözü	Amasya	Kaya	657	563.75	68.00	50.00	559.00	48.00	2.84	S+T	3630	-	-	-
13	BAKACAK	Kocaçay	Çanakkale	Kaya	1889	103.00	60.00	48.00	97.95	139.00	7.74	S+T	9100	-	-	-
14	ADATEPE	Göksu	K.Maraş	Toprak+Kaya	5241	1315.00	95.00	85.00	1310.52	500.00	18.60	S+T	36345	-	-	-
15	KUSFINDIK	Kocadere	Eskişehir	Toprak	1094	987.76	46.76	30.76	982.60	21.00	2.90	S	3260	-	-	-
16	KOÇHİSAR	Büyükde	Çorum	Kaya	463	984.40	57.40	37.40	979.70	161.00	12.00	S	12367	-	-	-
17	TORUL	Harşit	Gümüşhane	Beton ağırlık	1300	920	150.00	137.00	917.00	168.00	3.86	E	-	103	322	-
18	YORTANLI	Yortanlı	Manisa	Toprak	2305	115.4	48.40	43.40	113.00	64.00	4.25	S	7356	-	-	-
19	ILISU	Dicle	Mardin	Toprak+Kaya	33500	530	138.00	130.00	525.00	10410.00	299.50	E	-	1200	380	-
20	MANYAS	Kocaçay	Balıkesir	Kum+Çakıl	3155	122	90.00	76.50	118.05	393.40	16.80	S+E+T	48800	20	66	-
21	ERFELEK	Karasu	Sinop	Toprak	20090	427.2	91.50	67.00	423.00	25.23	1.00	S+İ	3594	-	-	5

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJESİ HAZIR OLAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Final Design Compeleted.

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda / At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda / At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Fayda / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Fayda / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Fayda / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Fayda / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
22	AKDEĞİRMEN	Akarçay	Afyon	Kaya	1087	1134.00	41.50	34.50	1130.50	62.00	5.24	S	8552	-	-	-
23	KULAKSIZLAR	Bük	Kastamonu	Toprak	854	1115.00	46.00	33.00	1110.00	23.24	0.20	S	5128	-	-	-
24	GEMEREK	Mudarsun	Sivas	Toprak	1350	1197.50	30.00	24.50	1195.30	27.08	3.30	S	5910	-	-	-
25	DERİNÖZ	Derinöz	Amasya	Toprak	1681	1075.00	77.00	74.00	1071.80	18.90	0.88	S	4490	-	-	-
26	FINARCIK	Bamlınca	İzmir	Kum+Çakıl	2159	47.00	32.00	27.00	43.00	27.90	3.20	S	1150	-	-	-
27	YEDİGÖZE	Seyhan	Adana	Kaya	8070	240.00	131.00	105.00	235.00	661.55	15.45	E+T	-	300	969	-
28	ÇİNE	Çine	Aydın	Kaya	5000	263.00	124.00	118.00	260.00	349.55	9.34	S+E+T	20000	36	118	-
29	DÜZKESME	Ceyhan	K.Maraş	Beton Kemer	103	356.00	83.00	68.00	345.00	14.00	0.85	E	-	168	916	-
30	HATUNKÖY	Behramaz	Elazığ	Kaya	700	1286.00	46.50	35.00	1283.00	87.50	6.70	İ	-	-	-	19
31	GÜRSÖĞÜT	Sakarya	Ankara	Kaya	5989	654.00	130.00	100.00	649.00	1103.00	29.82	E	-	242	276	-
32	KARGI	Sakarya	Ankara	Kaya	2140	560.00	95.00	65.00	557.50	45.20	2.09	E	-	194	345	-
33	BİRECİK	Fırat	Şanlı Urfa	Beton+Kaya	9209	389.00	59.50	53.50	385.00	1220.00	56.25	S+E	92700	672	2518	-
34	KARKAMIŞ	Fırat	Şanlı Urfa	Beton+Toprak	1537	346.00	40.00	22.50	340.00	157.00	28.40	E+T	-	180	652	-
35	CİZRE	Dicle	Mardin	Kaya	3300	409.50	51.40	46.40	404.40	360.00	21.00	S+E	120000	240	1208	-
36	ALAÇATI	Hırsızdere	İzmir	Toprak	251	23.00	17.30	15.30	19.80	16.61	2.55	İ	-	-	-	3
37	YENİHAYAT	Işıközü	Çorum	Toprak	3179	944.30	68.30	52.30	939.80	26.70	1.35	İ	-	-	-	10
38	ÇALTIKORU	Ilıca	Manisa	Toprak	1160	161.00	75.50	69.00	155.20	46.00	2.00	S	5163	-	-	-
39	K.ÇEKMECE	K.Çekmece G.	İstanbul	Toprak	1000	2.80	3.80	2.80	1.00	158.00	18.90	İ	-	-	-	105
40	ASAR	Değirmendere	Kastamonu	Kaya	266	939.15	38.00	32.15	935.00	4.56	0.48	S	786	-	-	-
41	DELİÇAY	Deliçay	Konya	Toprak	2476	1094.40	45.00	34.00	1089.20	29.04	2.12	S	13000	-	-	-
42	ILISU	Cehennem	Yozgat	Toprak	1490	1090.50	25.00	20.80	1088.10	32.89	4.17	S	3181	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJESİ HAZIR OLAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Final Design Completed.

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda Ait normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^2	Normal su kotunda Ait normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
43	4 EYLÜL	Mismil	Sivas	Toprak	4114	1396.00	65.00	60.00	1390.00	85.05	4.80	İ	-	-	-	33
44	DOYDUK	Kalaycık	Nevşehir	Toprak	1971	1052.70	36.00	33.70	1047.30	39.50	4.60	S	2832	-	-	-
45	KARAOVA	Manahöyü	Kırşehir	Toprak	1717	883.60	58.00	53.00	880.00	65.00	3.50	S	3646	-	-	-
46	BELKAYA	Buluman	Burdur	Toprak	1021	1107.00	56.30	49.80	1106.74	58.00	3.30	S	4545	-	-	-
47	TÜRKMENLİ	Kum	Tekirdağ	Toprak	560	52.31	30.00	26.51	48.00	14.13	1.94	S	1437	-	-	-
48	GÖLBAŞI	Akın	Bursa	Toprak	1421	143.30	31.30	23.30	141.45	42.00	2.75	S	7298	-	-	-
49	ÇAMUR	Loci	Trabzon	Toprak	975	1898.00	54.00	48.00	1893.50	12.77	0.67	S	4023	-	-	-
50	HAYRAKTEPE	Göksu	İçel	Kaya	17000	161.00	196.00	135.00	155.80	4640.00	133.00	E+T	-	431	991	-
51	AKYAR	Bulak	Ankara	Toprak	2660	1139.00	91.00	74.00	1134.00	56.00	1.92	İ	-	-	-	60
52	UZUNÇAYIR	Munzur	Tunceli	Kaya	1470	903.00	64.50	58.00	900.00	308.00	13.43	E	-	72	317	-
53	İBRALA	İbrala	Konya	Toprak	1800	1093.60	58.00	48.60	1090.60	132.00	6.70	S	13000	-	-	-
54	ÇOKAL	Gökbüket	Tekirdağ	Toprak	4370	86.60	72.00	61.60	80.00	204.00	10.10	S+İ	10660	-	-	14
55	ÇINARCIK	Orhaneli	Bursa	Kaya	5141	333.00	125.00	123.00	330.00	372.94	10.14	S+E	6597	120	548	-
56	SIDDIKLI	Boğaz	Kırşehir	Kaya	774	990.40	56.40	53.00	985.80	28.50	1.65	S	4500	-	-	-
57	YONCALI	Maslakbaşı	Kütahya	Toprak	435	1024.00	38.00	21.50	1021.00	15.00	3.16	S+İ	603	-	-	17.5
58	AKKÖPRÜ	Dalaman	Muğla	Kaya	12375	207.50	158.00	115.00	200.00	419.20	8.92	E+T	-	115	343	-
59	KORULUK	Ceviz	Gümüşhane	Toprak	1563	1570.5	39.00	29.00	1567.50	4.29	0.38	S	1136	-	-	-
60	KIZILCAPINAR	Gülüç	Zonguldak	Kaya	1335	116.00	58.50	52.50	114.00	36.00	2.45	S+E+İ	928	2	9	26

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ ATATÜRK İLKELERİ VE İNKILAP TARİHİ ENSTİTÜSÜ

PROJESİ HAZIRLANMAKTA OLAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR.
Dams & HEPP Under Construction

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İl / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda Ait normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda Ait normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
1	OBRUK	Kızılırmak	Çorum	Toprak	8060	513.00	85.00	67.00	510.00	661.11	50.21	S+E	5538	180	473	-
2	KUREYŞLER	Kureyşler	Kütahya	Toprak	711	1131.92	49.42	40.92	1127.70	29.20	2.11	S	2603	-	-	-
3	HATAP	Hatap	Çorum	Kaya	830	910.00	62.00	41.00	907.00	12.00	1.02	S+İ	851	-	-	5
4	TACİN	Taşboğaz	Kayseri	Toprak	2070	1550.70	43.00	33.70	1549.00	21.40	1.71	S	11187	-	-	-
5	ŞEKEROVA	Bedişan	Ağrı	Kaya	1651	1719.90	86.90	74.90	1717.80	90.18	3.81	S	15938	-	-	-
6	SARIOĞLAN	Kestaman	Kayseri	Toprak	2880	1264.70	42.00	30.40	1261.80	22.00	2.65	S	6144	-	-	-
7	BEŞKARIŞ	Kokar	Kütahya	Toprak	1100	1129.35	64.50	54.35	1125.00	75.70	5.12	S	5558	-	-	-
8	AKÇAKÖY	Murat	Kütahya	Toprak	419	1051.60	30.00	26.60	1047.35	140.10	11.40	S	11964	-	-	-
9	GÖRDES	Gördes	İzmir	Toprak	4804	223.00	116.00	90.00	220.75	278.00	10.18	S+T	15740	-	-	-
10	ALPASLAN	Murat	Muş	Kaya	2280	1453.00	92.00	88.00	1450.00	2903.45	114.83	E	-	160	567	-
11	CİNDERE	B. Menderes	Denizli	Toprak	2700	270.00	90.00	69.00	267.00	82.00	2.80	S+E	4600	27	88	-
12	KILAVUZLU	Ceyhan	K. Maraş	Toprak	2661	489.00	59.00	56.00	483.50	69.00	2.90	S+E	1780	54	100	-
13	AYDINCA	Belderesi	Amasya	Kaya	2638	807.95	73.00	56.00	802.98	16.60	0.77	S	3633	-	-	-
14	YAYLADAĞ	Kureyşi	Hatay	Kaya	277	484.00	45.00	42.00	482.00	6.50	0.45	S+İ	647	-	-	1
15	ÇAVDIR	Bayındır	Burdur	Toprak	2167	1124.00	60.00	44.00	119.85	36.42	1.94	S	4254	-	-	-
16	DİLAVER	Kuruçay	Diyarbakır	Kaya	1890	815.00	46.50	43.50	809.00	76.50	11.25	S	3575	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJESİ HAZIRLANMAKTA OLAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Under Final Design

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^2	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
17	AYVALI	Erkenez	K.Maraş	Toprak	4900	840.00	99.00	74.50	837.00	80.00	2.76	S+I+T	1680	-	-	19
18	DİM	Dimçayı	Antalya	Kaya	6100	175.00	135.00	125.00	170.00	250.63	4.86	S+E	6600	36	126	-
19	BÜYÜKKILIÇLI	Kova	Tekirdağ	Toprak	829	75.20	33.90	23.90	71.60	11.69	1.82	S	5364	-	-	-
20	PALANDÖKEN	Lezgi	Erzurum	Toprak	554	2124.00	49.00	44.00	2,119.40	277.00	26.60	S+I	11678	-	-	34
21	BOĞAZKÖY	Kocadere	Bursa	Toprak	2640	274.50	59.00	29.00	273.90	160.80	18.00	S	2820	-	-	-
22	DERİNCE	Derince	Muğla	Toprak	2090	121.00	72.75	54.00	119.00	20.60	0.93	S	2820	-	-	-
23	ALPU	Alpu	Tokat	Kaya	1140	1174.00	65.00	60.00	1,170.60	19.38	1.21	S	3119	-	-	-
24	KARAÇAL	Bonçay	Burdur	Toprak	3392	972.70	73.00	64.00	966.20	106.00	6.08	S	15006	-	-	-
25	SEVE	Aynifar	Gaziantep	Toprak	1684	603.00	56.50	44.50	600.00	20.86	1.96	S	14000	-	-	-
26	KARACALAR	Karacalar	Sivas	Toprak	1036	1423.20	52.50	36.20	1,419.60	50.40	4.04	S	3807	-	-	-
27	YENİDERE	Yenidere	Denizli	Toprak	671	885.00	46.00	42.82	882.80	65.00	6.50	S	13000	-	-	-
28	MADRA	Madra	Balıkesir	Kaya	3120	132.00	106.00	86.00	129.60	79.40	2.68	S	10185	-	-	-
29	SÜREYYABEY	Çekerek	Amasya	Kaya	5227	860.00	99.00	76.00	855.00	118.00	41.34	S+E+T	66165	12	50	-
30	ÇATALTEPE	Göksu	Adıyaman	Toprak	13987	923.00	142.00	112.00	918.50	1,082.00	27.00	S+I	71500	-	-	330
31	YAYLAKAVAK	Kocaçay	Aydın	Toprak	4688	161.00	85.00	70.00	159.50	31.14	0.99	S	3348	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILMIŞ NEHİR VE KANAL SANTRALLARI
Run - off River & Canal Hydroplants In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Açılış yılı / Opening year	İli / Province	Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh	İnşa eden kuruluş / Construction organization
1	VİSERA	1929	Trabzon	1.04	3	Belediye
2	DENİZLİ	1949	Denizli	1.20	10	İller Bankası
3	DİNAR I	1951	Afyon	1.12	6	İller Bankası
4	BÜNYAN	1951	Kayseri	1.36	4	İller Bankası
5	DERMA	1951	Malatya	4.50	10	Sümerbank
6	MURGUL	1951	Artvin	4.70	10	Etibank
7	DEFNE - HARBİYE	1953	Hatay	3.00	15	İller Bankası
8	GÖLEVİK I	1953	Erzincan	3.04	17	DSİ
9	DURUCASU	1955	Amasya	0.80	3	DSİ
10	HAZAR I	1957	Elazığ	20.12	128	Etibank
11	BOTAN	1957	Siğirt	1.58	6	İller Bankası
12	CEYHAN-MARAŞ	1958	K.Maraş	3.60	12	İller Bankası
13	YEREĞİR GÖKSU	1959	Konya	10.56	65	İller Bankası
14	TURTUM I	1960	Erzurum	26.18	85	İller Bankası
15	KAYAKÖY	1960	Kütahya	3.84	12	İller Bankası
16	KOVADA I	1960	Isparta	8.25	35	İller Bankası
17	SIZIR	1961	Sivas	6.77	35	İller Bankası
18	İKİZDERE	1961	Rize	15.12	100	İller Bankası
19	KEPEZ I	1961	Antalya	26.40	169	Kepez A.Ş.
20	KERNEK	1964	Malatya	0.83	3	DSİ

İNŞA HALİNDEKİ NEHİR VE KANAL SANTRALLARI
Run - off River & Canal Hydroplants Under Construction

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İli / Province	Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh
1	MERCAN	Tunceli	19.20	78
2	BEYKÖY	Eskişehir	15.00	87

PROJESİ HAZIR OLAN NEHİR VE KANAL SANTRALLARI
Run - off River & Canal Hydroplants Final Design Completed

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İli / Province	Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh
1	YAHŞİHAN	Ankara	7.50	44
2	TOHMA	Malatya	13.60	67
3	LAMAS IV	İçel	22.00	105
4	ÇILDIR II	Kars	8.70	15
5	TORTUM II	Erzurum	10.60	49
6	HASANLAR	Bolu	8.00	35
7	DOĞANÇAY	Sakarya	19.11	148
8	ŞANLIURFA	Şanlıurfa	54.00	124
9	KÖPRÜLER	Van	2.16	14
10	MURSAL	Sivas	6.70	32
11	UZUNGÖL I	Trabzon	45.00	129

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILMIŞ NEHİR VE KANAL SANTRALLARI
Run - off River & Canal Hydroplants In Operation

Sıra No. Seq. No.	Adı Name	Açılış yılı Opening year	İli Province	Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh	İnşa eden kuruluş Construction organization
21	SİLİFKE	1964	İçel	0.40	2	DSİ
22	KİTİ	1966	Kars	2.76	6	DSİ
23	ANAMUR	1967	İçel	0.84	2	DSİ
24	HAZAR II	1967	Elazığ	10.00	64	Etibank
25	ENGİL	1968	Van	4.60	14	DSİ
26	ERCİŞ	1968	Van	0.80	2	DSİ
27	ÇAĞÇAĞ III	1968	Mardin	14.40	42	DSİ
28	KOVADA II	1971	Isparta	51.20	222	DSİ
29	DOĞANKENT I	1971	Giresun	32.80	124	DSİ
30	KADINCIK I	1971	İçel	70.00	345	Çukurova Elektrik
31	ZEYNE	1971	İçel	0.33	2	İller Bankası
32	YÜREĞİR	1972	Adana	6.00	21	DSİ
33	BOZYAZI	1973	İçel	0.42	1	İller Bankası
34	KADINCIK II	1974	İçel	56.00	320	Çukurova Elektrik A.Ş
35	ÇILDIR I	1975	Kars	15.36	67	DSİ
36	DOĞANKENT II	1981	Giresun	38.00	190	DSİ
37	İVRİZ	1986	Konya	1.10	4	Sümerbank
38	KEPEZ II	1986	Antalya	5.82	21	Kepez A.Ş
39	KÖKLÜCE	1988	Tokat	90.00	588	DSİ
40	ÇAYKÖY	1988	Isparta	14.00	35	Aksu En. ve Tic. A.Ş.

PROJESİ HAZIRLANMAKTA OLAN NEHİR VE KANAL SANTRALLARI
Run - off River & Canal Hydroplants Under Final Design

Sıra No. Seq. No.	Adı Name	İli Province	Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh
1	YENİCEKENT	Aydın	21.00	76

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction: Başlama yılı / Starting year	İnşaatın Construction: Bitiş yılı / Completion year	Yeri Location: Akarsuyu / River	Yeri Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası Benefit: Enerji Energy: Güç / Capacity MW	Faydası Benefit: Enerji Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
1	ÇUBUK I	1930	1936	Çubuk	Ankara	Beton ağırlık	120	908.61	58.00	25.00	906.61	12.50	0.94	İ+T	-	-	-	3
2	GÖLBAŞI	1933	1938	Akın	Bursa	Toprak	320	131.00	14.00	10.70	128.50	12.75	1.74	S+T	2100	-	-	-
3	GEBERE	1939	1941	Uzandı	Niğde	Toprak	350	1722.00	17.00	13.00	1720.00	3.56	0.26	S	270	-	-	-
4	ELMALI II	1952	1955	Göksu	İstanbul	Beton ağırlık	103	68.50	49.00	42.50	67.50	10.00	-	İ	-	-	-	10
5	SARIYAR	1950	1956	Sakarya	Ankara	Beton ağırlık	568	480.00	108.00	90.00	475.00	1900.00	83.83	E	-	160	400	-
6	SEYHAN	1953	1956	Seyhan	Adana	Toprak	7500	72.70	77.00	50.70	67.00	1200.00	67.82	S+T+E	174000	54	350	-
7	AYRANCI	1956	1958	Kocadere	Konya	Toprak	2308	1196.00	36.00	34.00	1193.00	28.50	2.00	S+T	7817	-	-	-
8	KEMER	1954	1958	Akçay	Aydın	Beton ağırlık	740	298.50	113.50	108.50	291.50	544.00	14.75	S+T+E	27283	48	143	-
9	HİRFANLI	1953	1959	Kızılırmak	Kırşehir	Kaya	2000	860.00	83.00	78.00	851.00	5980.00	263.00	E+T	-	128	400	-
10	DEMİRKÖPRÜ	1954	1960	Gediz	Manisa	Toprak	4300	252.00	77.00	74.00	244.20	1320.00	47.66	S+T+E	99220	69	193	-
11	SİLLE	1953	1960	Sille	Konya	Kaya	320	1370.00	40.00	39.00	1367.00	3.10	0.20	S+T	260	-	-	-
12	MAY	1957	1960	May	Konya	Toprak	273	1018.60	19.60	19.10	1015.00	40.10	7.75	S	1800	-	-	-
13	MAMASI	1957	1962	Ulurmak	Niğde	Kaya	405	1110.15	48.40	44.90	1107.19	165.80	16.20	S	24854	-	-	-
14	APA	1958	1962	Çarşamba	Konya	Toprak	1327	1060.80	30.80	29.80	1057.10	169.00	12.60	S	97015	-	-	-
15	SEYİTLER	1960	1962	Seyitler	Afyon	Toprak	510	1051.50	27.00	26.00	1047.75	40.00	4.90	S	2950	-	-	-
16	ÇUBUK II	1961	1964	Çubuk	Ankara	Toprak	1100	1117.0	69.00	61.00	1113.00	24.60	1.20	İ	-	-	-	38
17	SELEVİR	1960	1965	Kali	Afyon	Toprak	650	1096.80	32.00	31.40	1092.50	70.00	5.01	S	8310	-	-	-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction: Başlama yılı / Starting year	İnşaatın Construction: Bitiş yılı / Completion year	Yeri Location: Akarsuyu / River	Yeri Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası Benefit: Enerji Energy: Güç / Capacity MW	Faydası Benefit: Enerji Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
18	BAYINDIR	1962	1965	Bayındır	Ankara	Toprak	553	990.00	31.00	30.00	985.00	6.97	0.71	İ	-	-	-	7
19	CİP	1965	1965	Cip	Elazığ	Toprak	446	1008.00	24.00	23.00	1001.50	7.00	1.10	S	1100	-	-	-
20	KIZILSU	1963	1965	Kızılsu	Bursa	Toprak	124	792.20	9.70	8.20	790.50	2.00	0.17	T	-	-	-	-
21	ALMUS	1958	1966	Yeşilırmak	Tokat	Toprak	3405	810.50	95.00	78.00	804.50	950.00	31.30	S+T+E	21350	27	99	-
22	KESİRKÖPRÜ	1959	1966	Kızılırmak	Ankara	Toprak + Kaya	900	793.10	52.60	49.10	785.55	95.00	6.50	S+E	11860	76	250	-
23	GÜLÜÇ	1964	1966	Gülüç	Zonguldak	Betonağırlık	52	20.50	22.00	14.50	18.50	6.00	1.34	İ	-	-	-	6
24	TATLARIN	1964	1966	Derinöz	Nevşehir	Toprak + Kaya	216	995.00	42.50	41.50	991.00	1.75	0.15	S	174	-	-	-
25	BULDAN	1964	1967	Derbent	Denizli	Toprak + Kaya	600	505.00	64.00	59.00	497.50	46.00	3.10	S	2440	-	-	-
26	ALTINAPA	1960	1967	Dolav	Konya	Kaya	975	1256.50	31.50	30.50	1246.50	15.00	2.20	S+T+İ	1400	-	-	38
27	KURTBOĞAZI	1963	1967	Kurtboğazı	Ankara	Toprak	834	963.00	52.50	51.50	959.00	91.50	5.00	S+İ	3780	-	-	67
28	AKKAYA	1962	1967	Tabakhane	Niğde	Toprak	426	1185.00	19.00	18.00	1182.00	5.80	1.38	S	2277	-	-	-
29	GÜMÜŞLER	1964	1967	Gümüşler	Niğde	Toprak	560	1353.60	30.60	25.00	1351.50	3.74	0.47	S	400	-	-	-
30	ONAÇ	1964	1967	Onaç	Burdur	Toprak + Kaya	77	829.60	31.00	25.00	826.00	8.00	1.34	T	-	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama Irrigation E = Enerji Energy T = Taşkın kontrolu Flood control İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Domestic and industrial water supply Ç = Çevre koruma Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seç. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction		Yeri Location		Gövde dolgu tipi (*) Embenkment type	Gövde hacmi Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height		Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation		Amacı (**) Purpose	Sulama alanı Irrigation area ha	Faydası Benefit		
		Başlama yılı Starting year	Bitiş yılı Completion year	Akarsuyu River	İli Province				Temelden From foundation m	Talvegden From river bed m		Göl hacmi Reservoir volume hm^3	Göl alanı Reservoir area km^2			Enerji Energy: Güç Capacity MW	Enerji Energy: Yıllık üretim Annual generation GWh	Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
31	ALTINYAZI	1965	1967	Basmaklar	Edirne	Toprak	725	42.50	23.50	21.50	39.20	30.80	4.25	S+T	7730	-	-	-
32	AKKÖY	1664	1967	Azaröz	Kayseri	Toprak+Kaya	463	1281.00	43.50	41.50	1276.25	7.50	0.79	S	926	-	-	-
33	SARIMSAKLI	1962	1968	Sarımsaklı	Kayseri	Toprak	1582	1208.00	42.00	40.00	1205.00	31.90	2.44	S	6400	-	-	-
34	SÜRGÜ	1963	1969	Sürgü	Malatya	Toprak	1220	1311.60	57.00	55.00	1309.60	70.93	5.10	S	10098	-	-	-
35	MUSAÖZÜ	1965	1969	Mollaoğlu	Eskişehir	Toprak	244	903.11	23.00	19.00	899.65	1.67	0.43	S	400	-	-	-
36	GÖLKÖY	1965	1970	Büyükse	Bolu	Toprak	1534	780.00	24.50	21.50	777.00	24.00	1.31	S+T	11228	-	-	-
37	ÇAYGÖREN	1966	1971	Simav	Balıkesir	Toprak	3412	273.50	53.50	52.50	267.25	130.00	7.25	S+T+İ	17208	-	-	1
38	DAMSA	1965	1971	Damsa	Nevşehir	Toprak	862	1223.50	33.50	31.50	1219.50	7.12	0.82	S	1390	-	-	-
39	KESİKSUYU	1965	1971	Keşiksuyu	Adana	Toprak	4367	207.40	57.40	56.40	203.00	53.00	2.75	S	8760	-	-	-
40	ALAKIR	1967	1971	Alakır	Antalya	Toprak	2065	143.50	45.50	44.50	138.50	91.75	4.28	S+T	3262	-	-	-
41	KADIKÖY	1967	1972	Davenı	Edirne	Toprak	1249	86.00	39.50	34.10	82.00	65.68	6.20	S+T+İ	4428	-	-	2
42	KOZAN	1967	1972	Kilgen	Adana	Toprak+Kaya	1680	280.50	82.50	78.50	274.00	163.00	8.02	S	10220	-	-	-
43	KARTALKAYA	1965	1972	Akıtı	K.Maraş	Toprak	1452	722.00	57.00	56.00	715.70	195.00	11.25	S+İ	31480	-	-	45
44	PORSUK	1966	1972	Porsuk	Eskişehir	Beton ağırlık	224	886.70	64.70	49.70	882.60	431.00	23.40	S+T+İ	41020	-	-	206
45	ENNE	1969	1972	Deresboğazı	Kütahya	Toprak	570	998.00	41.00	24.00	996.00	6.85	0.94	İ	-	-	-	6
46	ÖMERLİ	1968	1972	Riva	İstanbul	Toprak	2198	67.00	54.00	52.00	62.00	386.50	28.10	İ	-	-	-	180
47	DEVEGEÇİDİ	1965	1972	Furtakça	Diyarbakır	Kaya	3239	759.00	34.80	32.80	757.00	202.32	32.14	S	10600	-	-	-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. Seq. No.	Adı Name	İnşaatın Construction		Yeri Location		Gövde dolgu tipi (*) Embankment type	Gövde hacmi Dam volume 10^3m^3	Kret kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height		Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation		Amacı (**) Purpose	Sulama alanı Irrigation area ha	Faydası Benefit		
									Temelden From foundation m	Talvegden From river bed m		Göl hacmi Reservoir volume hm^2	Göl alanı Reservoir area km^2			Enerji Energy		Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
		Başlama yılı Starting year	Bitiş yılı Completion year	Akarsuyu River	İl Province											Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh	
48	HASANLAR	1965	1972	Küçük Melen	Bolu	Kaya	1651	272.80	72.80	70.80	255.50	55.00	2.85	S+T	26450	-	-	-
49	GÖKÇEKAYA	1967	1972	Sakarya	Eskişehir	Beton kemer	650	393.00	158.00	115.00	388.00	910.00	2.00	E	-	278	562	-
50	ATIKHİSAR	1967	1973	Sarıçay	Çanakkale	Toprak	1990	68.20	43.20	37.20	52.50	40.00	3.30	S+T	5200	-	-	-
51	YALVAÇ	1968	1973	Sücüllü	Isparta	Toprak	950	1185.50	45.80	35.50	1180.25	8.90	0.82	S	2050	-	-	-
52	KARAMANLI	1969	1973	Değ. Dere	Burdur	Toprak	1027	1188.10	46.60	40.10	1183.00	14.00	1.09	S	3000	-	-	-
53	KARAÇOMAK	1968	1974	Karaçomak	Kastamonu	Toprak	1688	896.13	69.00	50.00	889.50	23.10	1.43	S+T+İ	2596	-	-	3
54	K.KALECİK	1969	1974	Kalecik	Elazığ	Toprak	680	1126.20	39.20	33.90	1122.20	12.50	1.16	S	1245	-	-	-
55	TAHTAKÖPRÜ	1967	1975	Karasu	Hatay	Toprak	2142	407.50	49.50	43.50	405.50	200.00	23.40	S	11575	-	-	-
56	MEDİK	1966	1975	Tohma	Malatya	Toprak+Kaya	811	779.00	43.00	42.00	771.00	22.00	1.62	S	15842	-	-	-
57	ÇOĞUN	1963	1975	Kızılırmak	Kırşehir	Toprak+Kaya	559	1112.00	46.00	29.50	1106.15	21.77	2.38	S+T	3762	-	-	-
58	KEBAN	1965	1975	Fırat	Elazığ	Bet.Ağ.+Kaya	15585	848.00	207.00	163.00	845.00	30600.00	675.00	E	-	1330	6000	-
59	KORKUTELİ	1968	1975	Korkuteli	Antalya	Toprak+Kaya	1940	1072.20	50.20	57.20	1067.80	47.50	2.20	S+T	5986	-	-	-
60	DODURGA	1972	1977	Sarısu	Eskişehir	Toprak	687	1057.40	33.40	26.90	1051.70	21.72	2.45	S+T	1970	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction: Başlama yılı / Starting year	İnşaatın Construction: Bitiş yılı / Completion year	Yeri Location: Akarsuyu / River	Yeri Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası Benefit: Enerji Energy: Güç / Capacity MW	Faydası Benefit: Enerji Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
61	ÇORUM	1974	1977	Çomar	Çorum	Toprak	590	918.70	48.50	47.50	915	7.18	0.56	S+I	1589	-	-	2
62	YAPIALTIN	1975	1977	Çaylak	Sivas	Toprak	966	1304.75	36.25	29.75	1301.50	14.6	1.41	S	2894	-	-	-
63	MAKSUTLU	1975	1977	Maksutlu	Sivas	Toprak	225	1305.00	27.50	19.00	1301.50	2.95	0.42	S	637	-	-	-
64	KAYMAZ	1975	1977	Çayırlık	Eskişehir	Toprak	216	1057.96	26.00	22.00	1054.80	1.10	0.16	S	420	-	-	-
65	AVŞAR	1973	1977	Alaşehir	Manisa	Toprak	3166	263.50	45.50	43.50	254.75	69.00	5.25	S+T	13500	-	-	-
66	ATAKÖY	1975	1977	Yeşilırmak	Tokat	Toprak	600	740.00	26.00	21.50	733.50	2.80	0.50	E	-	5	8	-
67	BALÇOVA	1970	1980	Ilıca	İzmir	Kaya	1011	149.40	73.40	63.40	146.00	8.25	0.35	I	-	-	-	12
68	SÜLOĞLU	1975	1980	Süloğlu	Edirne	Toprak	907	204.75	54.25	48.75	197.80	33.00	2.88	S+T	3986	-	-	-
69	ASARTEPE	1975	1980	İlhan	Ankara	Toprak	408	917.00	50.00	36.50	912.00	20.00	1.77	S	2850	-	-	-
70	KARAİDEMİR	1975	1980	Karayidemir	Tekirdağ	Toprak	2641	109.80	36.00	25.00	104.80	120.30	14.97	S+T	11840	-	-	-
71	HASANUĞURLU	1971	1981	Yeşilırmak	Samsun	Kaya	9223	195.00	175.00	135.00	190.00	1073.75	22.66	E	-	500	1217	-
72	BOZKIR	1976	1981	Höşür	Niğde	Kaya	468	1131.10	52.10	47.10	1126.30	6.00	0.51	S	971	-	-	-
73	SEVİŞLER	1977	1981	Yağcılı	Manisa	Toprak	4130	170.00	65.00	59.50	162.10	127.00	6.05	S	7000	-	-	-
74	GÜZELHİSAR	1975	1981	Güzelhisar	İzmir	Toprak+Kaya	3205	109.00	89.00	77.00	107.00	158.00	5.80	I	-	-	-	126
75	HAT DÖRTLÜ	1975	1981	Yeşilırmak	Samsun	Kaya	2151	66.00	51.00	38.00	61.50	182.00	9.70	S+E	83312	46	273	-
76	KUNDUZLAR	1976	1983	Yörük	Eskişehir	Toprak	375	1028.00	42.50	28.00	1018.35	18.87	2.64	S	3788	-	-	-
77	ULUKÖY	1977	1983	Derebey	Amasya	Toprak	848	343.00	28.00	23.00	340.30	3.65	0.58	S	1300	-	-	-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction: Başlama yılı Starting year	İnşaatın Construction: Bitiş yılı Completion year	Yeri Location: Akarsuyu River	Yeri Location: İli Province	Gövde dolgu tipi (*) Embankment type	Gövde hacmi Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden From river bed m	Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı Reservoir area km^2	Amacı (**) Purpose	Sulama alanı Irrigation area ha	Faydası Benefit: Enerji Energy: Güç Capacity MW	Faydası Benefit: Enerji Energy: Yıllık üretim Annual generation GWh	Faydası Benefit: Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
78	ALİBEY	1975	1983	Alibey	İstanbul	Toprak	1927	34.00	29.50	28.00	32.00	66.80	4.66	İ	-	-	-	39
79	DOĞANCI	1974	1983	Nilüfer	Bursa	Kaya	2510	335.00	82.00	64.00	333.00	37.80	1.55	İ	-	-	-	95
80	KÜLTEPE	1975	1983	Köşk.Özü	Kırşehir	Toprak	1150	992.20	42.70	33.70	988.00	30.04	2.40	S	2741	-	-	-
81	DEMİRTAŞ	1977	1983	Balıkaya	Bursa	Toprak+Kaya	1780	173.00	57.50	45.00	168.20	14.48	0.95	S	2160	-	-	-
82	GÖKÇEADA	1977	1983	Büyükdere	Çanakkale	Toprak	560	70.00	51.00	33.00	66.00	16.80	1.35	S+İ	700	-	-	1
83	ARPAÇAY	1975	1983	Arpaçay	Kars	Betonağırlık	156	1456.10	59.10	47.00	1452.00	525.00	41.80	S	40420	-	-	-
84	BOZTEPE	1978	1983	Boztepe	Tokat	Toprak	1150	839.30	35.50	27.30	837.00	14.20	1.87	S	4872	-	-	-
85	SÖĞÜT	1980	1983	Ilgın	Kütahya	Toprak	55	1127.70	26.50	20.70	1124.00	0.90	0.15	S	205	-	-	-
86	TOPÇAM	1977	1984	Madran	Aydın	Toprak	2500	117.65	62.65	56.15	110.70	80.50	4.20	S+T	4980	-	-	-
87	ASLANTAŞ	1975	1984	Ceyhan	Adana	Toprak	8493	160.00	95.00	78.00	146.00	1150.00	49.00	S+T+E	149849	138	569	-
88	BERDAN	1975	1984	Berdan	İçel	Toprak	1928	71.60	66.40	41.00	56.00	87.50	6.70	S+İ	27050	-	-	66
89	ALACA	1979	1984	Suludere	Çorum	Kaya	665	1,027.30	57.00	44.30	1023.00	12.50	0.80	S	1546	-	-	-
90	BELPINAR	1977	1984	Devrez Boğ.	Tokat	Kaya	900	858.16	61.16	58.16	855.00	29.69	1.73	S	2472	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama Irrigation E = Enerji Energy T = Taşkın kontrolu Flood control İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Domestic and industrial water supply Ç = Çevre koruma Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	İnşaatın Construction: Başlama yılı / Starting year	İnşaatın Construction: Bitiş yılı / Completion year	Yeri Location: Akarsuyu / River	Yeri Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^2	Normal su kotunda At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası Benefit: Enerji Energy: Güç / Capacity MW	Faydası Benefit: Enerji Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
91	OYMAPINAR	1977	1984	Manavgat	Antalya	Beton kemer	676	185.00	185.00	157.00	184.00	300.00	4.70	E	-	540	1620	-
92	ULUBORLU	1977	1984	Pupa	Isparta	Toprak	1800	1156.46	75.00	56.46	1152.40	21.30	1.25	S+T	1808	-	-	-
93	HASANAĞA	1978	1984	Hasanağa	Bursa	Toprak	787	144.00	38.00	30.00	140.80	3.71	0.31	S	715	-	-	-
94	ÇAMLIDERE	1976	1985	Bayındır	Ankara	Kaya	2487	1001.70	106.20	101.70	995.00	1226.00	32.00	I	-	-	-	150
95	İVRİZ	1981	1985	İvriz	Konya	Toprak	5817	1158.40	45.00	43.60	1155.00	80.00	4.80	S+T	43400	-	-	-
96	YEDİKIR	1982	1985	Tersakan	Amasya	Toprak	6300	519.20	28.00	25.20	517.00	60.30	5.93	S	7403	-	-	-
97	GERMEŞTEPE	1977	1985	Şadibey	Kastamonu	Kaya	488	847.70	49.00	41.50	843.00	7.26	0.45	S	968	-	-	-
98	KALECİK	1983	1985	Kalecik	Adana	Kaya	1000	537.00	80.00	77.00	535.00	32.75	1.36	S	4890	-	-	-
99	KOZAĞACI	1983	1985	Kırpınar	Burdur	Toprak	243	1548.60	33.00	30.00	1544.65	1.19	0.16	S	460	-	-	-
100	SARIBEYLER	1980	1985	Yağcılı	Balıkesir	Toprak	548	240.00	37.50	35.00	235.50	15.60	1.37	S	1750	-	-	-
101	TAYFUR	1980	1985	Tayfur	Çanakkale	Toprak	296	97.25	39.25	33.25	91.00	4.36	0.47	I	-	-	-	2
102	KAYALIKÖY	1981	1986	Teke	Kırklareli	Toprak+Kaya	1629	249.35	73.00	68.70	241.86	149.89	10.20	S+T	14716	-	-	-
103	KOZLU	1979	1986	Ulutan	Zonguldak	Kaya	1675	180.50	61.25	60.15	178.85	25.00	1.07	I	-	-	-	19
104	AĞCAŞAR	1979	1986	Yahyalı	Kayseri	Toprak	239	1117.20	30.00	25.00	1115.70	66.06	4.17	S	15500	-	-	-
105	KAYABOĞAZI	1976	1987	Koca	Kütahya	Toprak+Kaya	628	924.75	45.00	38.00	917.80	38.00	4.20	S+T	7080	-	-	-
106	ÇATÖREN	1983	1987	Harami	Eskişehir	Toprak	499	1039.50	45.00	32.00	1038.00	47.00	4.04	S	10816	-	-	-
107	B. ÇEKMECE	1983	1987	B.Çekmece G	İstanbul	Toprak	1718	8.60	11.40	9.60	6.30	161.61	43.00	I	-	-	-	102

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. Seç. No.	Adı Name	İnşaatın Construction		Yeri Location		Gövde dolgu tipi (*) Embankment type	Gövde hacmi Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height		Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda Al normal water surface elevation		Amacı (**) Purpose	Sulama alanı Irrigation area ha	Faydası Benefit		Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
		Başlama yılı Starting year	Bitiş yılı Completion year	Akarsuyu River	İl Province				Temelden From foundation m	Talvegden From river bed m		Göl hacmi Reservoir volume hm^2	Göl alanı Reservoir area km^2			Enerji Energy		
																Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh	
108	KARAKAYA	1976	1987	Fırat	Diyarbakır	Beton kemer	2000	698.00	173.00	158.00	693.00	9580.00	298.00	E	-	1800	7354	-
109	MANAVGAT	1986	1987	Manavgat	Antalya	Toprak	1567	35.00	31.00	29.00	32.30	88.98	8.60	E	-	48	220	-
110	ÇAKMAK	1985	1988	Abdal	Samsun	Toprak	2550	125.00	57.50	45.00	120.00	106.50	6.28	I	-	-	-	126
111	GÖDET	1983	1988	Gödet	Konya	Kaya	4000	1164.70	93.00	64.00	1162.00	158.00	6.75	S	24000	-	-	-
112	GÜLDÜRCEK	1981	1988	Yazı	Çankırı	Toprak	1100	1514.10	68.00	51.00	1510.50	53.00	3.10	S	7281	-	-	-
113	GÖLOVA	1981	1988	Kelkit	Sivas	Toprak	1800	1296.90	25.00	22.00	1293.00	65.00	4.85	S	6150	-	-	-
114	KESTEL	1983	1988	Kestel	İzmir	Kaya	838	129.00	65.00	62.50	125.00	37.40	2.20	S	4077	-	-	-
115	KOVALI	1983	1988	Dündar	Kayseri	Toprak	3589	1192.00	48.50	42.00	1190.50	25.10	1.67	S	3317	-	-	-
116	HANCAĞIZ	1985	1988	Nizip	Gaziantep	Toprak	3021	435.00	55.00	45.00	432.50	100.00	7.50	S	10736	-	-	-
117	ZERNER	1980	1988	Hoşap	Van	Toprak+Kaya	1403	1937.00	79.00	62.00	1935.00	104.00	5.16	S+E	11300	4	13	-
118	ALTINKAYA	1980	1988	Kızılırmak	Samsun	Kaya	16000	195.00	195.00	140.00	190.00	5763.00	118.31	E	-	700	1632	-
119	GEYİK	1986	1988	Sarıçay	Muğla	Kaya	210	480.00	41.00	39.00	474.50	40.80	3.74	I	-	-	-	38
120	GÖKÇE	1980	1988	Selli mandıra	İstanbul	Kaya	1336	82.00	61.00	50.00	79.50	25.50	1.28	I	-	-	-	37

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama Irrigation E = Enerji Energy T = Taşkın kontrolu Flood control İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Domestic and industrial water supply Ç = Çevre koruma Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İŞLETMEYE AÇILAN BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP In Operation

Sıra No. Seq. No.	Adı Name	İnşaatın Construction		Yeri Location		Gövde dolgu tipi (*) Embankment type	Gövde hacmi Dam volume $10^3 m^3$	Krest kotu Crest elevation m	Yüksekliği Height		Normal su kotu Normal water surface elevation m	Normal su kotunda At normal water surface elevation		Amacı (**) Purpose	Sulama alanı Irrigation area ha	Faydası Benefit		
		Başlama yılı Starting year	Bitiş yılı Completion year	Akarsuyu River	İli Province				Temelden From foundation m	Talvegden From river bed m		Göl hacmi Reservoir volume hm^3	Göl alanı Reservoir area km^2			Enerji Energy		Yıllık içmesuyu Annual domestic water hm^3
																Güç Capacity MW	Yıllık üretim Annual generation GWh	
121	DARLIK	1986	1988	Darlık	İstanbul	Toprak	1600	57.50	47.50	45.50	52.00	107.00	5.56	İ	-	-	-	108
122	TELCAN	1969	1988	Tuzla	Erzincan	Toprak	3200	1471.00	69.00	56.00	1463.00	178.00	8.85	S+E	29725	15	48	-
123	ALTINHİSAR	1985	1988	Karaman	Niğde	Toprak	404	1216.00	31.00	25.00	1213.50	1.68	0.23	S	274	-	-	-
124	KAPULIKAYA	1979	1989	Kızılırmak	Ankara	Toprak	1556	727.00	61.00	44.00	724.00	282.00	20.70	E+İ	-	54	190	45
125	SARAYÖZÜ	1986	1989	Balıklı	Amasya	Toprak	1140	977.00	55.00	43.00	974.00	13.00	0.88	S	3600	-	-	-
126	KARACAÖREN	1977	1989	Akın	Burdur	Toprak	4000	275.00	93.00	85.00	270.00	1234.00	45.50	S+T+E	9537	32	142	-
127	YARSELİ	1985	1989	Beyazçay	Hatay	Toprak	2563	137.00	42.00	35.00	134.50	55.00	3.98	S	7300	-	-	-
128	HACIHIDIR	1985	1989	Hacıhıdır	Şanlıurfa	Kaya	1526	638.40	42.40	35.80	634.40	67.60	4.40	S	20080	-	-	-
129	ÜRKMEZ	1985	1989	Ürkmez	İzmir	Toprak	970	48.00	44.50	32.00	43.90	7.00	0.57	S	550	-	-	-
130	UZUNLU	1979	1989	Ozandüz	Yozgat	Toprak	4145	1182.00	61.00	50.00	1175.00	49.00	2.75	S+T	7800	-	-	-
131	MUMCULAR	1986	1989	Kocadere	Muğla	Toprak	1141	62.00	34.00	32.00	60.00	18.07	1.42	S+İ	1365	-	-	10
132	POLAT	1985	1989	Polat	Malatya	Toprak	2100	1434.00	56.00	51.00	1430.40	11.50	2.99	S	2743	-	-	-
133	KILIÇKAYA	1980	1989	Kelkit	Sivas	Kaya	6900	855.00	134.00	103.00	850.00	1400.39	64.42	E	-	134	332	-
134	MENZELET	1980	1989	Ceyhan	K.Maraş	Kaya	8700	614.50	156.50	136.50	609.40	1950.00	42.00	S+E	177959	134	515	-
135	ADIGÜZEL	1976	1989	B.Menderes	Denizli	Kaya	7125	460.00	145.00	144.00	453.50	1188.00	25.90	S+E+T	94825	62	280	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama Irrigation E = Enerji Energy T = Taşkın kontrolu Flood control İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Domestic and industrial water supply Ç = Çevre koruma Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İNŞA HALİNDEKİ BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Under Construction

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embenkment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda Alt normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda Alt normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
1	GÖNEN	Gönen	Balıkesir	Toprak+Kaya	2357	165.00	72.00	70.00	158.30	164.00	14.00	S+E+T	17553	11	47	-
2	YENİCE	Sakarya	Eskişehir	Toprak	1790	276.10	41.00	33.10	273.10	57.60	3.64	E	-	38	122	-
3	KIRKLARELİ	Şeytandere	Kırklareli	Toprak+Kaya	2090	234.50	71.40	62.00	228.60	112.30	6.25	S+I+T	9043	-	-	4
4	İKİCETEPELER	Kocadere	Balıkesir	Toprak	1200	177.00	52.00	47.00	175.00	164.56	9.60	S+I	1700	-	-	72
5	ÇAT	Abdülharap	Malatya	Toprak+Kaya	2020	1419.50	78.00	64.50	1414.00	240.00	14.30	S	22091	-	-	-
6	KOÇKÖPRÜ	Zilan	Van	Kaya	1571	1781.00	60.00	46.70	1778.50	86.40	6.15	S+E	13470	9	24	-
7	KÜRTÜN	Harşit	Gümüşhane	Kaya	3026	643.00	126.00	103.00	640.00	108.20	2.62	E	-	85	198	-
8	ÇATALAN	Seyhan	Adana	Toprak	17000	130.00	82.00	70.00	125.00	2126.33	81.86	E+T	-	156	596	-
9	YAHYASARAY	Konakdere	Yozgat	Toprak	1100	1377.25	54.00	47.00	1371.00	25.00	1.58	S	4060	-	-	-
10	DEMİRDÖVEN	Tımar	Erzurum	Kum+Çakıl	1800	1796.35	67.35	58.00	1792.35	34.25	1.45	S	5874	-	-	-
11	GAYT	Gayt	Bingöl	Toprak	467	1507.50	36.50	30.70	1501.20	23.00	2.92	S	4200	-	-	-
12	TAHTALI	Tahtalı	İzmir	Kaya	2972	62.50	57.50	54.50	60.50	306.65	23.52	I	-	-	-	205
13	DUMLUCA	Buğur	Mardin	Toprak	930	688.00	32.50	24.00	684.00	22.06	2.23	S	2400	-	-	-
14	GÖKSU	Göksu	Diyarbakır	Toprak+Kaya	1866	702.00	53.00	46.00	700.00	62.00	3.90	S	3582	-	-	-
15	GEZENDE	Ermenek	İçel	Beton Kemer	83	335.00	75.00	71.00	333.00	91.90	3.97	E	-	159	528	-
16	ÇAYDAMLAR	Bedir	Kütahya	Toprak	1674	1066.50	50.50	45.50	1.062.00	34.00	3.92	S	5531	-	-	-

(*) Toprak = Earthfill Kaya = Rockfill Beton ağırlık = Concrete gravity Beton kemer = Concrete arch Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama E = Enerji T = Taşkın kontrolu I = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Ç = Çevre koruma

Irrigation Energy Flood control Domestic and industrial water supply Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ AYİNEVİ

İNŞA HALİNDEKİ BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Under Construction

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda / At normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume km^3	Normal su kotunda / At normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
17	ATATÜRK	Fırat	Şanlıurfa	Kaya	84500	549.00	169.00	166.00	542.00	48700.00	817.00	S+E	872385	2400	8900	-
18	DERBENT	Kızılırmak	Samsun	Kaya	2500	62.00	33.00	29.00	57.50	213.00	16.50	S+E+T	47727	58	257	-
19	KIRALKIZI	Dicle	Diyarbakır	Toprak+Kaya	12700	820.00	126.00	113.00	815.75	1919.00	57.50	E	-	94	146	-
20	KUZGUN	Serpeme	Erzurum	Kaya	2500	2111.20	120.00	114.00	2106.00	276.10	10.30	S+E	49673	23	36	-
21	ÖZLÜCE	Peri	Elazığ	Kaya	9400	1144.00	144.00	124.00	1140.00	1075.00	25.80	E	-	170	413	-
22	PATNOS	Gevi	Ağrı	Toprak	949	1710.70	42.70	31.70	1708.60	33.40	4.35	S	5973	-	-	-
23	SÖĞÜTKAYA	Soy	Ankara	Kum+Çakıl	3407	1031.00	100.00	67.00	1029.00	113.00	3.94	İ	-	-	-	90
24	BÜYÜKORHAN	Cuma	Bursa	Toprak	129	686.20	30.50	20.00	681.30	4.80	0.70	S	670	-	-	-
25	GELİNGÜLLÜ	Konak	Yozgat	Toprak	1242	1010.30	54.00	44.30	1004.45	270.00	23.20	S	20474	-	-	-
26	ÇAYBOĞAZI	Kapuliçay	Antalya	Kum+Çakıl	8072	1247.70	81.75	71.75	1244.50	56.00	2.25	S	13848	-	-	-
27	NERGİZLİK	Üçürge	Adana	Toprak	1474	331.25	54.25	50.25	329.25	21.90	1.08	S+T	2326	-	-	-
28	BATMAN	Batman	Diyarbakır	Toprak+Kaya	5400	668.50	81.50	71.50	665.00	1175.00	49.25	S+E	37744	198	483	-
29	YAPRAKLI	Horzum	Burdur	Toprak	1631	1076.60	69.50	52.30	1070.00	112.95	6.50	S	19576	-	-	-
30	DİCLE	Dicle	Diyarbakır	Kaya	2180	718.00	87.00	75.00	715.50	595.00	24.00	S+E	126080	110	298	-
31	SİR(***)	Ceyhan	K.Maraş	Beton kemer	494	443.00	116.00	106.00	440.00	1120.00	47.50	E	-	282	723	-
32	BEYLER	İncesu	Kastamonu	Kaya	410	1120.00	40.00	31.00	1115.40	25.00	2.30	S	5137	-	-	-

Kaya = Rockfill

(*) Toprak = Earthfill

(**) S = Sulama
Irrigation

E = Enerji
Energy

Beton ağırlık = Concrete gravity

T = Taşkın kontrolu
Flood control

Beton kemer = Concrete arch

İ = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini
Domestic and industrial water supply

Kum + Çakıl = Sand + Gravel

Ç = Çevre koruma
Environmental protection

(***) Başka bir kuruluş tarafından inşa edilmektedir.
Being constructed by another organization.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İNŞA HALİNDEKİ BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
Dams & HEPP Under Construction

Sıra No. / Seq. No.	Adı / Name	Yeri / Location: Akarsuyu / River	Yeri / Location: İli / Province	Gövde dolgu tipi (*) / Embankment type	Gövde hacmi / Dam volume $10^3 m^3$	Kret kotu / Crest elevation m	Yüksekliği / Height: Temelden / From foundation m	Yüksekliği / Height: Talvegden / From river bed m	Normal su kotu / Normal water surface elevation m	Normal su kotunda Alt normal water surface elevation: Göl hacmi / Reservoir volume hm^3	Normal su kotunda Alt normal water surface elevation: Göl alanı / Reservoir area km^2	Amacı (**) / Purpose	Faydası / Benefit: Sulama alanı / Irrigation area ha	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Güç / Capacity MW	Faydası / Benefit: Enerji / Energy: Yıllık üretim / Annual generation GWh	Faydası / Benefit: Yıllık içmesuyu / Annual domestic water hm^3
33	ÇAMKÖY	Aystüdere	Balıkesir	Toprak	1115	187.50	43.50	40.00	185.00	8.70	0.69	Ç	-	-	-	-
34	BAYRAMİÇ	Akcin	Çanakkale	Toprak	3598	150.50	46.50	40.50	144.50	86.50	5.85	S	15800	-	-	-
35	MURSAL	Hükme	Sivas	Toprak	1670	1749.50	57.50	49.50	1746.00	14.85	0.88	S+E	1666	-	-	-
36	ARMAĞAN	Kocadere	Kırklareli	Toprak+Kaya	1517	435.50	60.50	57.50	430.33	51.00	3.00	S	5623	-	-	-
37	SULTANSUYU	Sultansuyu	Malatya	Toprak	2341	906.00	60.00	53.00	903.00	53.30	2.60	S	17614	-	-	-
38	SULTANKÖY	Manastır	Edirne	Toprak	1762	49.00	34.00	27.00	45.30	26.01	3.37	S	7773	-	-	-
39	SARIMEHMET	Karasu	Van	Kum+Çakıl	1038	2015.00	62.00	47.00	2008.85	134.00	10.30	S	17700	-	-	-
40	KİRAZDERE	Kirazdere	Kocaeli	Toprak+Kaya	5200	172.50	108.50	102.50	169.30	60.00	1.74	I	-	-	-	142
41	MURTAZA	Suludere	Niğde	Kaya	590	1877.00	41.00	38.00	1875.40	7.74	0.51	S	1000	-	-	-
42	SEFERHİSAR	Yassıçay	İzmir	Toprak	1500	149.00	59.00	54.00	144.10	29.10	1.79	S	1574	-	-	-
43	ÇAMLIGÖZE	Kelkit	Sivas	Toprak+Kaya	2086	755.00	37.00	32.00	750.00	50.00	4.70	E+T	-	16	88	-
44	GAZİBEY	Ostığıllüç	Sivas	Toprak	938	1436.50	55.00	45.50	1431.61	18.53	0.45	S	2386	-	-	-
45	KAYACIK	Aymıfar	Gaziantep	Kaya	1684	603.00	49.50	45.00	600.50	116.76	2.91	S	13680	-	-	-
46	ÖRENLER	Karaderik	Afyon	Toprak	526	1177.00	26.50	23.50	1171.90	20.90	3.25	S	3743	-	-	-
47	BADEMLİ	Bademli	Burdur	Toprak	945	1213.50	43.50	38.65	1209.30	6.30	0.80	S	507	-	-	-
48	ÇAMGAZİ	Kuzgun	Adıyaman	Toprak	6300	651.00	45.00	39.00	648.50	56.17	5.55	S	6532	-	-	-
49	ÇATAK	Soğuksu	Kastamonu	Kaya	120	1192.00	35.00	33.00	1190.00	0.42	0.10	I	-	-	-	0.5

(*) Toprak = Earthfill — Kaya = Rockfill — Beton ağırlık = Concrete gravity — Beton kemer = Concrete arch — Kum + Çakıl = Sand + Gravel

(**) S = Sulama Irrigation — E = Enerji Energy — T = Taşkın kontrolu Flood control — I = İçme - kullanma ve sanayi suyu temini Domestic and industrial water supply — Ç = Çevre koruma Environmental protection

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

EK 2

TESİS HALİNDE OLAN TERMİK SANTRALLAR

1936 YILINDA GİRENLER	
Soma-B IV. ünitesi	165 MW
Trakya Doğal Gaz II. i ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz III. cü ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz IV. cü ünite	100 MW
Yeniköy I. ci ünite	210 MW
Elbistan-Afşin-A III. cü ünite	340 MW
1987 YILINDA GİRECEKLER	
Afşin- Elbistan- A IV. cü ünite	340 MW
Yeniköy II. ci ünite	210 MW
Çayırhan I.ci ünite	150 MW
Çayırhan II. ci ünite	150 MW
Çatalağzı-B I. ci ünite	150 MW
Kangal I. ci ünite	150 MW
Trakya Doğal Gaz V. ci Kombine Çevrim ünitesi	100 MW
Trakya Doğal Gaz VI. cı Kombine Çevrim ünitesi	100 MW
1988 VE MÜTEAKİP YILLARDA GİRECEKLER	
Kangal II. ci ünite	150 MW
Seyitömer IV. cü ünite	150 MW
Kemerköy I. ci ünite	210 MW
Kemerköy II. ci ünite	210 MW
Kemerköy III. cü ünite	210 MW
Orhaneli I. ci ünite	210 MW
Soma-B V. ci ünite	165 MW
Soma-B VI. cı ünite	165 MW

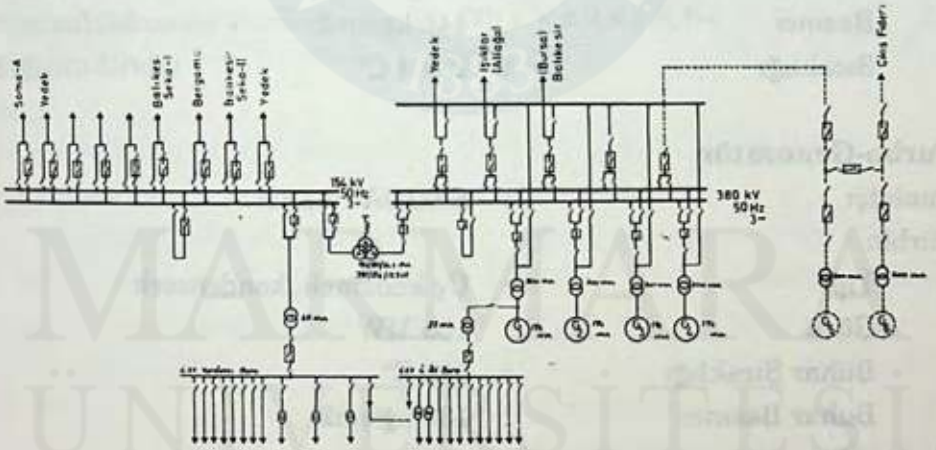
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

SOMA-B TERMİK SANTRALI ÇALIŞMA PRENSİP ŞEMASI.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Trakya Doğal Gaz VII. ci ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz VIII. ci ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz IX. cu ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz X. cu ünite	100 MW
Trakya Doğal Gaz XI. ci Kombine Çevrim ünitesi	100 MW
Trakya Doğal Gaz XII. ci Kombine Çevrim ünitesi	100 MW
Çatalağzı-B II. ci ünite	150 MW

Soma-B Termik Santralı V. ve VI ünitelerinin dizaynında da yukarıda verilen ve ilk dört üniteye ait olan teknik veriler esas alınmış, ancak bu ünitelerde yakılacak kömürün kalorifik değerinin önceki ünitelerde yakılan kömüre göre çok düşük olması nedeniyle değirmen tipleri ve kapasitelerinde değişiklik yapılmış, aynı sebeple kazan boyutları, kömür hazırlama ve kül atma kapasiteleri de büyütülmüş, önceki ünitelerde 150 m olan baca yüksekliği ise 275 m'ye çıkartılmıştır.



SOMA-B TERMİK SANTRALI
TEK HAT PRENSİP ŞEMASI

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

SOMA-B TERMİK SANTRALI TEKNİK KARAKTERİSTİKLERİ

Kazan		
İmalatçı	:	Tilmace CSSR
Tip	:	Tabii sirkülasyonlu, kule seksiyon
Nominal Buhar Kapasitesi	:	525 ton/saat
Kızgın Buhar		
Basıncı	:	142 kg/cm2
Sıcaklığı	:	540 C°
Tekrar Kızdırılmış Buhar		
Basıncı	:	32 kg/cm2
Sıcaklığı	:	540 C°
Besleme Suyu		
Basıncı	:	146 kg/cm2
Sıcaklığı	:	234.4 C°
Turbo-Generatör		
İmalatçı	:	SKODA PLZEN
Türbin		
Tipi	:	Üç kademeli, kondenserli
Gücü	:	165 MW
Buhar Sıcaklığı	:	535 C°
Buhar Basıncı	:	136 kg/cm2
Generatör		
Tipi	:	Hidrojen soğutmalı, statik ikazlı
Nominal Gücü	:	164,12 MWA
Çıkış Gerilimi	:	15 KV
Güç Faktörü	:	0,85
Devir Sayısı	:	3000 devir/dakika

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Kömür Değirmenleri

Tip	:	Fan tipi, ön çekiçli
Adet	:	6 (5 + 1 yedek) değirmen/ünite
Kapasite	:	37 ton/saat/değirmen

Kül Tutucuları (elektrofiltreler)

Tip	:	Elektrostatik
Toz Tutma Verimi	:	% 99

Soğutma Kuleleri

Tip	:	Cebri çekişli
Sirkülasyon Suyu Miktarı	:	23500 m3/saat

Ana Yükseltici Grup Trafosu

İmalatçı	:	SKODA
Gücü	:	200 MVA
Nominal Primer Gerilim	:	15 KV ± % 5
Nominal Sekonder Gerilim	:	420 KV ± 2 x 2,5 Kv
Bağlantı Grubu	:	YNd ll

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

EK . 3

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



1200 MW TRAKYA DOĞAL GAZ SANTRALI

Santralın Yeri	:	Lüleburgaz - Kırklareli	
Kurulu Güç (MW)	:	Baz yükte 593	593
		Pik yükte 641	641
Yıllık Üretim (Milyar kwh)	:	3,6	3,6
Yakıt	:	Doğal Gaz	
Yıllık Yakıt İhtiyacı (Milyon m3)	:	720	720
Sözleşme Bedeli ($) Dış	:	107.000.000.-	104.500.000.-
1984 (TL) İç	:	17.198.544.000.-	17.000.000.000.-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJE HAKKINDA GENEL BİLGİ

Çok verimli bir Termik Santral olarak planlanan Trakya Doğal Gaz Santralı başlıca şu ünitelerden oluşmaktadır:

1 - Doğal gazın yanma hücresinde patlatılmasından doğan ısıyı % 32 verimle mekanik ve elektrik enerjisine çeviren gaz turbo-generatörleri.
2 - Gaz türbininin egzosundan çıkan artık ısıdan % 80 verimle buhar üreten artık ısı kazanları,
3 - İki adet kazandan alınan buharı % 32 verimle elektriğe dönüştüren buhar turbo-generatörleri,
4 - Buhar Çevrimini sağlayan tamamen kapalı tipteki Heller - Forgo soğutma sistemi,
5 - 10.5 kV gerilim seviyesinde üretilen elektriğen ulusal enerji şebekemize verilmesini sağlayan 10.5/400 kV ana trafolar ve şalt sistemi.

Bu santraldaki önemli parçaların ana özellikleri de şu şekildedir.

Gaz Türbini		
İmalatçısı	:	BBC - B. Almanya
Adedi	:	8
Nominal Gücü (MW)	:	95 (baz)
Net Verimi (%)	:	32.1
T. Giriş Sıcaklığı (°C)	:	1000
T. Egzos Sıcaklığı (°C)	:	500
Gaz Tüketimi (m3/h)	:	28.700 (baz yükte)
Yanma Hücresi:	:	1
Türbin	:	5 kademeli
Gaz Türbini Generatörü	:	
İmalatçı	:	BBC-B. Almanya
Tip	:	KT, hava soğutmalı, statik ikazlı
Adedi	:	8
Güç (MVA)	:	125
Gerilim (kV)	:	10,5
Frekansı (Hz)	:	50

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Güç faktörü	:	0,8

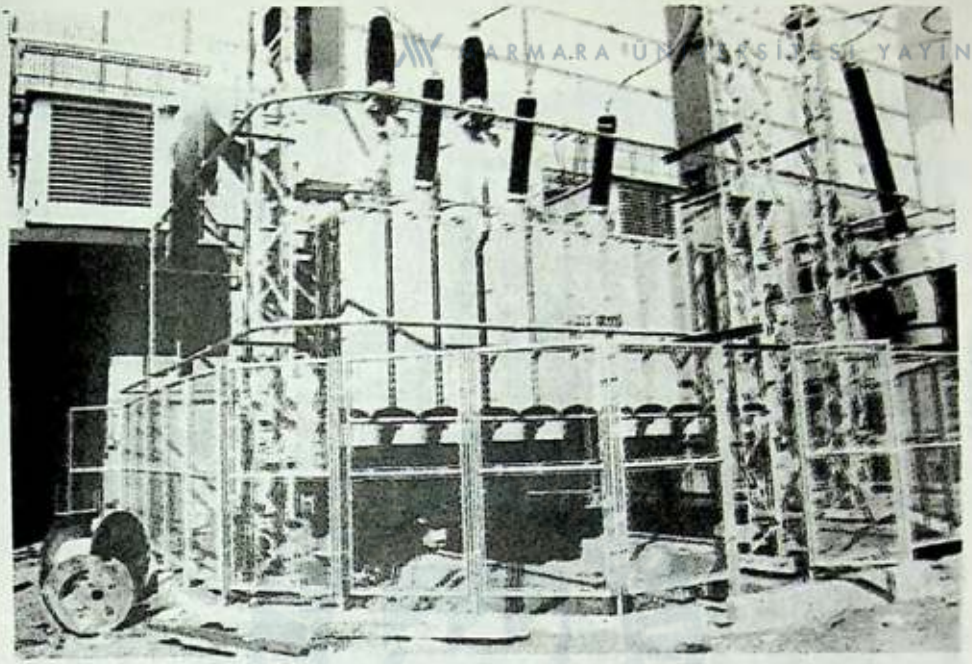
Gaz Türbini Trafosu

İmalatçı	:	AEG - ETİ
Gücü (MVA)	:	125
Tipi	:	Harici
Adedi	:	8
Soğutması	:	Cebri, hava soğutmalı
Nominal gerilim	:	10.5/400 kV (6 Adet) + 10,5/ 154 kV (2 Adet)
Kademe	:	Boşta ± 2 x 2,5 %

Buhar Türbini Trafosu

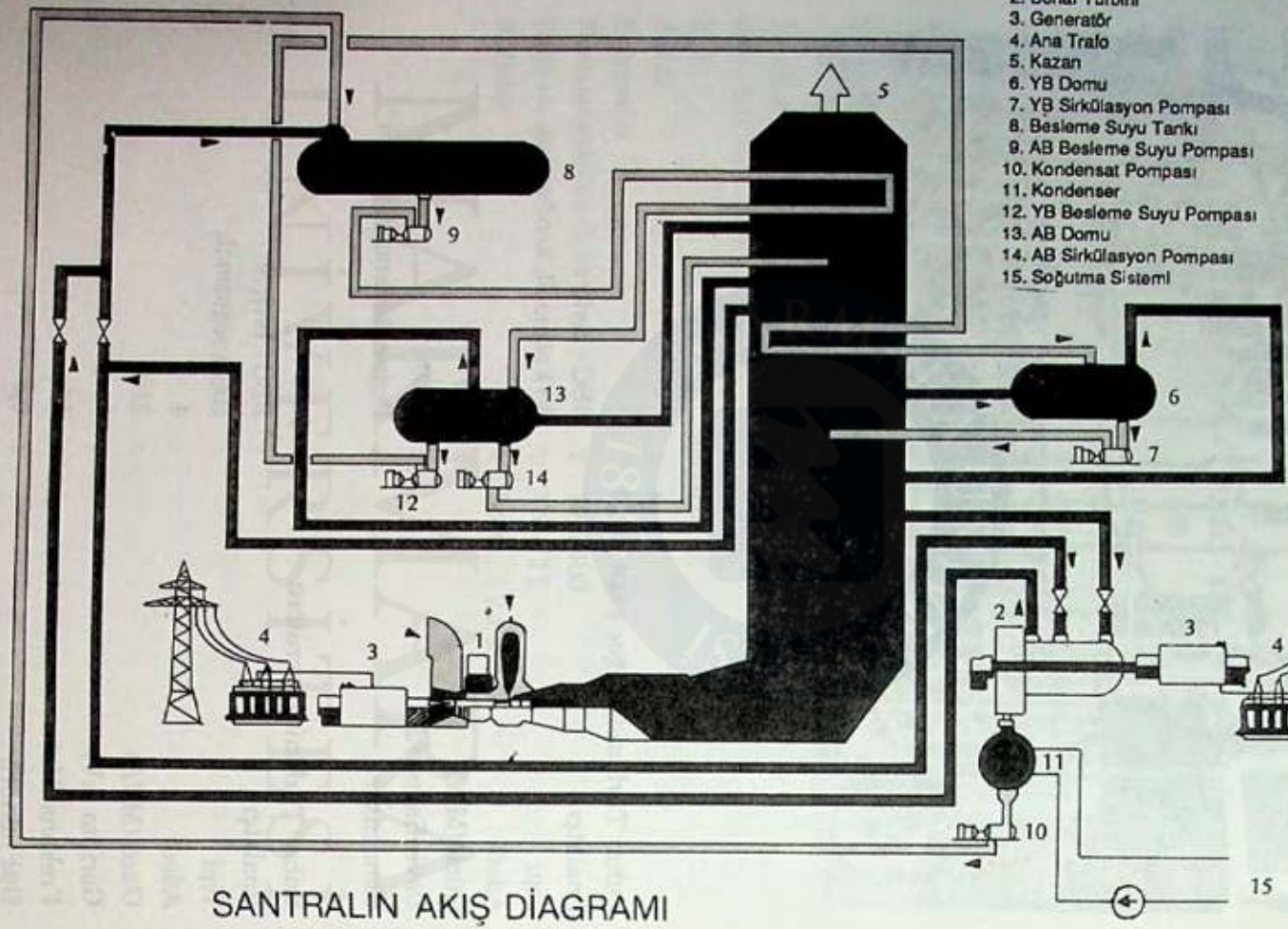
İmalatçı	:	AEG - ETİ
Gücü (MVA)	:	137,5
Tipi	:	Harici
Adedi	:	4
Soğutması	:	Cebri hava soğutmalı
Nominal gerilimi (kV)	:	10,5/400
Bağlantı grubu	:	YN d 11
Kademe	:	Boşta, ± 2 x 2,5 %

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Trafo

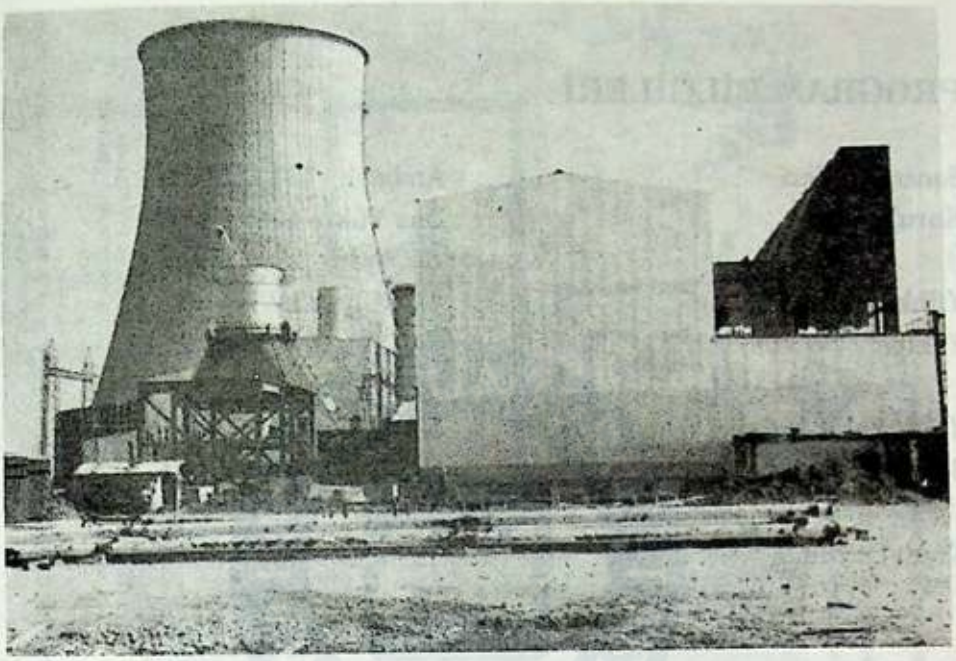
Buhar Türbini		
İmalatçı	:	BBC - İsviçre
Tipi	:	İki kademeli, kondenserli
Adedi	:	4
Gücü (MW)	:	110
Devir Sayısı (d/d)	:	3000
Kondenser	:	Doğrudan temaslı jet tipi
Buhar Türbini Generatörü		
İmalatçı	:	BBC - İsviçre
Tipi	:	Hava soğutmalı
Adedi	:	4
Gücü (MVA)	:	140
Gerilim (kV)	:	10.5
Frekans (Hz)	:	50
Güç faktörü	:	0,8



SANTRALIN AKIŞ DİAGRAMI

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Soğutma Kulesi

Soğutma Kulesi

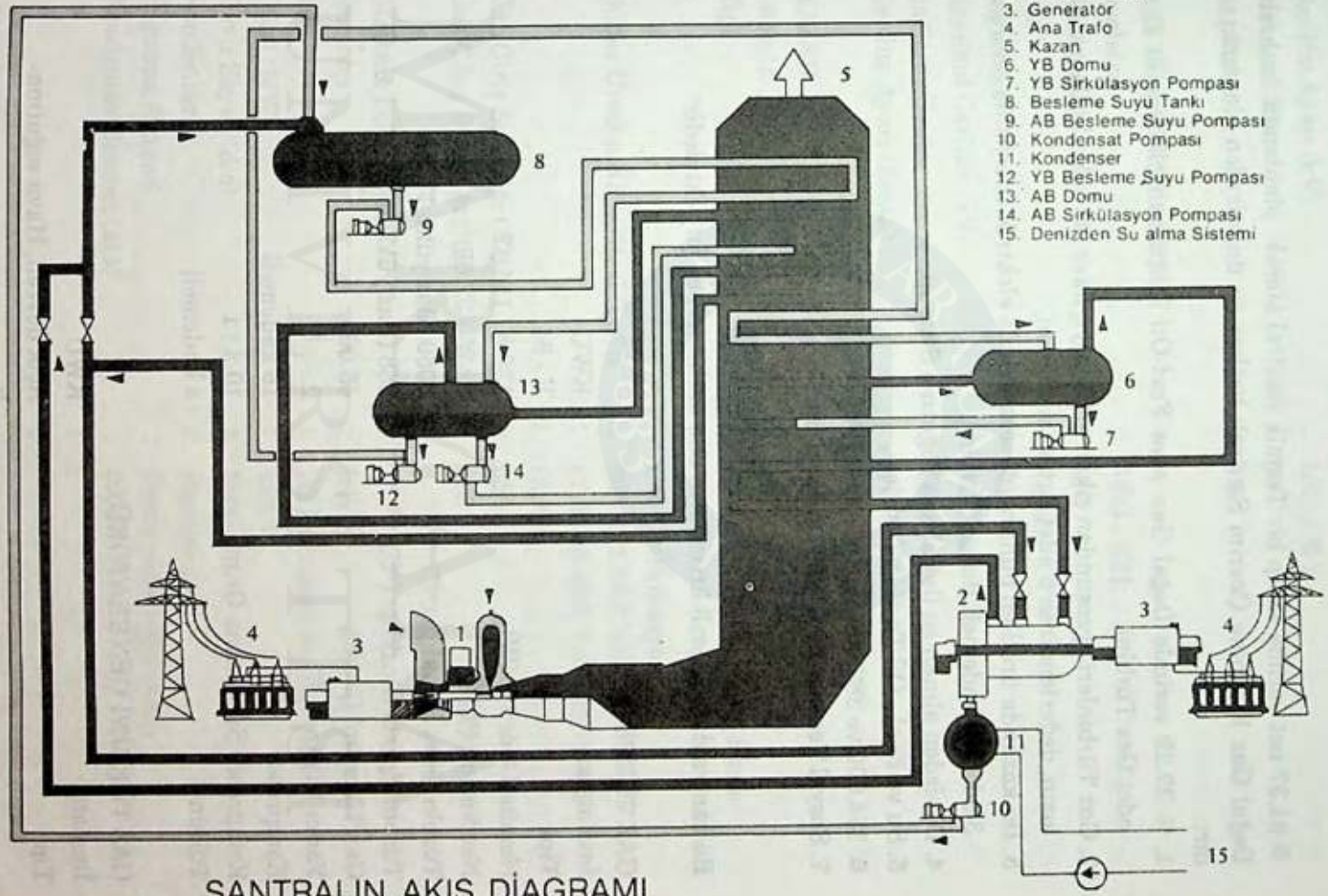
Mekanik Kısım İmalatçısı	:	EGI-Transelektro-Macaristan
İnşaat İşleri	:	ENKA
Tipi	:	Parabolik, betonarme, tabii çekişli
Adedi	:	2
Üst çapı (m.)	:	70
Alt çapı (m.)	:	121
Yükseklik (m.)	:	135
Soğutma Deltaları	:	148 Adet
Pompaları	:	Türbin tipi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROGRAM BİLGİLERİ

Santralın Yeri	:	Ambarlı - İSTANBUL
Kurulu Güç	:	Baz Yükte 1350.9 MW Pik Yükte 1500 MW
Yıllık Üretim	:	8.1 Milyar kWh
Yakıt	:	DOĞAL GAZ veya FUEL-OİL
Yıllık Yakıt İhtiyacı	:	1.6 Milyar m3 (Doğal Gaz)
Sözleşme Bedeli	:	DIŞ 572.6 Milyon DM İÇ 95.25 Milyar TL.
Kredi Durumu	:	Yerli para dahil, % 100 Dış Kredili

İŞLETMEYE ALMA SÜRELERİ	AY
I. Gaz Türbini	10
II. Gaz Türbini	11.5
III. Gaz Türbini	13
IV. Gaz Türbini	14.5
V. Gaz Türbini	16
VI. Gaz Türbini	17.5
I. Buhar Türbini	26
II. Buhar Türbini	28
III. Buhar Türbini	30



SANTRALIN AKIŞ DİAGRAMI

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

PROJENİN GENEL İZAHI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

% 51.37 net verime sahip bir Termik Santral olarak planlanan Ambarlı Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı başlıca şu ünitelerden oluşmaktadır;

1. % 32.22 verimle Doğal Gaz veya Fuel-Oil ile çalışan çift yakıtlı altı adet Gaz Türbini,
2. Gaz Türbinleri egzosundan çıkan artık ısıyı, ilave bir yakıt kullanmaksızın, değerlendiren 6 adet Artık Isı Kazanı,
3. İki kazanda üretilen buharı yüksek verimle elektrik enerjisine çeviren 3 adet iki kademeli Buhar Türbini,
4. Denizden alınan su ile çalışan Soğutma Sistemi,
5. Su ve Fuel - Oil Tasfiye Tesisleri,
6. 154.000 ve 380.000 Volt'luk Ana Trafo ve Şalt Sistemi,
7. Sosyal Tesisler ve Diğer Yardımcı binalar.

Bu santraldaki önemli kısımların ana özellikleri de şu şekildedir:

GAZ TÜRBİNİ		
İmalatçısı	:	KWU
Tipi	:	V - 94
Nominal Gücü (MW)	:	138.8 / 154.42
Net Verimi (%)	:	32.25 / 32.69
Türbin Giriş Sıcaklığı (°C)	:	1050 (Baz yükte)
Türbin Egzost Sıcaklığı (°C)	:	558 (Baz yükte)
Gaz Tüketimi (m3/h)	:	45.000
Yanm Hücresi	:	2
Kompresör	:	16 kademeli
Kompresör Sıkıştırma Oranı	:	10.3 : 1
Türbin	:	4 kademeli
GAZ TÜRBİNİ GENERATÖRÜ		
İmalatçı	:	KWU
Tip	:	Açık devreli, Hava soğutmalı

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Güç (MW)	:	13,8
Gerilim Ayarı (kV)	:	10.5 ± % 5
Frekansı (Hz)	:	50
Güç Faktörü	:	0.8

GAZ TÜRBİNİ TRAFOSU

İmalatçı	:	AEG - ETİ
Gücü (MVA)	:	180
Tipi	:	Harici
Soğutması	:	Cebri
Nominal Gerilim (kV)	:	10.5/400
Bağlantı Grubu	:	YN d 1
Gerilim Ayarı (Boşta)	:	± % 5

KAZAN

İmalatçı	:	SGP
Tipi	:	İki kademeli, Artık Isı Kazanı Cebri sirkülasyon
Buhar Üretim Kapasitesi (kg/h)	:	231.021,80.1 ata, 526 °C (Y.B) 46.420, 7.42 ata, 199°C (A.B)
Gaz Giriş Sıcaklığı (°C)	:	558
Gaz Çıkış Sıcaklığı (°C)	:	105

BUHAR TÜRBİNİ

İmalatçı	:	KWU
Tipi	:	İki kademeli, kondenserli
Gücü (MW)	:	172,7
Devir Sayısı (d/d)	:	3000
Kondenser	:	Eşanjör tipi
Soğutma Sistemi	:	Deniz suyu soğutmalı
Kondenser Basıncı (ata)	:	0.04

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

BUHAR TÜRBİNİ GENERATÖRÜ

İmalatçı	:	KWU
Tipi	:	H2 Soğutmalı
Gücü (MVA)	:	216
Gerilim (kV)	:	15.75 ± % 5
Frekans (Hz)	:	50
Güç Faktörü	:	0.8

BUHAR TÜRBİNİ TRAFOSU

İmalatçı	:	AEG - ETI
Gücü (MVA)	:	200
Tipi	:	Harici
Soğutma Sistemi	:	Cebri
Nominal Gerilimi (kV)	:	15.75 / 400
Bağlantı Grubu	:	YN a 1
Gerilim Ayarı (Boşta)	:	± % 5

SOĞUTMA SİSTEMİ

Soğutma suyu	:	Deniz suyu
Soğutma Suyu Debisi (m3/h)	:	3 x 36.000
Soğutma Suyu Boru Çapı (m)	:	2.25
Soğutma Suyu Hat Sayısı	:	3
Soğutma Suyu Toplam Boru Uzunluğu (m)	:	3 x 800 (Karada) 3 x 500 (Denizde)
Pompa Sayısı	:	6
Pompa Kapasitesi (m3/h)	:	18.000
Motor Gücü (kW)	:	1000

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

KİTABIN HAZIRLANMASINDA YARARLANILAN BAŞLICA KAYNAKLAR

1. Aybers, N., "Mühendislik Termodinamiğinin Esasları", 4. Baskı, Arpaz Matbaacılık, İstanbul, 1974.
2. Barrows, H. K., "Water Power Engineering", 3rd ed., Mc Graw - Hill, New York, 1943.
3. Baumeister, T., "Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers", 7th ed., Mc Graw-Hill, New York, 1967.
4. Bayram, M., "Elektrik Tesisleri Dersleri - Cilt 1", 3. Baskı, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1978.
5. Dönmezer, H., "Su Kuvveti Tesisleri-1. ve 2. Kısım", 2. Baskı, İDMMA Yayınları, İstanbul, 1976.
6. Ergin, A., "Su Makinaları - Ders Notu", 3. Baskı, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1979.
7. Eyice, S., "Buhar Türbinleri", İDMMA Yayınları, Cilt 1 (3. Baskı), 1974; Cilt 2 (2. Baskı), 1975; Cilt 3 (2. Baskı), 1974; Cilt 4, 1969.
8. Fink, D. G. and W. H. Beaty, "Standard Handbook for Electrical Engineers", Mc Graw-Hill, New York, 1978.
9. Gaffert, G. A., "Steam Power Stations", 4th ed., Mc Graw-Hill, New York, 1952.
10. Hano, I., "Operating Characteristics of Electric Power Systems", Denki Shoin, Tokyo, 1967.
11. Heper, Y., "Buhar Santralları", T.E.K. Eğitim Dairesi Başkanlığı Yayınları, 2. Baskı, Ankara, 1983.
12. Kirchmayer, L.K., "Economic Operation of Power Systems", Wiley, New York, 1958.

13. Linsley, R. K. and J. B. Franzini, "Water Resources Engineering", Mc Graw-Hill, New York, 1964.

14. Peşint, A., "Elektrik Santralları Enerji İletimi ve Dağıtımı" 4. Baskı, Çınar matbaacılık, İstanbul, 1988

15. Wood, A.J., Wollenberg, B.F., "Power Generation, Operation and Control", John Wiley and Sons, New York, 1984

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

A
Aksiyon Türbini 71
Amortisman Masrafı 42
Artımsal Maliyet 98
Atomizer 91

B
Baraj 103
Baz Yük Santralı 52
Birim Enerji Maliyeti 44
Buhar Santralı 49

C
Carnot Çevrimi 11

Ç
Çalışma Süresi 31

D
Debi 26
Doğal Gaz 25
Doyma Noktası 12
Diesel Santral 88
Demeraj 93

E
Ejektör 79
Eksenel Türbin 71
Entalpi 7
Entropi 7
Elektrik Tesisi 16
Enerji 16
Eş Zamanlık Katsayısı 32

F
Francis Türbini 119
Faydalanma Katsayısı 37

G
Gaz Türbini 85
Gaz Sabiti 4
Güç 17
Günlük Yük Eğrisi 30
Gurup Sayısı 39

H
Ham Enerji 22
Hız Katsayısı 82
Hidrolik Santral 39

I
Islak Buhar 12
Isıl Değer 22
Isı 1

İ
İç Enerji 7
İşletme Aracı 15
İşletme Süresi 31
İç İhtiyaç Gücü 37

K
Kurulu Güç 32
Kazan 58
Kombine Türbin 77
Kondanse 77
Kömürleme Gazı 25
Kavitasyon 112
Kritik Kavitasyon 112
Kaplan Türbini 125
Kritik Değer 13
Kesici 15

Kayıp Derecesi 38

M
Monoblok Sistem 129
Mutlak Basınç 3
Maliyet 17
Magnetohidrodinamik 19

N
Nükleer Santral 94

O
Otomasyon 20
Ortalama Güç 31
Orta Yük Santralı 52

Ö
Özgül Isı 2
Özgül Hacim 3

P
Pulvarizasyon 68
Pelton Türbini 114
Puant Güç 33
Peak Yük Santralı 52

R
Radyal Türbin 71
Reaksiyon Türbini 72
Rezerv Katsayısı 37

S
Soğutma 79
Salyangoz 120
Su Jeti 116
Süper İletken 21
Santral Gücü 37

T
Türbin 71
Türbin Verimi 107
Tahrik Makinası 15
Tesis Maliyeti 42

Ü
Üretim Maliyeti 42

V
Viskozite 24

Y
Yedek Güç 37
Yük 17
Yakıt 22
Yanma Noktası 23
Yanma 27
Yük Değiştirme oranı 31
Yükleme Katsayısı 32

Z
Zincir Reaksiyonu 95

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

ISBN: 975 - 400 - 235 - 5

Marmara Üniversitesi
Döner Sermaye İşletmesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Matbaa Biriminde Basılmıştır.