

TERMİK SANTRALLERİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Erkin TEKEL

Ağustos 2006
DENİZLİ

TERMİK SANTRALLERİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

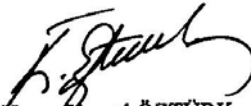
Erkin TEKEL

Danışman: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

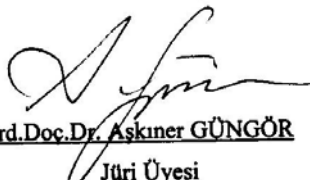
**Ağustos, 2006
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Erkin TEKEL tarafından Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK yönetiminde hazırlanan “**Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK
Jüri Başkanı (Danışman)


Doç. Dr. Nazım USTA
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Aşkın GÜNGÖR
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.../.../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e, kendi yoğun temposuna rağmen her zaman özveriyle yardımına koşan değerli arkadaşım Araş.Gör. Öner ATALAY'a ve termik santraller ile ilgili ihtiyaç duyduğum tüm bilgileri hiç zorluk yaşatmadan veren Yatağan Termik Santrali Baş Mühendisi Hüseyin Çetin ile Seyit Ömer Termik Santrali yetkililerine sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı sevgiyle yapmış olan aileme ve bu çalışmanın en büyük gizli destekçisi sevgili eşime, her zaman yanımda olarak bana sonsuz bir güven aşıladıkları için çok teşekkür ederim.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza : 
Öğrenci Adı Soyadı : Erkin TEKEL

ÖZET

TERMİK SANTRALLERİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Tekel, Erkin

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Ağustos 2006, 99 Sayfa

Türkiye; genç ve büyümekte olan nüfusuyla, kişi başına düşük enerji tüketimiyle, hızlı kentleşmesiyle ve güçlü ekonomik gelişimiyle, yaklaşık son yirmi yılda dünyanın en hızlı büyüyen ve en önemli pazarlarından birisi haline gelmiştir. Öyle ki, son yıllarda elektrik üretimindeki artış, elektrik talebindeki artışı karşılayamamaktadır. Enerji refah seviyesinin bir göstergesi ve ekonomik büyümenin en önemli etkenlerinden birisi olarak algılanmaktadır. Ekonomik ve sosyal gelişimin sürekliliğini koruyabilmek için de enerji tasarrufunun ve çevreyi korumanın gerekliliği bilinmektedir. Enerji ve sürdürülebilir gelişme arasında sıkı bir bağ vardır. Her ne kadar tüm enerji kaynaklarının az veya çok çevresel etkileri olsa da, verimli enerji tüketimiyle bu olumsuz etkileri en aza indirmek mümkündür. Ekserji ise, termodinamiğin ikinci kanunundan yola çıkarak kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu prensiplerine dayanan ve enerji sistemlerinin tasarım ile analizlerinde kullanılan verimli bir metot olarak tanımlanabilir. Ekserji, düşük kaliteli ve yüksek kaliteli enerji kaynaklarının ayırt edilmesindeki en önemli etkenlerden birisidir. Bu ayrımı ise enerji analizleriyle yapmamız mümkün değildir. Zira enerji analizleri enerjinin kalitesi değil ancak miktarı hakkında bilgi edinebilmemizi sağlar.

Bu çalışmada ekserji analizlerini tanımlamak için gerekli temel prensipler ve üç eş ölçülü linyit santralının ekserji analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, üç farklı elektrik enerjisi üretim santralının verimlilik analizlerinin hesaplanması ve enerji ile ekserji dengelerinin kıyaslanmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, verimlilik, elektrik enerjisi, ekserji.

Doç.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Doç.Dr. Nazım USTA

Yrd.Doç.Dr. Aşkîner GÜNGÖR

ABSTRACT**ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF THERMAL POWER PLANTS**

Tekel, Erkin

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

August 2006, 99 Pages

With a young and growing population, low per capita electricity consumption, rapid urbanization and strong economic growth, Turkey is one of the fastest growing power markets in the world, for nearly two decades. The growth in electricity generation in recent years was below growth in electricity demand. Energy is considered to be a key player in the generation of wealth and also a significant component in economic development. It is necessary for sustainable development of social and economy to save energy and protect environment. There is an intimate connection between energy and sustainable development. However, since all energy resources cause to some environmental impact, it is reasonable to suggest their negative impacts can be overcome using the energy efficiently. Exergy could be considered as an effective method using the conservation of mass and conservation of energy principles together with the second law of thermodynamics for the design and the analysis of energy systems. Exergy is one of the most significant component to distinguish high-quality and low-quality energy sources. It is not possible to do it by energy analysis since energy analysis gives information on the quantity not on the quality.

This study presents the basic principles required to describe the exergy analyses for three same sized lignite power plants. The aim of this study is to analyse the efficiency of three electricity power plants to compare the energy and exergy balance.

Keywords: Energy, efficiency, electrical energy, exergy.

Assoc.Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Assoc.Prof.Dr. Nazım USTA

Asst.Prof.Dr. Aşkner GÜNGÖR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	i
Teşekkür.....	ii
Bilimsel Etik Sayfası.....	iii
Özet.....	iv
Abstract.....	v
İçindekiler.....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	ix
Simge ve Kısaltmalar Dizini.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ.....	10
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji.....	10
3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ.....	20
3.1. Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	20
3.2. Hidroelektrik Sistemler.....	21
3.3. Termik Sistemler.....	22
3.3.1. Katı yakıtlı (kömür-linyit) termik santraller.....	24
3.3.2. Kombine çevrimli (sıvı-gaz yakıtlı) termik santraller.....	24
3.3.3. Nükleer enerji santralleri.....	24
3.4. Jeotermal Enerji Sistemleri.....	25
3.5. Rüzgar Enerjisi Sistemleri.....	27
3.6. Güneş Enerjisi Sistemleri.....	29
3.7. Hidrojen Enerjisi Sistemleri.....	30
4. KATI YAKITLI TERMİK SANTRALLER.....	32
5. EKSERJİ ANALİZİ.....	42
5.1. Ekserjinin Tanımı.....	42
5.2. Ekserjinin Önemli Boyutları.....	47
5.3. Ekserjinin Önemi.....	47
5.4. Ekserji ve Çeşitleri.....	50
5.4.1. Ölü hal.....	50
5.4.2. Fiziksel ekserji.....	51
5.4.2.1. İdeal gazların fiziksel ekserjileri.....	52
5.4.2.2. Katı ve sıvıların fiziksel ekserjileri.....	52
5.4.3. Kimyasal ekserji.....	52
5.4.3.1. Standart kimyasal ekserji.....	52
5.4.3.2. Gaz karışımlarının kimyasal ekserji.....	53
5.4.3.3. Yakıtların kimyasal ekserjileri.....	53
5.4.4. Isıl ekserji.....	55
5.4.5. İş ekserjisi.....	55
5.4.6. Isı transferinin ekserjisi.....	55
5.5. Ekserji Kaybı.....	55
5.5.1. Kısmi olayında meydana gelen ekserji kaybı.....	56
5.5.2. Sürtünmeden dolayı ekserji kaybı.....	56
5.5.3. Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferinde ekserji kaybı.....	56
5.5.4. Çeşitli ısıl prosesler için ekserji kayıplarının karşılaştırılması.....	57

5.6. Ekserjinin Açık ve Kapalı Sistemler Açısından Ele Alınması.....	58
5. ÖRNEK UYGULAMA.....	62
5.1. Santrallerin Ekserji Analizleri.....	65
6. SONUÇ.....	94
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Dünya birincil ticari enerji tüketiminde kaynak payları	2
Şekil 1.2 Dünya ana petrol ticaret ağı	3
Şekil 1.3 Dünya ana doğalgaz ticaret ağı	3
Şekil 2.1 Türkiye’de hidrolik kurulu güç ve elektrik üretimi	13
Şekil 2.2 Türkiye’de yıllara göre birincil enerji üretim ve tüketimi	17
Şekil 3.1 Türkiye’de bulunan başlıca termik santraller	23
Şekil 3.2 Kombine çevrimli bir termik santralin şeması	25
Şekil 3.3 Nükleer ısı ile ilgili uygulamalar	26
Şekil 3.4 Değişik rüzgar türbinlerinin güç faktörleri	28
Şekil 3.5 Yatay eksenli bir rüzgar türbininin ana elemanları	29
Şekil 3.6 Bir fotovoltaiik sistem şeması	30
Şekil 4.1 Seyit Ömer Termik Santrali genel görünümü	32
Şekil 4.2 Park sahası ve transportlar	33
Şekil 4.3 Türbin iç görünüşü	37
Şekil 4.4 Türbin yatağı ve alternatör mili	38
Şekil 4.5 Alternatör	39
Şekil 4.6 Ana trafo	40
Şekil 4.7 Şalt sahası	40
Şekil 5.1 Bir prosesin ekserji verimi ile yıkım, kaynak tüketimi ve kayıp ekserji emisyenları arasındaki ilişki	48
Şekil 5.2 Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesi gösterimi .	51
Şekil 5.3 Çeşitli termal prosesler için ekserji kayıpları	57
Şekil 6.1 Termik santral çalışma şeması	63

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Bölgelere göre kanıtlanmış dünya yakıt rezervleri tablosu.....	4
Tablo 2.1 DSİ tarafından hesaplanan ve yeni kriterlere göre tahmin edilen ekonomik üretim potansiyelleri ve kurulu güçler	11
Tablo 2.2 Türkiye'nin en büyük beş adet barajlı ve beş adet doğal göl – akarsu Sistemli hidroelektrik santralleri	12
Tablo 2.3 Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları üretimi tablosu.....	18
Tablo 2.4 Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları tüketimi tablosu	19
Tablo 3.1 Türkiye'de bulunan başlıca termik santraller.....	22
Tablo 5.1 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması.....	48
Tablo 5.2 Bazı maddelerin standart kimyasal ekserjileri	53
Tablo 5.3 Bazı yakıtların kimyasal ekserjilerinin alt ve üst ısıl değere oranı	54
Tablo 6.1 Santrallere ait türbin karakteristikleri.....	64
Tablo 6.2 Santrallere ait jeneratör karakteristikleri.....	64
Tablo 6.3 Yatağan Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 14,4 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	66
Tablo 6.4 Seyit Ömer Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 11,6 °C için enerji ve ekserji değerleri	67
Tablo 6.5 Orhaneli Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 14,4 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	68
Tablo 6.6 Yatağan Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	85
Tablo 6.7 Seyit Ömer Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	86
Tablo 6.8 Orhaneli Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	87
Tablo 6.9 Yatağan Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	88
Tablo 6.10 Seyit Ömer Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	89
Tablo 6.11 Orhaneli Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	90
Tablo 6.12 Yatağan Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	91
Tablo 6.13 Seyit Ömer Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	92
Tablo 6.14 Orhaneli Termik Santraline ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri.....	93

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABT	Alçak basınç türbini
AC	Alternatif akım
B	Ekserji
BTEP	Bin ton petrol eşdeğeri
BWR	Kaynar su reaktör
CANDU	Ağır su reaktör
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
DC	Doğru akım
DSİ	Devlet Su İşleri
E	Enerji
EÜAŞ	Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GCR	Gaz soğutmalı reaktör
GSMH	Gayri safi milli hasıla
GWh	Gigawatt-saat
h	Entalpi
H	Yakıt ısı değeri
HES	Hidroelektrik santrali
HTGR	Yüksek ısı gaz soğutmalı reaktör
Hz	Hertz
I	Tersinmezlik
K	Kelvin
kJ	Kilo joule
kmol	Kilo mol
kPa	Kilo paskal
kWh	Kilowatt-saat
LMFBR	Sıvı-metal hızlı geçişli reaktör
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
m	Debi
mA	Mili amper
MBTU	Milyon BTU
MeV	Milyon elektron volt
MPa	Milyon paskal
MTA	Maden Tetkik Arama
MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
MW _e	Megawatt elektrik
MW _t	Megawatt termal
NASA	Ulusal Amerikan Uzay Ajansı
OBT	Orta basınç türbini
OECD	İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
P	Basınç
PPM	Milyon başına partikül sayısı
PWR	Basınçlı su reaktör
RPM	Dakikada devir sayısı
Q	Isı transferi miktarı

s	Entropi
T	Sıcaklık
TEAŞ	Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
TW	Terrawatt
TWh	Terrawatt-saat
u	İç enerji
V	Volt
W	İş
YBT	Yüksek basınç türbini
Φ	Yakıt ekserjisinin yakıt ısı değerine oranı
η	Verim

1. GİRİŞ

Her ne kadar enerjinin tam bir tanımını yapmak zor olsa da, bilimsel anlamda “bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği” veya başka bir deyişle “değişikliklere yol açan etken” olarak tanımlanabilir (Çengel ve Boles 1996).

Enerjinin ustaca kullanılışı, yaşamı sürdürmek ve sosyal olarak gelişmede insanoğlunun kabiliyetinin temel bir unsurunu oluşturur. İnsanoğlu ısınma için yakıtı ilk kullandığında, bir enerji kaynağını kullanmadaki ilk adımı atmıştır.

Fiziksel rahatlığı sağlamada ve yaşamı sürdürmenin ötesinde hayatın kalitesini arttırmada, bir yakıtı temin etmenin geliştirilmesinde enerjinin kullanımı önemlidir. Enerjinin kullanımı, kaynakların ve onları kullanmadaki ustalığın gelişimine bağlıdır. Keşfedildiği günden beri enerji kaynakları her zaman insanlığa hizmet etmiştir.

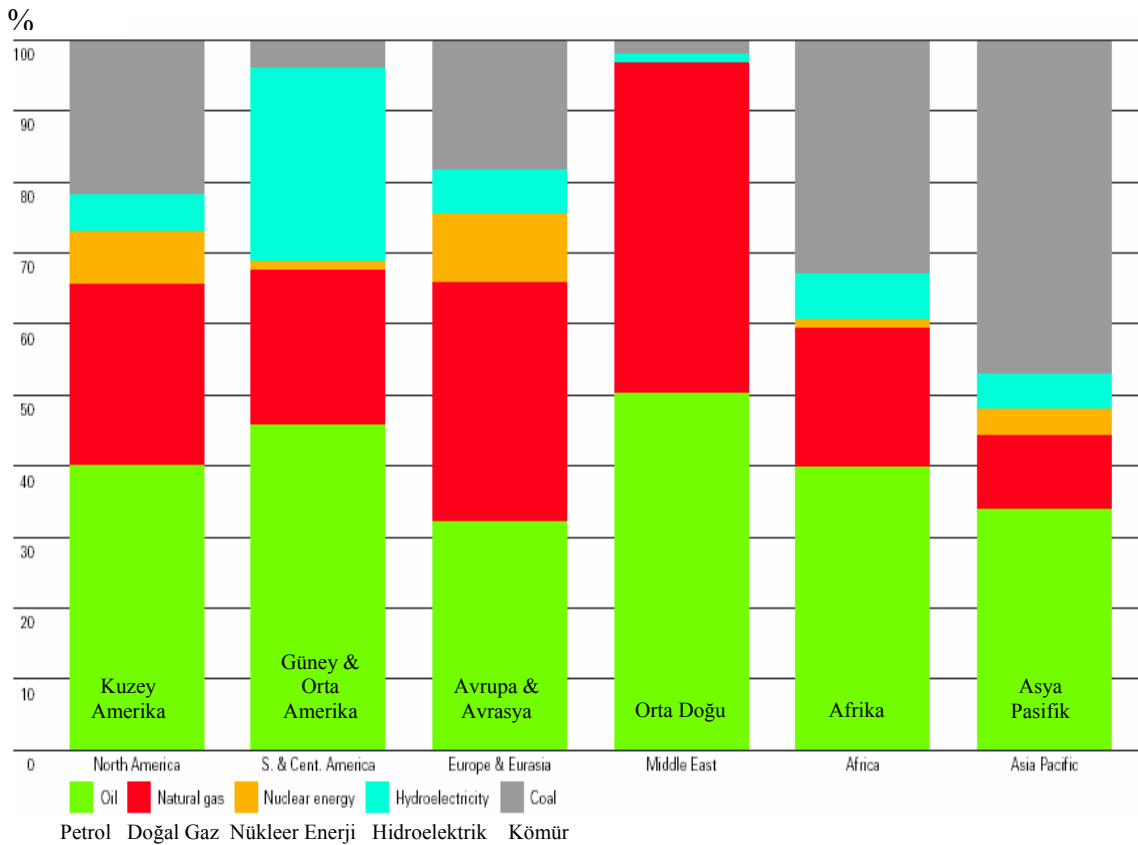
İnsanoğlu tarafından kullanılan enerjinin çoğu, nükleer enerji ortaya çıkana kadar güneşten kaynaklanmaktaydı. Güneş enerjisi fotosentez yoluyla bitkiler tarafından soğurulur ve depo edilir, böylece gıda maddelerinde bulunan enerjiyi sağlarlar. Kömür ve petrol enerjileri de güneşten türetilirler. Bu yakıtlar milyonlarca yıl önce yaşamış bitkilerin çürümesinden türemişlerdir.

Güneşten gelen enerji aynı zamanda atmosferdeki rüzgarları da oluşturur. Bu da yıllardan beri rüzgar çarklarını çalıştırmaktadır. Öte yandan nehirlerde akan su çarklarını ve türbinleri çalıştıran yağmur da güneş enerjisi sayesinde oluşmaktadır.

Fosil yakıt kaynakları tam olarak son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır. İnsanlar önceleri daha çok güneş ısıtmasına, hayvan gücüne ve rüzgar enerjisine bağlı idiler. Doğadaki enerjiyi faydalı enerjiye çeviren güç donanımlarının geçmişi, yakın bir tarihi gelişime sahiptir. Hayvanların tarih öncesinde ehlileştirilmesi, o zaman insanoğlu için mevcut güç kaynaklarında bir artış sağlamıştır. Özellikle tarıma dayalı ülkelerde halen sınırlı güce sahip olan at, öküz gibi hayvanlar; sulama, ziraat ve taşıma işlerinde kullanılmaktadır.

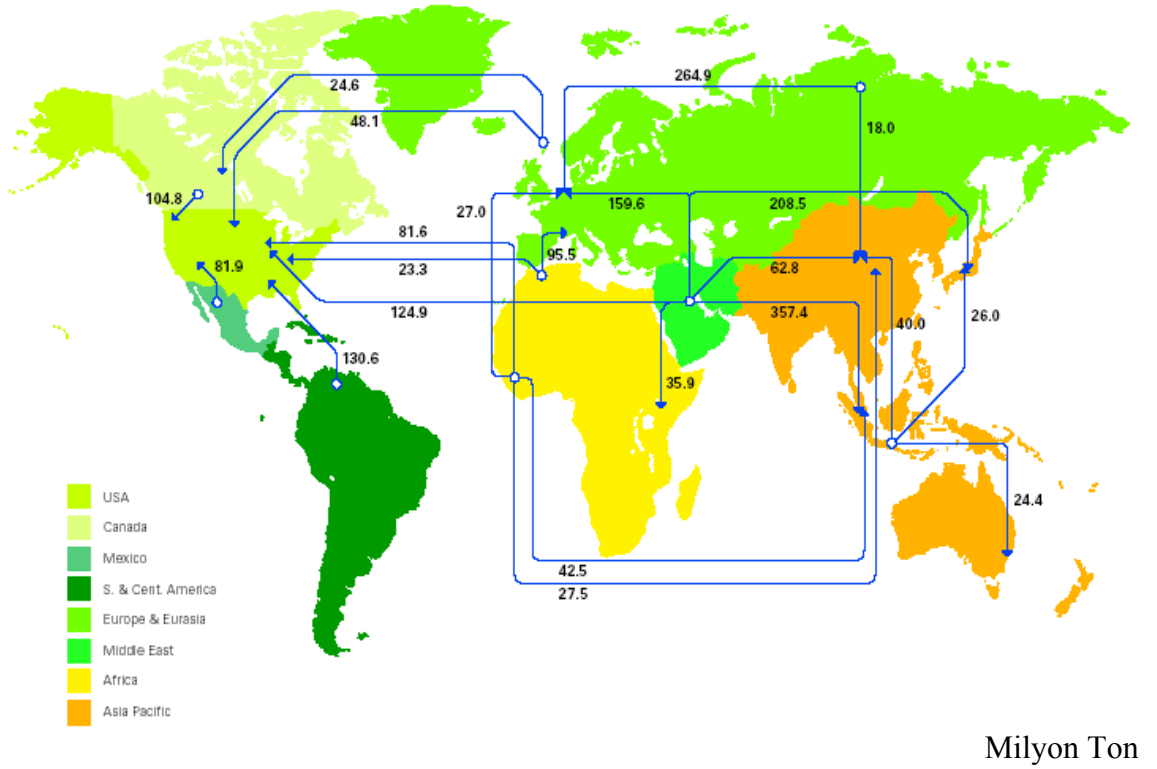
Uygarlık ilerledikçe insanoğlunun kişisel enerji kullanımı da oldukça artmıştır. II. Dünya Savaşı sırasındaki şartlar nedeniyle oluşan sanayi devrimi ve sonrasında, giderek artan bir ivme ile ilerleyen teknolojik gelişmeler sonucu enerji, medeni yaşantımızın vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Enerji üretimi ve enerji kaynaklarına sahip olma durumu ise ülke ekonomilerinin ve yeni dünya düzeninin en belirleyici faktörü haline gelmiştir.

Günümüz dünyasında tüketilen enerjinin yaklaşık % 85'i direkt satış amacıyla üretilen "ticari enerji" olup; kömür, petrol ve doğal gaz dünya enerji gereksiniminin yaklaşık % 88'ini karşılamaktadır. Kalan % 12'lik kısmı ise nükleer, hidrolik, ayrıca; rüzgar, güneş, jeotermal, odun, bitki ve hayvan artıkları türevi klasik biyomas gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanır durumdadır. Şekil 1.1'de bölgelere göre dünya birincil ticari enerji tüketimindeki kaynak payları gösterilmiştir.

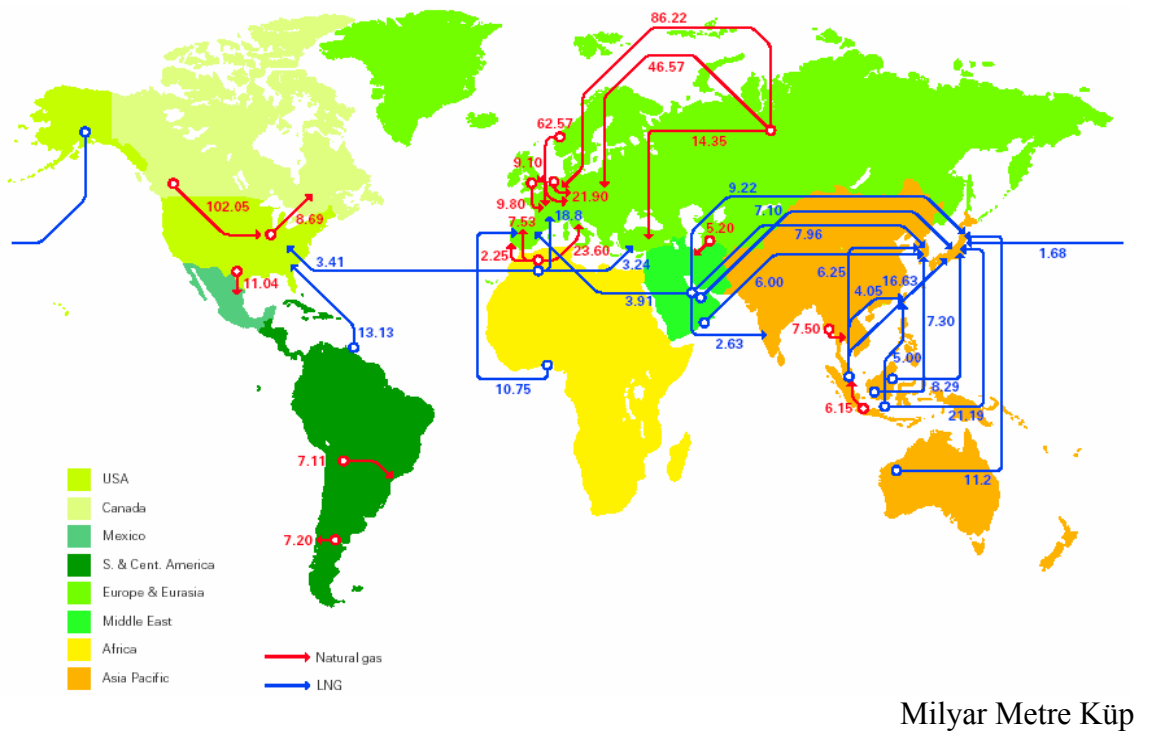


Şekil 1.1 Dünya birincil ticari enerji tüketiminde kaynak payları (BP 2005)

Enerji bütçelerinin ağırlıklı olarak fosil yakıtlara dayanıyor olması nedeniyle, fosil yakıt üretici ve satıcı ülkeler ile fosil yakıt alıcı ülkeler arasındaki ilişkiler, dünya stratejik dengesinin önemli unsurları olmuştur (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3).



Şekil 1.2 Dünya ana petrol ticaret ağı (BP 2005)



Şekil 1.3 Dünya ana doğal gaz ticaret ağı (BP 2005)

Buna bağılı olarak son yıllarda gelişmiş dünya ülkelerinin stratejilerinin, *birincil enerji kaynaklarını doğrudan ele geçirmek veya birincil enerji kaynaklarına sahip ülkelerin kontrolünü elinde tutmak* üzerine kurulu olmasının en önemli sebebi, her geçen gün artan küresel enerji ihtiyacına karşın, birincil enerji kaynakları olarak adlandırdığımız kömür ve petrol bazlı fosil yakıt rezervlerindeki hızlı azalmadır.

Birincil enerji kaynaklarının rezerv durumları ve tükenme süreleri ile ilgili her ne kadar farklı görüşler olsa da, bu rakamlar yaklaşık olarak bilinmektedir. Örneğin mevcut olarak bilinen rezervlere göre kömürün yaklaşık 164 sene, doğal gazın 67 sene, petrolün ise yaklaşık 40 sene sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Tablo 1.1’de bölgelere göre dünya yakıt rezervlerinin ve tahmini ömürlerinin dağılımı görülmektedir.

Tablo 1.1 Bölgelere göre kanıtlanmış dünya yakıt rezervleri tablosu (BP 2005)

BÖLGELER	PETROL			DOĞAL GAZ			KÖMÜR		
	Rezerv (Milyar Ton)	Pay (%)	Rezerv / Üretim = Ömür (Yıl)	Rezerv (Trilyon m ³)	Pay (%)	Rezerv / Üretim = Ömür (Yıl)	Rezerv (Milyon Ton)	Pay (%)	Rezerv / Üretim = Ömür (Yıl)
Kuzey Amerika	8,0	5,1	11,8	7,32	4,1	9,6	254432	28,0	235
Güney & Orta Amerika	14,4	8,5	40,9	7,10	4,0	55,0	19893	2,2	290
Avrupa & Avrasya	19,0	11,7	21,6	64,20	35,7	60,9	287095	31,6	242
Ortadoğu	100,0	61,7	81,6	72,83	40,6	> 100	419	< 0,05	399
Afrika	14,9	9,4	33,1	14,06	7,8	96,9	50336	5,6	203
Asya – Pasifik	5,5	3,5	14,2	14,21	7,9	43,9	296889	32,7	101
TOPLAM DÜNYA	161,9	100	40,5	179,53	100	66,7	909064	100	164

2020 yılında dünya nüfusu yaklaşık 8 milyara ulaşacak olup, bu nüfusun % 85’i gelişmekte olan ülkelerde bulunacaktır. Nüfus artışının yanı sıra ekonomik büyüme nedeni ile enerji kullanım verimine bağılı olarak enerji talebi de artacaktır.

Doğal olarak bu durum insanların ikincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinin artırılması üzerindeki çalışmalarını hızlandırmıştır. 20. yüzyılın son

çeyreği, beraberinde sürdürülebilir kalkınma kavramını getirmiştir. Sürdürülebilir kalkınma çevre ile uyumlu biçimde, kaynakların yüksek verimlilikle değerlendirilmesini gerektirmektedir. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyomas enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları veya hidrojen enerjisi gibi ikincil enerji kaynakları gün geçtikçe daha kullanılabilir hale getirilmesine rağmen, yine de halen mevcut sistemlerin büyük bir kısmı birincil enerji kaynaklarına bağımlıdır ve bu kaçınılmaz olan geçiş sürecinin süresini uzatabilmek için, sınırlı miktarda kalan birincil enerji kaynaklarının mümkün olan en tasarruflu şekilde kullanılması gerekmektedir.

Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları veya ileride bulunabilecek farklı enerji kaynakları tahta geçene kadar, gereksiz enerji sarfiyatının minimuma çekilebilmesi için insanların bilinçlendirilmesinin yanı sıra, mevcut sistem ve ekipmanların da iyileştirilmesi ve verimliliklerinin artırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Örneğin kojenerasyon adı verilen sistemde, elektrik enerjisi üretirken ısı olarak çevreye atılan enerjinin çok büyük bir kısmı, ikinci bir çevrimle geri kazanılır ve sistemin yaklaşık % 40 olan elektriksel verimliliğinin yanına, yaklaşık % 50 oranında ısıl verimlilik ilave edilmiş ve böylece toplam sistem verimi % 90'lara çıkartılmış olur (Yücelay 2000).

İşte bu iyileştirme ve verim artırımı noktasına gelindiğinde, son yıllarda geliştirilen ve kullanılmaya başlanan *ekserji* kavramı devreye girmektedir. Ekserji, termodinamiğin ikinci kanunundan yola çıkarak kütlelerin korunumu ve enerjinin korunumu prensiplerine dayanan ve enerji sistemlerinin tasarım ile analizlerinde kullanılan verimli bir metod olarak tanımlanabilir. Mevcut sistemde iyileştirmelere nereden başlanacağına ve hangi noktada en çok enerji kaybı olduğunun bulunabilmesi için kullanılmakta olan enerji analizleri yeterli olmamaktadır. Zira enerji analizleri enerjinin kalitesi değil ancak miktarı hakkında bilgi edinilebilmesini sağlar.

Ekserji kavramı ilk olarak 1878 yılında J.W. Gibbs tarafından ortaya koyulmuştur. Kelime karşılığı olarak ise 1953 yılında Z. Rant tarafından kullanılmıştır (Lee 2001). Bodvarsson ve Eggers (1972) ilk ekserji analizini tek ve çift buharlaştırıcı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde uygulamışlar ve santral geneli için ekserji verimliliğini hesaplamışlardır.

Tsatsaronis ve Moran (1997) bir termal sistemin ekserji uygulamalarıyla maliyetlerinin düşürülmesi hakkında incelemeler yapmışlardır. Çalışmalarında 3 farklı

parametre ele alınmıştır. Bunlar; ekserji verimliliği, ekserji yıkım oranı ve ekserji kayıpları olarak belirtilmiştir. Çalışma için küçük bir kojenerasyon sistemi ele alınmıştır. Bu tür sistemlerde optimizasyonun, sistemin alt kademelerinde değişiklikler uygulanarak gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Çalışma sonunda optimizasyonla ilgili yaklaşımlarda tasarım mühendislerinin deneyiminin büyük rol oynadığı ifade edilmiştir.

Acar (1997) ısı geri kazanımlı bir Rankine çevriminin ikinci yasa analizini yapmıştır. Sisteme ait her bir elemanın enerji ve ekserji analizi yapılarak sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Sisteme ait verim, kullanılabilirlik ve tersinmezlikler incelenmiştir. Ekserji metodu kullanılmasının sistem üzerindeki gerçek kayıpların belirlenmesinde en etkili yol olduğu savunulmuştur. Çalışma sonunda geri kazanım sistemi kullanıldığında çevrimin termik veriminin yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemde en büyük tersinmezliklerin sisteme ısı verilmesinde, alınmasında ve geri dönüşüm prosesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Rosen ve Dincer (1997) çevresel problemlerin ekserjiyle ilişkisini ortaya koymuşlardır. Çalışmada enerji ve çevre ilişkisinden bahsedilerek, enerji verimliliğinin, enerji kaybını azaltmasıyla çevreye olan etkileri azalttığı belirtilmiştir. Ekserji metodlarının da kullanılarak pratik uygulamalarda ekserji verimliliğinin artırılmasının çevre için büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Çalışmada atık ekserji emisyonları, kaynak kullanımı ve çevre ilişkileri ortaya koyulmuştur. Çalışmada belirtilen örneklerde ekserji analizinin çevreyle ilgili problemlerin ortaya koyulmasında ve çözümünde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Doldersum (1998) rafineride meydana gelen ekserji kayıplarını inceleyerek elde ettiği sonuçlar doğrultusunda iyileştirmeler ortaya koymuştur. Sistemde en çok ekserji kaybının ocaklarda ve damıtma ünitelerinde ortaya çıktığını tespit etmiş, yapılan iyileştirmelerle toplam ekserji kayıplarının % 70'e varan oranlarda azalabileceğini göstermiştir.

Bisio (1998) çalışmasında düşük seviyede enerji üreten sistemlerin verimliliklerinin artırılması için neler yapılabileceğini ele almıştır. Jeotermal ve güneş enerjisi gibi düşük entalpili sistemlerin verimliliklerinin nasıl artırılacağı üzerinde durmuştur. Bu sistemlerde ısının absorbe edilmesi veya ısı dönüştürücüler ve bunların kombinasyonlarının, düşük seviyeli enerji sistemlerinde geliştirilebilecek noktalardan

bazıları olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca buharın geri basımının da sistemin iyileştirilmesinde ele alınması gereken bir parametre olduğunu belirtmiştir. Yazarın daha önceki çalışmalarında genel enerji verimliliği hakkında değerlendirmeleri olup, bu çalışmada özellikle rölatif entropi üretimi ve iyileştirme tekniklerinin ekserji verimlilikleri üzerinde durulmuştur.

Tuma vd. (1999) birleşik gaz buhar çevriminin verimini incelemişlerdir. Gaz ve buhar çevriminin kojenerasyonu, gaz türbini egzozundaki, ısı geri kazanım ünitelerindeki ve ısı değiştirgecindeki verimlilikler öncelikli olarak ele alınmıştır. Genel santrale ait enerji ve ekserji verimlilikleri tespit edilerek sisteme ait karakteristikler ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda ısı üretiminin, sistemin genel enerji veriminde büyük rol oynadığı görülmüştür.

Guarinello Jr. vd. (2000) bir gaz türbinli kojenerasyon sistemi termoeconomik açıdan incelemişlerdir. Sistem endüstriyel bir bölgede hem elektrik hem de ısı ihtiyacını karşılamaktadır. Sistem üzerinde termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulanmıştır. Ayrıca ekserjetik maliyet teorisi kullanılarak sistemin termoeconomik analizi yapılmıştır. Termoeconomik analizde sistemden elde edilen elektrik ve buhar üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Sistem için ayrıca değişik çalışma şartlarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Wall ve Gong (2001) sürdürülebilir gelişim ve ekserji ilişkisini ele almışlardır. İki bölümden oluşan çalışmanın ilk kısmında şartlar ve konseptler, ikinci kısmında ise gösterge ve metotlar ele alınmıştır. Çevrimin emisyonlar ve kirlilikten etkilenmesinin ortaya koyulmasında ekserji analizinin yararlı bir metot olduğu belirtilmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı dünya üzerindeki ekserji akışıyla ilişkili olarak açıklanmıştır.

Gong ve Wall (2001) bu çalışmada, yukarıdaki ilk bölümde ele alınan kavramlar üzerinde gerçek uygulama örnekleri vermişlerdir. Çalışmada ekolojik göstergeler ele alınmıştır. Buradaki metot “Yaşam döngüsü ekserji analizi” olarak adlandırılmıştır. Çalışmada çevreye verilen emisyonlar üzerinde ekserji analizi yapılarak ekolojik gösterge olarak limitler ve tanımlamalar ortaya koyulmuştur. Ekserjinin uygun bir ekolojik gösterge olduğu ileriki çalışmalarda geliştirilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir.

Kanoglu (2002) 12,4 MW gücündeki ikili akışkan tipli bir jeotermal güç santralinin ekserji analizini yapmıştır. Çalışmada sistemin ekserji kayıp diyagramı çizilerek gerçekleşen kayıplar tespit edilmiştir. Santralde ekserji kayıplarının; kondenser, re-enjeksiyon, türbin – pompa ve yeniden ısıtma – buharlaştırma sistemlerinde yoğun olarak görüldüğü ortaya koyulmuştur. Sistemin genel ekserji verimi ise % 29,1 olarak hesaplanmıştır.

Chejne ve Restrepo (2003) yaptıkları çalışmada çoklu üretim sistemlerinin eksergoekonomik optimizasyon metotlarına yeni yaklaşımlar getirmişlerdir. Buradaki yeni yaklaşımda, sistemdeki tersinmezliklerin birim ekserji maliyeti kayıpları ele alınmıştır. Sistem için yapılan değerlendirmeler hem yeni yaklaşımla hem de diğer metotlarla kıyaslanmıştır. Çalışma kombine bir çevrime uygulanmıştır. Çalışma sonunda atık buhar için daha önceki metotlarla elde edilmiş değerlerden daha düşük bir ekserji birim değeri bulunmuştur.

Koroneos vd. (2003) varolan günümüz teknolojisine rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıt kullanımına göre daha düşük olduğunu belirtmişler fakat petrol krizlerinin insanları yeni enerji kaynaklarına yönlendirdiğini ortaya koymuşlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgar ve jeotermal enerjiyi en önemli kaynaklar olarak görmüş ve bu sistemlere ait ekserji analizlerini yapmışlardır.

Köse (2005) jeotermal kaynaklarla elektrik üretimi hakkında araştırma yapmıştır. Yaptığı çalışmada ikili çevrim tasarımı ele alınarak sistem parametreleri ölçülmüştür. Sistem için ikincil akışkan olarak R134A akışkanı seçilmiştir. Çalışma sonunda jeotermal enerjinin % 12,93 oranındaki kısmıyla elektrik üretimi, geriye kalan % 87,07 oranındaki kısmıyla da kent ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanabileceği belirtilmiştir. Atılan sıcak su ile endüstriyel uygulamalar, sıcaklık ve termal turizm şeklinde yararlanılabileceği belirtilmiştir. Deneysel hesaplamalar; çevrim veriminin geliştirilmesi, sistemde kullanılan malzemelerin iyileştirilmesi ve atık ısıdan en iyi şekilde yararlanmaya odaklanmıştır.

Bu çalışmada ise elektrik enerjisi üretim sistemleri ve bunların çalışma prensipleri anlatılarak, ülkemizin en önemli elektrik enerjisi üretim sistemlerinden birisi olan katı yakıtlı (linyit) termik santrallerden üç farklı bölgede olan Yatağan Termik Santrali, Orhaneli Termik Santrali ve Seyit Ömer Termik Santrali'nin termodinamik incelemesi

yapılmıştır. Santrallere ait I. Yasa analizlerinin yanı sıra II. Yasa çözümlemesi de yapılmıştır. Sistemlerin hem bütün olarak hem de sistem elemanlarının ayrı ayrı enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak verimlilikleri incelenmiştir. Gerçek iklim şartlarının yanı sıra farklı çevre şartlarında sistem verimliliklerinin değişiminin gözlenebilmesi için 0 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklıkları için ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

2. ENERJİ

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji

Milletlerin uygarlık düzeyini eğitim, bilim, teknoloji, edebiyat ve sanat seviyeleri belirler ve uygarlık düzeyinin yaklaşık ölçüsü, kişi başına düşen net gelirdir (Veziroğlu 2003).

Dünya Bankası 2003 yılı verilerine göre kişi başına gayri safi milli hasıla (GSMH) dünya ortalaması 5520 USD (Amerika Birleşik Devletleri Doları) iken, ABD’de (Amerika Birleşik Devletleri) 37870 USD, Japonya’da 34190 USD, Almanya’da 25270 USD, Fransa’da 24750 USD, Yunanistan’da 13230 USD ve Türkiye’de de 2800 USD seviyesindedir (WEB_1 2006). Kalkınmışlığın bir sonucu olarak yaşam standartları, giyim, ulaşım, seyahat, haberleşme gibi ihtiyaçları yani tüketimlerinin, dolayısıyla da üretimlerinin daha fazla olması doğal olan GSMH’si yüksek ülkelerin enerji sarfiyatlarının da yüksek olması kaçınılmazdır. Örneğin Amerikan Enerji Enformasyon Müsteşarlığı (Energy Information Administration) 2003 yılı verilerine göre ABD’nin yıllık kişi başına ortalama enerji tüketimi 339,9 MBTU (Milyon BTU) iken, Japonya’nın 175,6 MBTU, Almanya’nın 172,7 MBTU, Fransa’nın 186,9 MBTU, Yunanistan’ın 129,6 MBTU ve Türkiye’nin de 46,7 MBTU olduğu göz önüne alınırsa, yukarıda bahsedilen kişi başına GSMH rakamları ve sıralaması ile çok büyük bir paralellik izlediği ortadadır (WEB_2 2006).

Türkiye’de kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji ihtiyacı son yıllarda hızla artarken, toplam enerji üretimi aynı hızı yakalayamamıştır. Dolayısı ile tüketim ve üretim arasındaki fark giderek büyümüştür. 1990 yılında % 48 olan üretimin tüketimi karşılama oranı, 2001 yılında % 34’e, 2003 yılında % 28’lere düşmüştür. Tüketimin üretimden daha hızlı artarak büyümesinin sonucu, zaten büyük oranlarda yaptığımız enerji ithalatının da gün geçerek artması anlamını taşımaktadır (BP 2005).

Türkiye, bilindiği kadarı ile tükenbilir konvansiyonel fosil yakıt rezervlerinin aksine, tükenmez doğal kaynakları açısından son derece zengin bir ülkedir. Ülkemizde

kullanılabilir ve/veya ekonomik boyutları ile 123,04 TWh/yıl hidrolik, 1,8 MTEP/yıl jeotermal, 25 MTEP/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgar ve 32 MTEP/yıl biyomas enerji potansiyeli mevcuttur. Bu nedenle Türkiye'nin, yenilenebilir enerjiler üzerine atılımlar yapması gerekmektedir (Ültanır 1998). Tablo 2.1'de Türkiye'nin havzalarındaki, DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından hesaplanan ve yeni kriterlere göre tahmin edilen ekonomik üretim potansiyelleri ve kurulu güçler görülmektedir.

Tablo 2.1 DSİ tarafından hesaplanan ve yeni kriterlere göre tahmin edilen ekonomik üretim potansiyelleri ve kurulu güçler (WEB_8 2006)

HAVZA	DSİ Tarafından Hesaplanan		Yeni Kriterlere Göre Tahmin	
	Ekonomik Üretim Potansiyeli (GWh)	Kurulu Güç (MW)	Ekonomik Üretim Potansiyeli (GWh)	Kurulu Güç (MW)
Fırat	37961	9648	46300	12200
Dicle	16751	5051	24400	7600
Doğu Karadeniz	11062	3037	24200	6900
Doğu Akdeniz	5029	1390	11000	3100
Antalya	5163	1433	9200	2600
Batı Karadeniz	2176	624	7200	2100
Batı Akdeniz	2534	674	5400	1500
Seyhan	7571	2001	9400	2600
Ceyhan	4652	1413	8900	2800
Kızılırmak	6320	2094	7800	2700
Sakarya	2373	1096	4000	1900
Çoruh	10540	3134	12400	3800
Yeşilirmak	5297	1259	8400	2200
Susurluk	1602	507	2600	890
Aras	2287	588	5200	1400
Diğer	1722	510	1722	510
TOPLAM	123040	34459	188122	54800

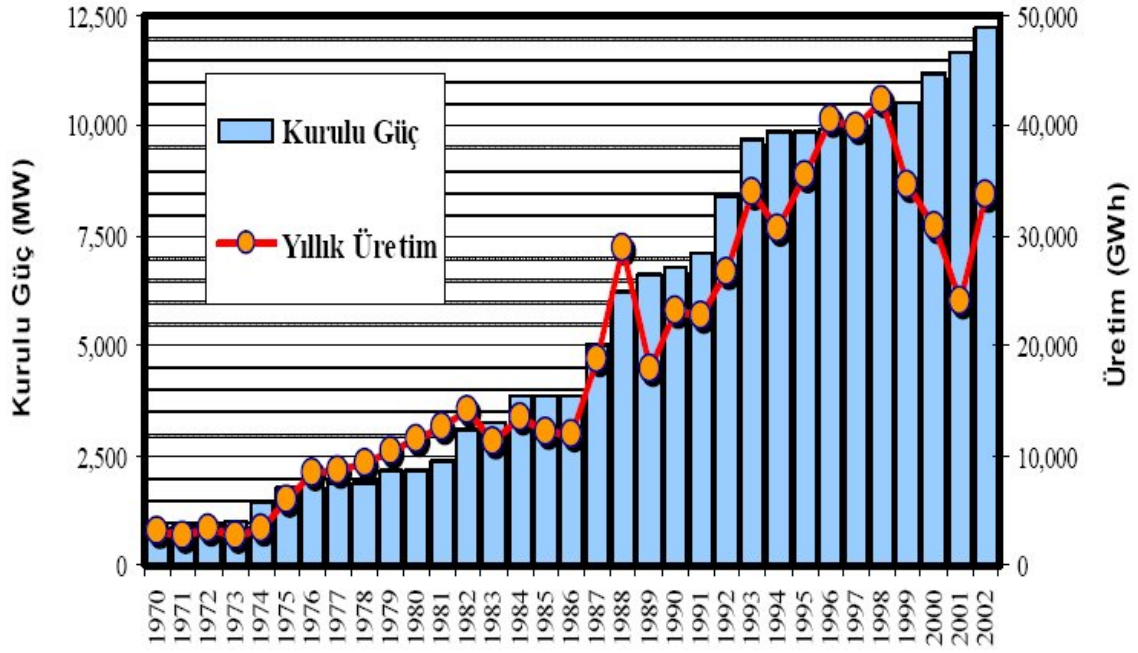
Hidrolik enerji ülkemizin en büyük elektrik enerjisi üretim sistemi olup, Türkiye genel tüketiminin yaklaşık % 22,6'sını karşılamaktadır (WEB_3 2006). 2004 yılında bir önceki yıla oranla % 18,2'lik bir artış göstererek, 10,4 MTEP karşılığı 46,1 TWh hidrolik enerji üretimiyle, dünya hidrolik enerji üretiminin % 1,6'lık kısmı ülkemizde gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl dünya genelinde ise üretilen toplam 634,4 MTEP karşılığı 2803,2 TWh hidrolik enerjinin en büyük üreticileri; % 12 payla Kanada, % 11,7 payla

Çin, % 11,4 payla Brezilya ve % 9,4 payla ABD olmuştur (BP 2005). Tablo 2.2’de Türkiye’nin en büyük beş adet barajlı ve beş adet de doğal göl – akarsu hidroelektrik santralleri, Şekil 2.1’de de Türkiye’nin hidrolik kurulu gücü ve yıllık elektrik enerjisi üretimleri görülmektedir.

Tablo 2.2 Türkiye’nin en büyük beş adet barajlı ve beş adet doğal göl – akarsu sistemli hidroelektrik santralleri (WEB_4 2006)

<u>Santral Adı / Yeri</u>	<u>Tipi</u>	<u>Akarsu Adı</u>	<u>Ünite Güçleri (MW)</u>	<u>Kurulu Güç (MW)</u>	<u>Öngörülen Ortalama Yıllık Üretim (GWh)</u>
Atatürk HES Bozova – Şanlıurfa	Barajlı	Fırat	(8 x 300) + (1 x 5)	2405,0	8100
Karakaya Çüngüş - Diyarbakır	Barajlı	Fırat	(6 x 300)	1800,0	7500
Keban Keban - Elazığ	Barajlı	Fırat	(4 x 157,5) + (4 x 175)	1330,0	6600
Altınkaya Bafra - Samsun	Barajlı	Kızılırmak	(4 x 175) + (1 x 2,55)	702,6	1632
Berke Düziçi – Osmaniye	Barajlı	Ceyhan	(3 x 170)	510,0	1699
Doğankent Doğankent – Giresun	Doğal	Harşit	(4 x 8,2) + (1 x 41,7)	74,5	314
Kadıncık I Tarsus - Mersin	Doğal	Gülek Çayı	(2 x 35)	70,0	315
Kadıncık II Tarsus - Mersin	Doğal	Kadıncık	(1 x 56)	56,0	307
Kovada II Eğirdir - Isparta	Doğal	Kovada Gölü	(2 x 25,6)	51,2	20
Şanlıurfa Şanlıurfa	Doğal	Fırat	(2 x 25,5)	51,0	124

1993’de ülkemizdeki hidrolik enerji santrali kurulu gücü 9682 MW iken, 2002’de 12200 MW olmuştur (WEB_8 2006).



Şekil 2.1 Türkiye’de hidrolik kurulu güç ve elektrik üretimi (WEB_8 2006)

Jeotermal enerji olarak adlandırılan ve yerin derinliklerinden gelen ısı akımı, dünya için ortalama 30,6 TW güç rezervi sağlamaktadır. Dünyanın jeotermal enerji kullanımı bu potansiyele göre çok düşük düzeyde olup, 2003 yılında jeotermal elektrik kurulu güç 7974 MW_e (Megawatt Elektrik) ve elektrik üretimi 49263 GWh/yıl olmuştur. Isıl kurulu güç (direkt) 15144 MW_t (Megawatt Termal) ve üretilen enerji 52979 GWh/yıl kadardır. Jeotermal enerjide en büyük kurulu güç elektrikselsel olarak 3390 MW_e ve direkt kullanım olarak 4355 MW_t olarak ABD’de bulunmaktadır (Ültanır 1998, Atalay 2004).

Ülkemiz, araştırılmış olan kuyulardan elde edilen verilere göre 761,84 MW’lık güçle, jeotermal enerjinin hem doğrudan kullanımı hem de elektrik üretimi bakımından dünyanın yedinci zengin ülkesidir (Öztürk vd 2004). Türkiye’de jeotermal alandaki ilk çalışmalar 1960’lı yıllarda başlayan M.T.A.’nın (Maden Tetkik Arama) sıcak su kaynakları envanteri oluşturma projeleridir. İlk kuyu 1963 yılında İzmir Balçova’da açılmıştır. 1968 yılında keşfedilen Denizli Kızıldere sahasındaki çalışmalar, 11 Şubat 1984 tarihinde işletmeye alınan 20,4 MW_e kurulu gücünde olmakla beraber 12–15 MW_e güçle çalıştırılan Denizli–Kızıldere Jeotermal Santrali ile ülkemizde jeotermal enerjinin ilk elektrik uygulaması olmuş, dünyada ise 14. sırada kendine yer bulmuştur (Önal ve Kaya 2003).

Güneş enerjisi dünya için sonsuz bir enerji kaynağı sayılabilir. Dünya genelinde güneş enerjisinin brüt potansiyeli 178000 TW'dır. Teorik olarak alınabilir potansiyel 50–100 TW arasında bulunmaktadır. Güneş enerjisi uygulamaları elektrik üretimi ve ısı uygulamalar biçiminde iki ana grupta toplanmaktadır. Dünya güneş elektrik santrallerinin kurulu gücü henüz 580 MW düzeyindedir. Bunun 180 MW'ı fotovoltaik, kalanı termiktir. Güneş enerjisinin kurulu kollektörlerle ısı kullanımı 10 MTEP/yıl düzeylerinde bulunmaktadır. Güneş elektrik santrallerinde mevcut büyük kurulu güç, termik / hibrid santrallere aittir. Fotovoltaik santraller henüz küçük güçlerde ve yeni geliştirmeler ile maliyet düşürülmesine çalışılmaktadır.

Güneş enerjisi dünyanın olduğu gibi Türkiye'nin de en görkemli doğal kaynaklarından birisidir. Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup, güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Doğu Karadeniz Bölgesi dışında tüm bölgelerimiz için önemle ele alınması gereken bir büyüklüktedir. Güneş enerjisinden su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma gibi ısı amaçlarıyla yararlanılabileceği gibi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek de olanaklıdır. Güneş enerjisine dayalı termik elektrik santrallerinin büyük güçlerde olanları fosil yakıtlarla (özellikle doğal gazla) entegre çevrimler kapsamında hibrid santral olarak geliştirilmektedir. Teknik ve ekonomik açıdan başarılı ilk uygulaması Amerika Birleşik Devletleri'nde (Luz Santrali 354 MW) yapılmıştır. Ülkemizde de Güneş-Doğal Gaz Hibrid Termik Santrali kurulması konusunun gündeme alınması ve incelenmesinde yarar görülmektedir.

Atmosferin rüzgarı oluşturan brüt kinetik potansiyeli 191 TW'tır. 50 derece kuzey ve güney enlemleri arasında alınabilir rüzgar gücü potansiyeli 3 TW kadar olmakla birlikte, maksimum teknik potansiyelin 1 TW olduğu hesaplanmıştır. Günümüzde rüzgar enerjisinden, eskiden kullanılan mini türbinlerden ziyade, 10 MW'lara ulaşan geliştirilmiş türbinler kullanılarak enerji elde edilmektedir. Rüzgar elektrik santralleri şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı (enterkonnekte) kurulabilmekte olup, şebeke bağlantılı olanları yaygınlaşmıştır. Günümüz rüzgar santralleri birden fazla türbin içeren rüzgar tarlaları biçimindedir. Rüzgar santralleri karasal alanların dışında denizlerde de kurulmaya başlamıştır. Denizsel alanların rüzgar potansiyeli karasal alanlardan daha fazladır. Örneğin Avrupa kıtasında kıyından 10 km açıklıkta ve 10 m su derinliği olan

yerlerde toplam 750 TWh/yıl rüzgar potansiyeli varken, 30 km açıklıkta ve 40 m su derinliği olan alanlardaki potansiyel 3500 TWh/yıl düzeyine çıkmaktadır.

Son yıllarda dünyada rüzgar santrallerinin kurulu gücünde hızlı bir artış gözlenmiş, 1990 yılında dünyada rüzgar santrallerinin kurulu gücü toplamı 2160 MW iken, 1997 sonunda 7500 MW'a, ulaşmıştır. Türkiye de bu gelişimden etkilenmiş ve kurulu güçleri toplamı en az 645,42 MW olacak 30 rüzgar santrali başvurusu yapılmıştır. Buna karşın, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın enerji planlaması ile TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim-İletim Anonim Şirketi) elektrik planlamasında rüzgar enerjisi yer almamaktadır. Yapılan model çalışması, rüzgar santralleri kurulu gücünün, 2010 yılında 2979 MW'a, 2020 yılında 7849 MW'a ve 2023 yılında 9733 MW'a çıkarılmasının olanaklı olduğunu göstermiştir. Rüzgardan elde edilecek elektrik 2023 yılında 21900 GWh olacaktır. Toplam elektrik arzındaki payı ise % 0,5'den % 3,5'a çıkmaktadır. Türkiye'de ilk rüzgar santrali 1998 yılında 1,7 MW güçle kurulmuştur.

Önemli bir yenilenebilir kaynak da biyomas enerjidir. Biyosferde biyolojik materyal devresinin kuru madde kütlesi 250 milyar ton/yıl ile 100 milyar ton/yıl karbona eşdeğerdir. Biyosferdeki fotosentez enerjisi 2×10^{21} J/yıl (70 TW) düzeyindedir. Dünyadaki toplam biyomas üretiminin enerji değeri karşılığı, toplam enerji tüketiminin 8 katını aşmaktadır. Bugün dünyada klasik biyomas enerji kullanımı yaygın, ama modern biyomas enerji kullanımı çok düşüktür.

Türkiye'nin de enerji bütçesinde odun ile hayvan ve bitki artıkları biçiminde ticari sayılmaması gereken klasik biyomas önemli bir yer tutmaktadır. 1997 yılı verilerine göre toplam birincil enerji üretiminin % 25,5'i klasik biyomastan sağlanmıştır. Klasik biyomas kullanımı giderek kaldırılmalı, onun yerine modern biyomas enerji yerleştirilmelidir. Enerji ormanlarına, enerji tarımına ve çeşitli atıklara dayalı biçimde, ancak yüksek kaliteli yakıt üretmeyi içeren modern biyomasın, tüm dünyada güneş ve rüzgar enerjilerinden daha fazla katkı sağlaması beklenmektedir. Hatta son günlerde biyodizel adıyla anılan bir biyomas yakıt çeşidi de içten yanmalı dizel motorlarda kullanılmaya başlanmıştır (Ültanır 1998).

Nükleer enerjinin dünyada gün geçtikçe artan kullanımıyla birlikte, son günlerde Türkiye'de de Sinop civarında bir nükleer santral kurulması konusu gündeme gelmiştir. Aslında genel anlamda diğer sistemlerden çok daha güvenilir olduğu tartışılmazdır,

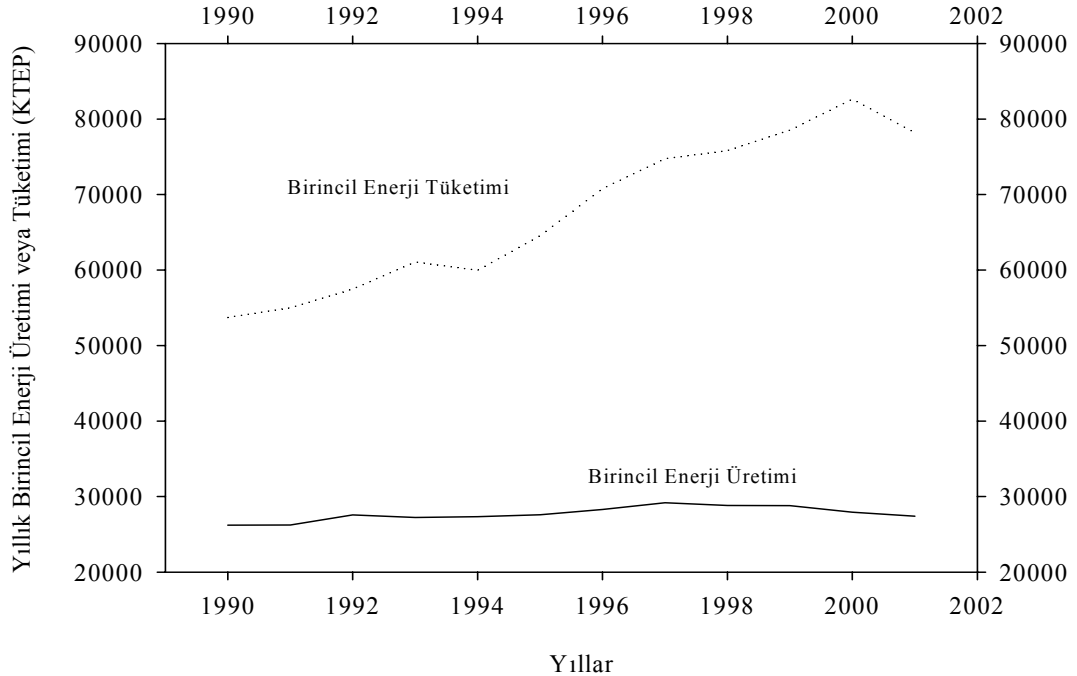
çünkü nükleer sistemlerde güvenlik önlemleri en üst seviyede tutulmaktadır. Türkiye'nin bilinen birincil kaynak rezerv ve potansiyelleri, enerji teknolojisinin ulaştığı boyutlar ve beklenen açıklar göz önünde tutularak yapılan ciddi inceleme ve planlama çalışmaları, 2020 yılına doğru ortaya çıkacak büyük elektriksel kurulu güç talebinin karşılanması için nükleer enerjiden yararlanılması gerektiğini göstermektedir. Türkiye de 2010 yılına kadar nükleer teknolojiyi kazanma ve elektrik üretiminde kaynak çeşitlemesi yapmak amaçları ile nükleer santral alanına girmek istemektedir. 1965 yılında sadece birkaç ülkede bulunan ve toplamda 5,9 MTEP olan nükleer enerji üretimi, gün geçtikçe artmış ve 2004 senesinde, bir önceki yıla oranla % 4,4 artış göstererek 624,3 MTEP seviyesine ulaşmıştır (BP 2005).

Fosil yakıtların azalması ve gün geçtikçe pahalılaşması sonucu artan talep nedeniyle giderek ağırlığı hissedilen jeotermal, güneş, rüzgar ve biyomas gibi kaynaklar ile deniz ısı, deniz dalga, gel – git (med – cezir) enerjileri alanındaki gelişmeler kayda değer boyutlardadır. Özellikle gel – git santrallerinin uygulaması yaygınlaşmakta olup, çalışan ve inşa olunan tesislerle kurulu güçleri toplamı 41118 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'de gel – git enerjisi olanağı bulunmamaktadır. Deniz dalga ve deniz ısı enerji santralleri geliştirme ve deneme aşamasındadırlar. Dünya enerji bilançosuna katkıları şimdilik küçük boyutta olan tüm yeni ve yenilenebilir enerjilerin katkı paylarının henüz başında olduğumuz 21. yüzyıl süresince artması beklenmektedir (Ültanır 1998).

Konvansiyonel yakıtların yanma ürünü olan karbondioksitin küresel ısınmaya neden olması, fosil yakıtların giderek tükenmekte oluşu gibi nedenlerle, teknolojisi geliştirilerek ortaya konulan yeni yakıt hidrojendir. Hidrojen birincil enerji kaynağı olmayıp, birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden ve özellikle sudan üretilen bir *enerji taşıyıcısıdır*. Yüksek verimle, geniş kullanılma alanı bulunan hidrojen çevre dostu olup, yanma ürünü su buharıdır. Son on beş yılda hidrojenle çalışan değişik motorlar üretilmiş, deneme ve gösterim amaçları ile taşıt araçlarında kullanılmıştır. Yakıt olarak hidrojen kullanan ve güçleri 11 MW'a kadar uzanan yakıt pilli elektrik santralleri yapılmıştır. Hidrojenin evlerde kullanımı için katalitik yakma düzenleri geliştirilmiştir. Hidrojenle ilgili uluslararası standartlar hazırlanmıştır. Hidrojenin dış maliyeti, petrol ürünleri maliyetine yaklaştırılmış olup, çevre zararlarını kapsayan efektif maliyet açısından, hidrojen petrolle rekabet eder görünmektedir. Dünya hidrojene geçiş aşaması için hazırlıklarını tamamlamış bulunmaktadır. Türkiye'de

hidrojen konusunda henüz gereken adımların atılmadığı görülmektedir. Yeni enerji çevrim tekniklerinden yararlanmak, enerji teknolojisindeki gelişmeleri izleyebilmek, yerli teknoloji oluşturulmasına katkıda bulunmak için, enerjide araştırma-geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarına gerek vardır. Araştırmalara dayalı teknolojik gelişim sonucu kullanılabilir duruma getirilen yakıt pilleri ve hidrojen enerjisi konusunda, ülkemizdeki çalışmalar yok denecek kadar sınırlıdır. Çeşitli birincil kaynaklardan üretilen enerjinin, yüksek verimlilikle kullanılmasına ve rasyonel tüketilmesine özen gösterilmelidir (Öztürk ve Yıllancı 2003).

Sonuç olarak yukarıda kısaca değinilen ve insanoğlunun varlığını sürdürebilmesi için ihtiyaç duyduğu en önemli olgulardan birisi olan enerji üretimi için gerekli kaynaklar göz önüne alındığında, dünyamızın ve özellikle de ülkemizin ne denli zengin bir yapısı olduğu açıkça görülmektedir. Bizlere düşen ise bu kaynakları en verimli ve insanlığa faydalı olacak şekilde değerlendirmektir. Ülkemizin yıllara göre toplam birincil enerji kaynakları üretim ve tüketim değerleri Şekil 2.2, Tablo 2.3, Tablo 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.2 Türkiye’de yıllara göre birincil enerji üretim ve tüketimi (Öztürk ve Yıllancı 2003)

Tablo 2.3 Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları üretimi tablosu (WEB_5 2006)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (BinTon)	LİNYİT (BinTon)	ASFALTİT (BinTon)	PETROL (BinTon)	DOĞAL GAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK (GWh)	JEOTERMAL		RÜZGAR (GWh)	GÜNEŞ (BinTEP)	ODUN (BinTEP)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (BinTon)	TOPLAM (BinTEP)
							ELEKTRİK (GWh)	ISI (BinTEP)					
1990	2745	44407	276	3717	212	23148	80	364		28	17870	8030	25478
1991	2762	43207	139	4451	203	22683	81	365		41	17970	7918	25501
1992	2830	48388	213	4281	198	26568	70	388		60	18070	7772	26794
1993	2789	45685	86	3892	200	33951	78	400		88	18171	7377	26441
1994	2839	51533		3687	200	30586	79	415		129	18272	7074	26511
1995	2248	52758	67	3516	182	35541	86	437		143	18374	6765	26719
1996	2441	53888	34	3500	206	40475	84	471		159	18374	6666	27386
1997	2513	57387	29	3457	253	39816	83	531		179	18374	6575	28209
1998	2156	65204	23	3224	565	42229	85	582	6	210	18374	6396	29324
1999	1990	65019	29	2940	731	34678	81	618	21	236	17642	6184	27659
2000	2392	60854	22	2749	639	30879	76	648	33	262	16938	5981	26047
2001	2494	59572	31	2551	312	24010	90	687	62	287	16263	5790	24576
2002	2319	51660	5	2420	378	33684	105	730	48	318	15614	5609	24259
2003	2059	46168	336	2375	561	35330	89	784	61	350	14991	5439	23783
2004	1946	43709	722	2276	708	46084	93	811	58	375	14393	5278	24332

Tablo 2.4 Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları tüketimi tablosu (WEB_5 2006)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (BinTon)	LİNYİT (BinTon)	ASFALTİT (BinTon)	PETROL (BinTon)	DOĞAL GAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK (GWh)	JEOTERMAL		RÜZGAR (GWh)	GÜNEŞ (BinTEP)	ODUN (BinTon)	HAYVAN VE BİTKİ ARTIK. (BinTon)	ELEKTRİK İTHALATI (GWh)	ELEKTRİK İHRACATI (GWh)	TOPLAM (BinTEP)
							ELEKTRİK (GWh)	ISI (BinTEP)							
1990	8191	45891	287	22700	3418	23148	80	364		28	17870	8030	176	-907	52987
1991	8824	48851	139	22113	4205	22683	81	365		41	17970	7918	759	-506	54278
1992	8841	50659	197	23660	4612	26568	70	388		60	18070	7772	189	-314	56684
1993	8544	46086	102	27037	5088	33951	78	400		88	18171	7377	213	-589	60265
1994	8192	51178	0	25859	5408	30586	79	415		129	18272	7074	31	-570	59127
1995	8548	52405	66	27918	6937	35541	86	437		143	18374	6765	0	-696	63679
1996	10892	54961	34	29604	8114	40475	84	471		159	18374	6666	270	-343	69862
1997	12537	59474	29	29176	10072	39816	83	531		179	18374	6575	2492	-271	73779
1998	13146	64504	23	29022	10648	42229	85	582	6	210	18374	6396	3299	-298	74709
1999	11362	64049	29	28862	12902	34678	81	618	21	236	17642	6184	2330	-285	74275
2000	15525	64384	22	31072	15086	30879	76	648	33	262	16938	5981	3791	-437	80500
2001	11176	61010	31	29661	16339	24010	90	687	62	287	16263	5790	4579	-433	75402
2002	18830	52039	5	29776	17694	33684	105	730	48	318	15614	5609	3588	-435	78331
2003	17535	46051	336	30669	21374	35330	89	784	61	350	14991	5439	1158	-588	83826
2004*	18904	44823	722	31729	22446	46084	93	811	58	375	14393	5278	464	-1144	87818

*Geçici

3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

3.1. Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Genel olarak dünyada uygulanan elektrik enerjisi üretim sistemlerini sınıflandıracak olursak ;

1. HİDROELEKTRİK SİSTEMLER
 - a. Klasik Tipler (Barajlı)
 - b. Özel Tipler
 - i. Pompalı Kuvvet Tesisleri
 - ii. Yer altı Hidroelektrik Santralleri
 - ii. Med – Cezir (Gel – Git) Enerjisi Santralleri
 - i. Boru Türbinli Tesisleri (Nehir Santralleri)
 - c. Deniz ve Okyanuslardaki Enerji
 - i. Gel – Git Enerjisi
 - ii. Okyanus Isı Enerjisi
 - iii. Dalga Enerjisi
2. TERMİK SİSTEMLER
 - a. Katı Yakıtlı (Kömür – Linyit) Termik Santraller
 - b. Kombine Çevrimli (Sıvı – Gaz Yakıtlı) Termik Santraller
 - c. Nükleer Enerji Santralleri
 - i. Basınçlı Su Reaktörleri (PWR)
 - ii. Kaynar Su Reaktörleri (BWR)
 - iii. Sıvı – Metal Hızlı Geçişli Reaktörler (LMFBR)
 - iv. Yüksek Isılı Gaz Soğutmalı Reaktörler (HTGR)
 - v. Ağır Su Reaktörleri (CANDU)
3. JEOTERMAL ENERJİ SİSTEMLERİ
4. RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ
5. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ
6. HİDROJEN ENERJİSİ SİSTEMLERİ

şeklinde bir sınıflandırma veya gruplama yapılabilir.

3.2. Hidroelektrik Sistemler

Yeryüzündeki en önemli dengelerden birisi de “Hidrolojik Çevrim” dediğimiz ve kabaca yeryüzündeki suyun buharlaşarak gökyüzüne çıkması, daha sonra da tekrar yoğunlaşarak yağış şekilleriyle yeryüzüne inmesi olarak tanımlayabileceğimiz çevrimdir.

Hidroelektrik santraller ise prensip olarak sudaki potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirmek suretiyle elektrik üreten sistemlerdir. Genel olarak uygun bir akarsu yatağına kurulan barajın önünde biriktirilen suyun, besleme kanalı adı verilen bir kanaldan düşü farkı sayesinde akmasının sağlanması ve bu kanalın çıkışında bulunan türbin kanatlarını, dolayısıyla da türbinin bağlı olduğu jeneratörü tahrik ederek elektrik üretilmesi olarak ifade edilebilir.

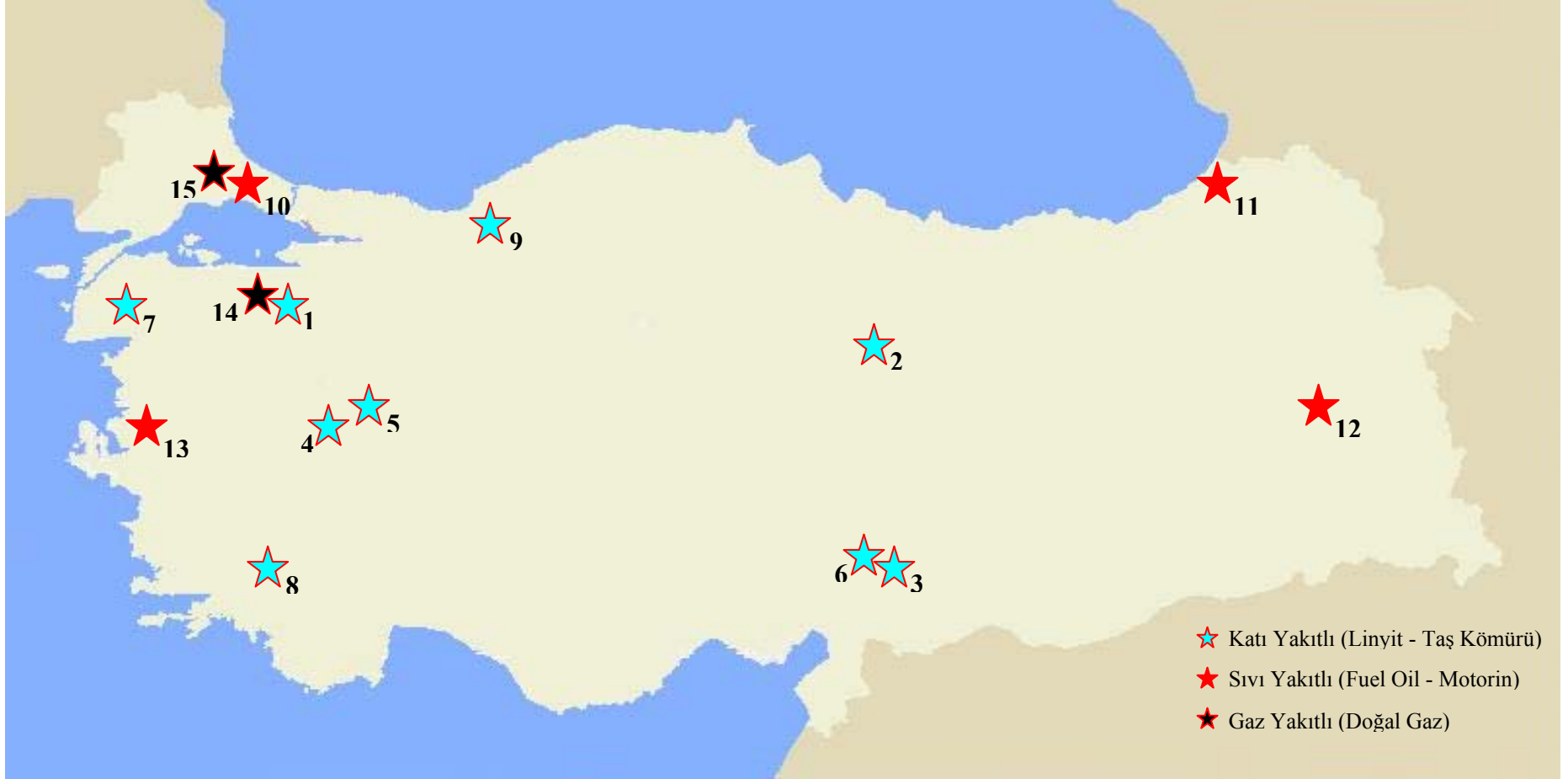
Hidrolik gücün, ekonomik olarak işletilebilir potansiyelinin halen 1/3’ü kullanılarak dünya elektrik üretiminin % 17’si karşılanmaktadır. Hidrolik projeler; sera gazları, SO₂ ve partikül emisyonlarının olmaması, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması, uzun ömürlü olmaları, nispeten daha basit ekipmanlardan oluşmaları için plansız kesintilerin daha nadir ve kısa süreli olması ve kesinti sonrası diğer sistemlere göre çok daha çabuk startlanarak devreye alınmaları gibi avantajlara sahiptir. Bunların yanında; barajların arazi kullanımında yarattığı değişiklikler, insanların topraklarını boşaltması, flora ve fauna üzerine etkiler, su baskınlarına neden olma riskleri, akış yollarında oluşan aşırı Nitrojen oluşumu ve su sıcaklığındaki değişimin balık yaşamı açısından sıkıntı yaratması ve balık göçlerini sınırlandırması, alüvyon akış seyrini değiştirmesi, dibe çökme ile baraj alanının dolması ve su kullanım kalitesi üzerinde etkileri vardır. Sosyal etkileri, erken planlama aşamasında alınacak uygun tedbirlerle azaltılabilir. Daha küçük hidroelektriklerin daha büyüklere göre avantajları olduğu gibi düşünceler var olmasına rağmen, genellikle hidrolik gücün en gelişmiş ve iyi kurulmuş teknolojisi olduğu gerçeği kabul edilir (WEB_6 2005, WEB_9 2005).

3.3. Termik Sistemler

Fuel – oil, linyit, taşkömürü, doğal gaz ya da rafine odun yakılması veya nükleer fisyon sonucu elde edilen enerjinin bir akışkana iletilmesi, bunun da bir türbine veya buna bağlı olan jeneratöre çevrim içinde aktarılması esasına dayanan enerji üretim sistemleridir. Ülkemizde kurulu başlıca termik santraller Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Türkiye’de bulunan başlıca termik santraller (WEB_4 2006)

	Santral Adı / Yeri	Yakıt	Ünite Güçleri (MW)	Kurulu Güç (MW)	Öngörülen Ortalama Yıllık Üretim (GWh)
1	Orhaneli / Orhaneli – Bursa	Linyit	(1 x 210)	210	1155
2	Kangal / Kangal – Sivas	Linyit	(2 x 150) + (1 x 157)	457	2513,5
3	Afşin Elbistan A / Afşin – K.Maraş	Linyit	(3 x 340) + (1 x 335)	1355	7452,5
4	Tunçbilek / Tunçbilek - Kütahya	Linyit	(1 x 65) + (2 x 150)	365	2359,5
5	Seyit Ömer / Tavşanlı – Kütahya	Linyit	(4 x 150)	600	3300
6	Afşin Elbistan B / Afşin – K.Maraş	Linyit	(4 x 360)	1440	9360
7	Çan Onsekiz Mart / Çan – Çanakkale	Linyit	(2 x 160)	320	2080
8	Yatağan / Milas – Muğla	Linyit	(3 x 210)	630	3465
9	Çatalağzı / Çatalağzı – Zonguldak	Taş Kömürü	(2 x 150)	300	1650
10	Ambarlı Fuel-Oil / Avcılar – İstanbul	Fuel – Oil	(3 x 110) + (2 x 150)	630	3465
11	Hopa Fuel-Oil / Hopa – Artvin	Fuel – Oil	(2 x 25)	50	275
12	Engil Gaz Türbinleri / Merkez – Van	Motorin	(1 x 15)	15	82,5
13	Aliğa / Aliğa – İzmir	Motorin	(6 x 30)	180	990
14	Bursa Doğal Gaz / Merkez – Bursa	Doğal Gaz	2 x (239 + 239 + 238)	1432	7876
15	Ambarlı Doğal Gaz / Avcılar – İstanbul	Doğal Gaz	2 x (138,8 + 138,8 + 172,7)	1350,9	7429,95



Şekil 3.1 Türkiye’de bulunan başlıca termik santraller

3.3.1. Katı yakıtlı (kömür – linyit) termik santraller

Kömür veya linyitin yakılarak, kazandaki akışkanı ısıtmasıyla elde edilen yüksek basınçlı buharın, buhar türbini kanatlarını çevirmesi sonucunda jeneratörün tahrik olması yoluyla elektrik enerjisi üretilen santrallerdir. Bir sonraki bölümde içerdiği sistemlerle birlikte detaylı olarak anlatılmıştır.

3.3.2. Kombine çevrimli (sıvı – gaz yakıtlı) termik santraller

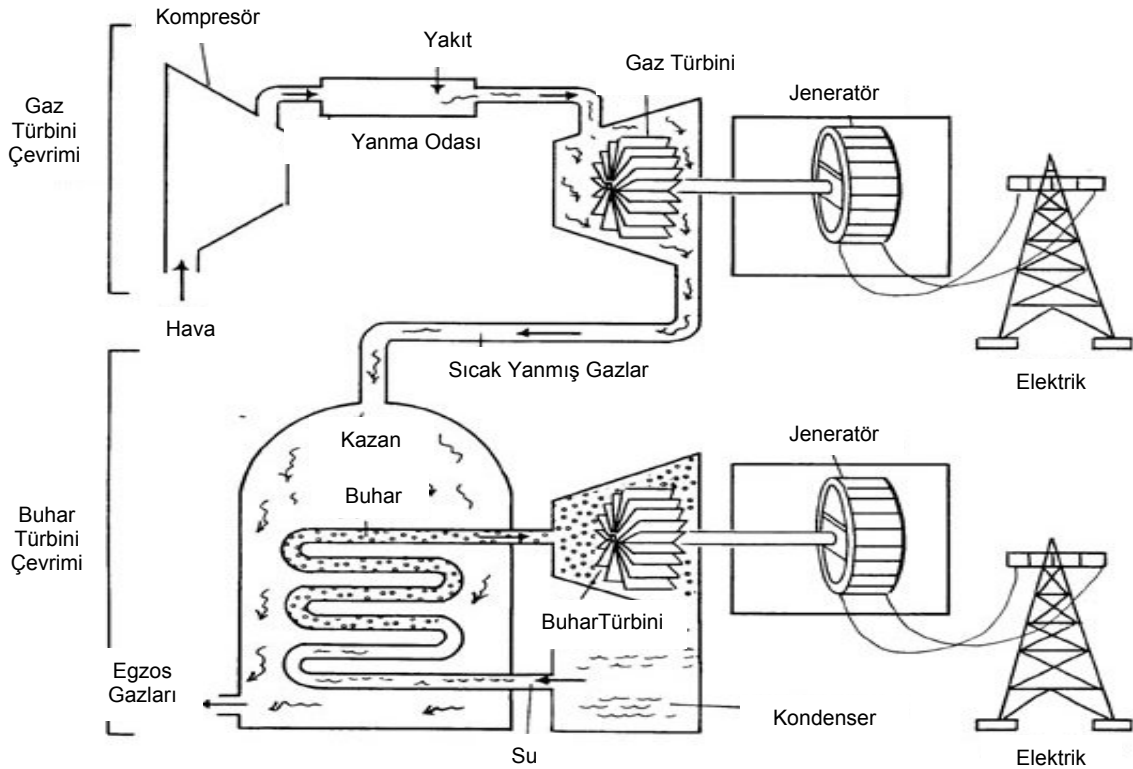
Son zamanlarda sıvı yakıt (motorin, fuel – oil, nafta vb.) birim fiyatlarının oldukça artmış olması nedeniyle artık daha çok doğal gazlı olarak dizayn edilen ve çalışan kombine çevrimli enerji santralleri, son yıllarda giderek artan bir oranda kullanılmaktadır.

Bunun başlıca sebeplerinden birisi gaz yakıtlı kombine çevrimli santrallerin, diğer termik, nükleer ve hidroelektrik santrallere göre daha verimli ve daha düşük kurulum maliyeti ile daha kısa sürede işletmeye alınabilir olmalarıdır. Ayrıca esnek işletme koşullarına uygun, çabuk devreye alınabilen, tam yük ve değişken yük durumlarına kolay adapte olabilen ve hatta değişken yük durumlarında da yüksek verimlilikle çalışabilen yapıları da diğer önemli avantajlarıdır (Ünver ve Kılıç 2005, WEB_6 2005).

Kombine çevrim santrallerinde gaz çevrimi (Brayton) ve buhar çevrimi (Rankine) birlikte kullanılmaktadır (Şekil 3.2). Yakıtın yakılmasıyla gaz türbininden elde edilen elektrik enerjisinin yanı sıra türbin egzozundan yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazlarının atık ısısının kazana verilmesiyle elde edilen buhar ile buhar türbinlerinden de ek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu santrallerde gaz türbinli çevrimlerin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajları birleştirilerek, tasarım koşullarında çalışmak üzere kombine çevrim verimi % 50–60 civarında gerçekleştirilebilmektedir (Ünver ve Kılıç 2005).

3.3.3. Nükleer enerji santralleri

Nükleer yakıt kullanarak, nükleer reaktörde elde edilen radyoaktif termik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Nükleer reaktör ise en kısa tanımı ile içinde nükleer reaksiyonların kontrollü biçimde sürdürüldüğü ortamdır. Aynı olayların kontrolsüz biçimde yapılmasına ise “nükleer bomba” adı verilir.

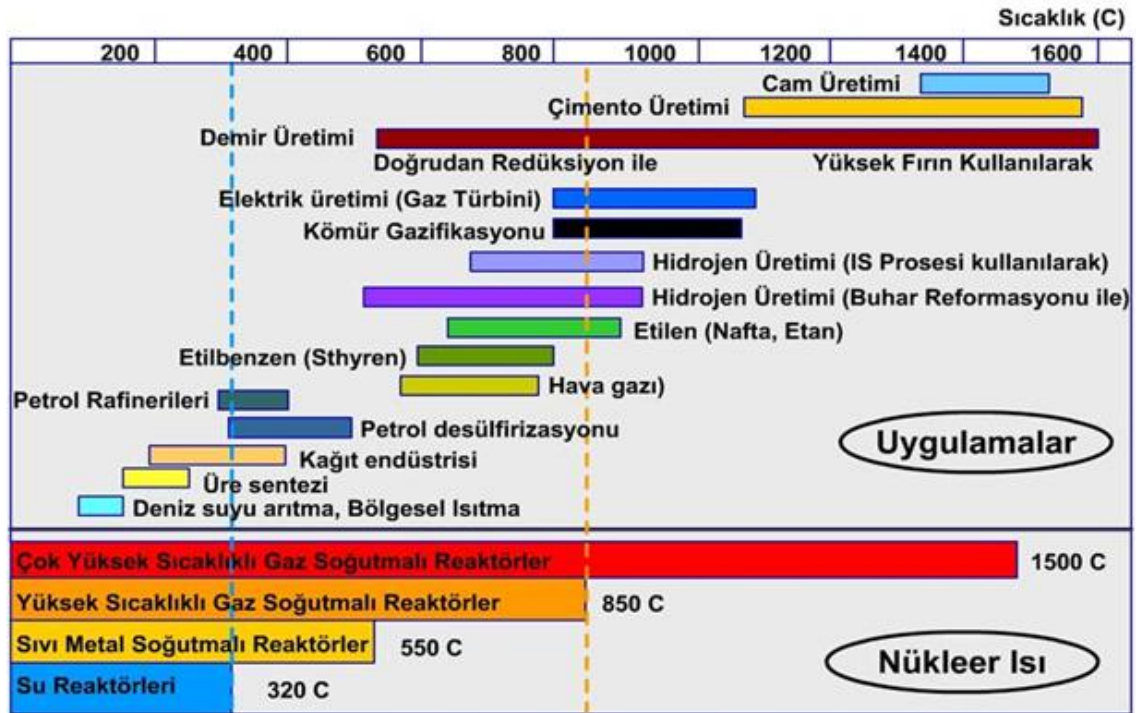


Şekil 3.2 Kombine çevrimli bir termik santralin şeması (WEB_6 2005)

Sonucunda enerji açığa çıkan iki tür nükleer reaksiyon vardır. Bunlar atomların parçalanması (filyon) ve birleşmesi (füzyon) olaylarıdır. Nükleer enerji santrallerinde kurulu güç reaktörlerinin açığa çıkardıkları bölünme veya birleşme enerjisi, ısı çevrimler yardımcılarıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Reaktörler santrallere gereken gücü buhar olarak sağlarlar. Bu buhar, elektrik enerjisine çevrilmek üzere türbin dairesine aktarılır. Gazlı ısı çevrimli reaktörlerde, alternatörleri döndürmek için gaz türbinleri kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin doğrudan doğruya nükleer enerjiden üretilmesi, üzerinde çalışılmaya devam edilen bir konu olup, mühendislik açısından büyük zorlukları mevcuttur. Ancak günümüz teknolojisiyle nükleer enerji, ısı çevrimleriyle elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Gökmen 2000). Şekil 3.3'te nükleer ısı ile ilgili uygulama alanları gösterilmiştir.

3.4. Jeotermal Enerji Sistemleri

Jeotermal, kısaca yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su ve su buharıdır. Yağmur ve kar suları zamanla



Şekil 3.3 Nükleer ısı ile ilgili uygulamalar (WEB_7 2004)

zamanla (Denizli – Kızıldere örneğinde en az 50 yıllık bir süreç ile) yeryüzünden süzülerek yeraltında derinlere iner ve sıcak kayalarla temasa geçerler. Rezervuar etrafındaki geçirimsiz kayalar ise ısınan akışkanın yüzeye çıkmasını, belli bir basınçta tutarak engellerler. Jeotermal enerji ise bu kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır (Önal ve Kaya 2003, Atalay 2004, Yılancı 2004).

Jeotermal enerjiden iki türlü faydalanmak mümkündür. Bunlardan birincisi;

- Kaplıcalar ve havuz ısıtmaları (balneojik)
- Sera ısıtmaları
- Kurutma uygulamaları
- Konservecilik
- Su ürünleri yetiştirme çiftlikleri
- Kar eritme
- Isı pompaları ile hacim ısıtma ve soğutma
- Hacim ısıtması (Bölgesel ısıtma vb.)
- Soğutma uygulamaları

gibi alanlarda kullanılabilen, doğrudan kullanımdır.

İkincisi ise elektrik üretimidir. Bunun için ise üç farklı sistem vardır:

- 1) Kuru Buharlı (Dry Steam) Sistemler
- 2) Buharlaştırılmalı (Flash Steam) Sistemler
 - Tek Buharlaştırılmalı Sistemler
 - Çift (veya daha fazla) Buharlaştırılmalı Sistemler
- 3) İkili (Binary Cycle) Sistemler

Türkiye’de bilindiği kadarıyla elektrik üretimi için elverişli, yüksek entalpili 6 saha bulunmaktadır:

- Denizli – Kızıldere (200-242 °C)
- Aydın – Germencik (232 °C)
- Aydın – Salavatlı (171 °C)
- Çanakkale – Tuzla (173 °C)
- Kütahya – Simav (162 °C)
- İzmir – Seferihisar (150 °C)

3.5. Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinesi olarak nitelenebilecek olan atmosferde; ısıl potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanına hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu doğa olayındaki hava kütlesi hareketine, rüzgar adı verilir (Özdamar 2001).

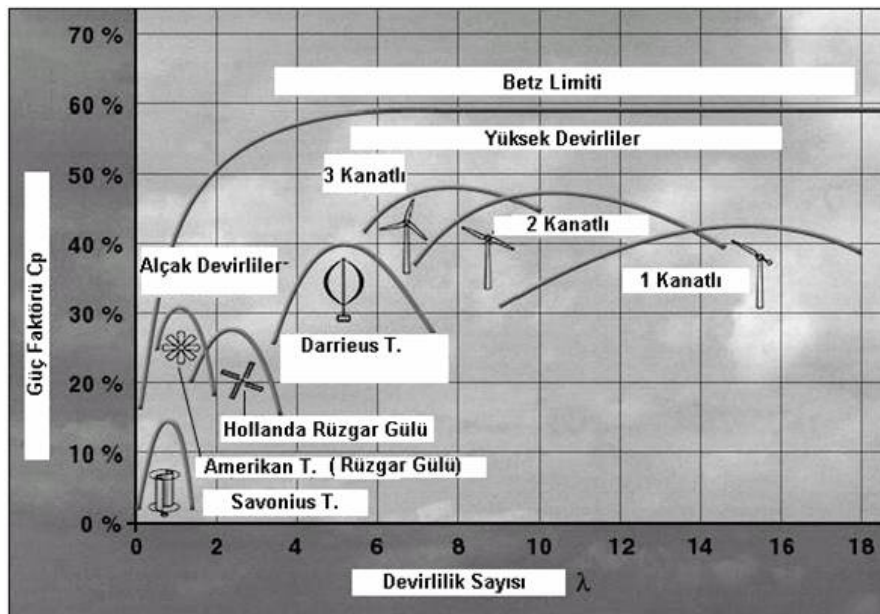
Rüzgar türbinleri ile ilgili tanımlamalar, değişik kaynaklarda birbirleriyle çelişmektedirler. Bu konudaki en genel tanımlama şu şekilde yapılabilir: Pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane miline rotor veya türbin denilir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile de, jeneratör mili denir. Bunların tümü, kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığıyla sağlanır. Tüm bu elemanlara, en genel halde “rüzgar enerjisi tesisi” adı verilir. Bu gerçeğe rağmen, yerli ve yabancı literatürde, rüzgar enerjisi tesisi yerine, “rüzgar türbini” denilmesi alışkanlık olmuştur.

Rüzgar türbinlerinin birçok çeşidi ve sınıflandırması olmasına rağmen, temelde iki grupta toplanabilirler:

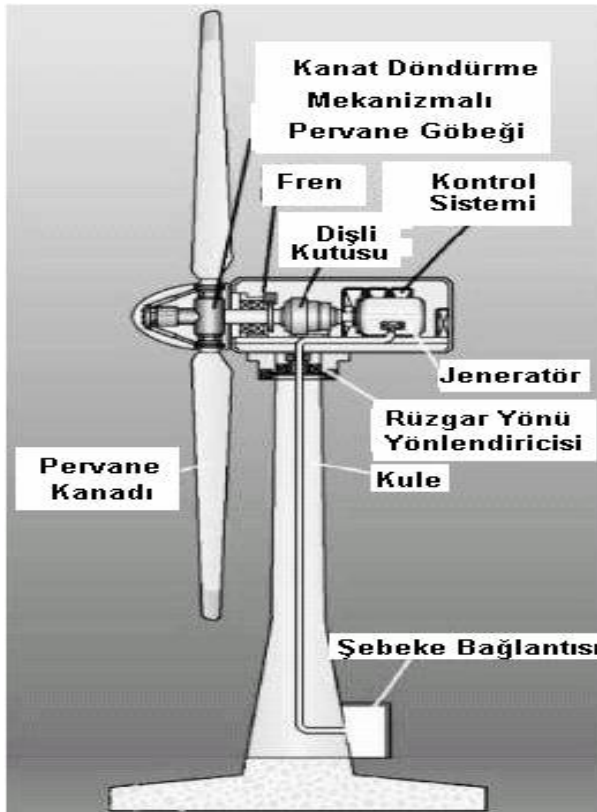
- Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri (En çok bilinen tipleri: 1 Kanatlı, 2 Kanatlı, 3 Kanatlı, Amerikan Tipi ve Hollanda Rüzgar Gülü'dür.)
- Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (En çok bilinen tipleri: Savonius Tipi ve Darrieus Tipi'dir.)

Rüzgar türbinlerinde güç faktörü olarak adlandırılan ve türbin pervanesinin verimini gösteren birime C_p denir. C_p , en çok 0,5926 olabilir. Teorik olarak bulunan bu değere, Betz Limiti adı verilir. Uygulamadaki rüzgar türbinlerinde, güç faktörü en çok 0,45 olabilmektedir (Şekil 3.4). Rüzgar türbini; türbin pervanesi, pervane mili, dişli kutusu (dişli kutusuz sistemler de mevcuttur) ve jeneratörden oluşur. Bu yüzden rüzgar türbini hesaplamalarında, dişli kutusu ve jeneratör kayıplarının da dikkate alınması gerekir (Özdamar 2005).

Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve rüzgar hızlarının yüksek olduğu alanlarda ekonomiktir. Rüzgar türbini teknolojisi, ileri teknoloji gerektirmemekte olup, Türkiye'deki teknoloji ile üretilebilir (Özdamar 2005). Şekil 3.5'te, elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan, yatay eksenli kanatlı rüzgar türbinlerini oluşturan ana elemanlar görülmektedir.



Şekil 3.4 Değişik rüzgar türbinlerinin güç faktörleri (Özdamar 2005)



Şekil 3.5 Yatay eksenli bir rüzgar türbininin ana elemanları (Özdamar 2001)

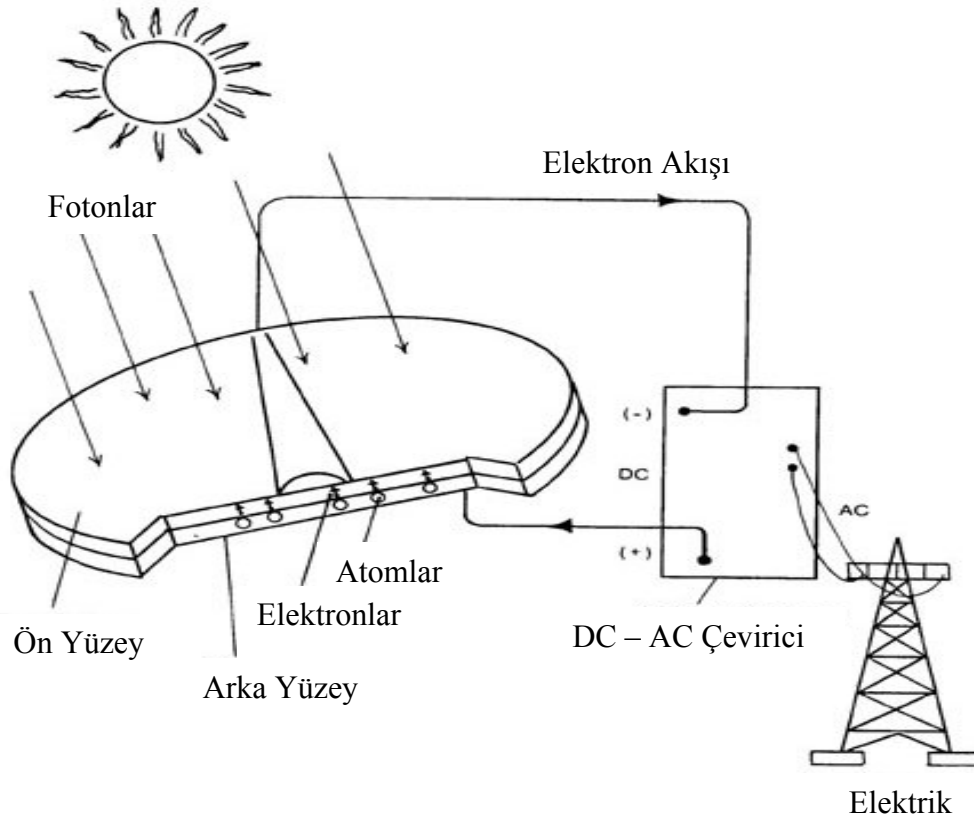
3.6. Güneş Enerjisi Sistemleri

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup, güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Doğu Karadeniz Bölgesi dışında tüm bölgelerimiz için önemle ele alınması gereken bir büyüklüktedir. Güneş enerjisinden su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma gibi ısı amaçlarıyla yararlanılabileceği gibi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek de mümkündür.

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri üç şekilde ele alınabilir:

- Kimyasal (Fotosentez İşlemi)
- Termal (İkinci Bir Akışkanı Isıtmak)
- Elektriksel (Fotovoltaikler)

Güneş pilleri olarak da bilinen ve Şekil 3.6'da görülen fotovoltaikler, güneşin elektromanyetik radyasyonunu doğrudan elektriğe çeviren ve Carnot çevrimi verimlilik kurallarıyla sınırlandırılmamış sistemlerdir (WEB_6 2005).



Şekil 3.6 Bir fotovoltaik sistem şeması (WEB_6 2005)

3.7. Hidrojen Enerjisi Sistemleri

Dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek en ileri teknolojinin hidrojen enerji sistemi olduğu bugün bütün bilim adamlarınca kabul edilmektedir. Hidrojen enerjisinin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek bir etkisi yoktur. Kömür, doğalgaz gibi fosil kaynakların yanı sıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Elektriğe 20. yüzyılın enerji taşıyıcısı, hidrojene 21. yüzyılın enerji taşıyıcısı diyen çevreler vardır. Hidrojen yerel olarak üretimi mümkün, kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, ulaşım araçlarından ısınmaya, sanayiden mutfaklarımıza kadar her alanda yararlanabileceğimiz bir enerji sistemidir. Hidrojen içten yanmalı motorlarda doğrudan kullanımının yanı sıra katalitik yüzeylerde alevsiz yanmaya da uygun bir yakıttır. Ancak dünyadaki gelişim hidrojeninin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi doğrultusundadır. 1950'lerin sonlarında, NASA (Ulusal Amerikan Uzay Ajansı) tarafından uzay çalışmalarında

kullanılmaya başlanan yakıt pilleri, son yıllarda özellikle ulaştırma sektörü başta olmak üzere sanayi ve hizmet sektörlerinde başarı ile kullanıma sunulmuştur. Yakıt pilleri, taşınabilir bilgisayarlar, cep telefonları gibi mobil uygulamalar için kullanılabildiği gibi elektrik santralleri için de uygun güç sağlayıcılardır. Yüksek verimlilikleri ve düşük emisyonları nedeniyle, ulaşım sektöründe de geniş kullanım alanı bulmuşlardır (WEB_10 2004).

4. KATI YAKITLI TERMİK SANTRALLER

En genel tanımıyla; kömür veya linyitin yakılarak, kazandaki akışkanı ısıtmasıyla elde edilen yüksek basınçlı buharın, buhar türbini kanatlarını çevirmesi sonucunda jeneratörü tahrik ederek elektrik enerjisi üretilen santrallerdir.

Şekil 4.1’de Kütahya’da bulunan Seyit Ömer Termik Santrali’nin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.1 Seyit Ömer Termik Santrali genel görünümü (Anonim 2006)

Katı yakıtlı termik santral sistemleri aşağıdaki birimlerden oluşur:

1. Yakıt Besleme Sistemi:

Yanma için gerekli olan kömürü hazırlar.

a. Transportlar: Bantlarla gelen kömürü bunkerlere aktarırlar (Şekil 4.2).

b. Bunkerler: Değirmen için gerekli kömüre depoluk ederler.

c. Değirmenler: Bunkerlerden gelen kömürü öğütüp yakıcılara gönderirler.

d. Yakıcılar: Değirmenden gelen öğütülmüş kömürü ve hava ısıtıcısından gelen sıcak havayı karıştırıp pülverize olarak kazanın yanma odasına püskürtürler.



Şekil 4.2 Park sahası ve transportlar (Anonim 2006)

2. Hava ve Uçucu Gaz Sistemi:

Yanma için gerekli havayı temin edip, yanmadan sonra oluşan gazı atmosfere atar.

a. Filtre: Taze hava fanının emdiği havayı temizler.

b. Taze hava fanı: Yanma için gerekli havayı atmosferden emer ve sisteme gönderir.

c. Buharlı ön ısıtıcı: Dönerli hava ısıtıcısına gitmekte olan havanın sıcaklığını bir miktar yükseltir. Isıtma işlemini buharla yapar. Havanın sıcaklığını artırmakla dönerli hava ısıtıcısını korozyondan korumuş olur.

d. Dönerli hava ısıtıcısı (Luvo): İçerisi saç plakalarla bölünmüş olup kendi ekseninde döndürülmektedir. Buharlı ön ısıtıcıdan gelen havayı, ekonomizer borularını terk eden sıcak gaz ile ısıtır. Isısını veren gaz elektrofiltreye geçer, ısınmış hava ise iki bölüme ayrılır. Bir bölümü kazanın yanma odasını üzerinden alınan 900 °C civarındaki sıcak gazla karıştırılıp değirmen girişinde kömürün nemini almak için verilir. Diğer bölümü ise yakıcılara yanma havası olarak gider.

e. Elektrofiltre: Bacaya gitmekte olan gazın içerisindeki külü, elektrostatik güç uygulayarak tutar. Bu güç yüksek voltajlı doğru akım şeklindedir. Elektrofiltrenin plaka ve çubuklarında toplanan küller belirli zaman aralıklarında silkelenerek elektrofiltrenin altındaki bunkerlerde toplanır.

f. Geri dönüş (Resirkülasyon) gazı fanı: Elektrofiltreden sonra bacaya gitmekte olan gazın bir miktarı bu fan vasıtasıyla alınır ve sıcaklık ayarı için değirmen girişine verilir.

g. Cebri çekme fanı: Yanma odasında oluşan gazları emerek bacadan dışarı atar. Kazan devamlı olarak cebri çekme fanı emişi altında olduğundan devamlı vakum altındadır.

h. Baca: Cebri çekme fanın gönderdiği gazları atmosfere atar. Hem gaz çekişine faydalı olması hem de gazların atmosfere daha iyi yayılması için yüksek yapılırlar.

3. Kül Atma Sistemi:

Kazanın bazı yerlerinde toplanan cüruf ve külleri toplayıp dışarı atar. Eğer bu sistem su ile çalışırsa hidrolik, hava ile çalışırsa pnömatik sistem adını alır.

a. Kazan altı teknesi: Kazan altında yer alıp içerisi su ile doludur. Kazan teknenin içerisinde yüzer halde bulunmaktadır. Teknenin içerisindeki su hem kazanın içerisini hava girmesine engeller hem de yanma odasından aşağıya düşen cürufların soğumasını sağlar.

b. Cüruf çıkarıcılar: Kazan altı teknesinde toplanan cürufları çıkarıp cüruf bandına aktarırlar.

c. Cüruf bantları: Cüruf çıkarıcılarından aldığı cürufları dışarıya (dağa) atarlar.

d. Kompresörler: Pnömatik kül atma sisteminde gerekli olan basınçlı havayı temin ederler.

e. Kül toplama tankı: Küller ekonomizer, dönerli hava ısıtıcısı (Luvo), elektrofiltre ve baca altında toplanırlar. Kompresörlerden gelen basınçlı hava enjektörler vasıtasıyla kül toplanan yerlere verilir. Basınçlı hava beraberinde külleri alarak kül toplama tankına götürür. Burada kül ile hava birbirinden ayrılır, daha sonra tekrar basınçlı hava verilerek küller kül nemlendirme istasyonuna gönderilir.

f. Kül nemlendirme istasyonu: Buraya gelen küller önce havadan ayrılır. Daha sonrada su ile nemlendirilerek bantlarla dışarıya (dağa) atılırlar.

4. Yoğuşma Suyu Sistemi:

a. Kondense: Kondensenin içerisinde binlerce bakır alaşımli boru vardır. Bu boruların içerisinde soğutma kulesinden gelen su geçer boruların dışına da AB (Alçak Basınç) türbininden gelen çürük buhar dökülür. Boruların dışından geçmekte olan çürük buhar ısısının soğutma suyuna vererek yoğuşur ve kondensenin altından (hotwel) toplanır. Isınan soğutma suyu da tekrar soğutma kulelerine geri döner. Bu esnada kondensede oluşan gazlar ejektörle dışarıya atılırlar. Böylece kondensede devamlı vakum tutulur.

b. Kondense tahliye pompası: Kondensede toplanan yoğuşum suyunun AB ısıtıcılarından geçirerek kazan besleme tankına gönderir.

c. AB ısıtıcıları: Türbinden aldıkları ara buharlarla tahliye pompasından gelen suyu ısıtırlar.

d. Degazör: AB Isıtıcılarından gelen tahliye (yoğuşum) suyu degazörden geçer. Degazör fiziksel yolla suyun içindeki gazları atmosfere atar. Degazörün iyi çalışabilmesi için sıcaklığının basıncına eş değer kaynama sıcaklığında olması ve suyu çok ufak parçalara ayırması gerekmektedir.

5. Besleme Suyu Sistemi:

a. Kazan besleme tankı: Degazörde gazı alınan su besleme tankında toplanır. Bu tank hem kazan besleme pompalarına depoluk görevi görür hem de pompa seviyesinden daha yüksek seviyede bulduklarından, onların emiş basınçlarını yükseltir.

b. Ön (buster) pompa: Kazan besleme pompalarının emiş basınçlarını yükseltirler ve böylece onları kavitasyondan korumuş olurlar.

c. Kazan besleme pompaları: Kazan besleme tankındaki suyu YB (Yüksek Basınç) ısıtıcıları ve ekonomizer borularından geçirerek doma gönderirler.

d. YB ısıtıcıları: İçerisinde boru demetleri bulunur, besleme pompasından gelen su borulardan geçer. Türbinden alınan ara buhar da boruların dışına dökülür. Isınan besleme suyu eko borularına gider. Isısını veren ara buhar da yoğuşarak besleme tankına dökülür.

e. Ekonomizer: YB ısıtıcılarından gelen besleme suyunu yanma gazı ile ısıtırlar.

f. Dom ve ekran (Buharlaştırıcı) boruları: Ekonomizerden gelen besleme suyu doma gelir. Domdan, dom düşü borularıyla kazan alt kolektörüne geçer. Kazan alt kolektöründen de ekran borularına giriş yapar. Ekran boruları kazan yanma odası çevresinde dizilmiş olarak bulunurlar. Ekran borularına gelen su, sıcaklığın etkisiyle buharlaşır ve doymuş buhar kolektöründen tekrar doma gider. Domla ekran boruları arasındaki bu sirkülasyona tabii sirkülasyon, kazana da tabii sirkülasyonlu kazan denir. Domdaki doymuş buhar kızdırıcılara giderken seperatörden geçer. Böylece içerisindeki su ayrıştırılır. Dom hem ekran borularını su altında tutup tabii sirkülasyonu sağlar hem de kızdırıcılara giden buharı sudan temizler.

6. Ana Buhar Sistemi:

a. Kızdırıcılar: Domdaki kuru doymuş buharın sıcaklığını yükseltirler. Birkaç petek (kangal) olarak imal edilirler. Her petek ayrı ayrı birbirine kolektörlerle bağlanmıştır. Eğer sıcaklıklar fazla yükselirse bu kolektörlerde sıcaklığı düşürmek için su enjeksiyonu yapılır. Kızdırıcılarda buhar 540 °C civarına kadar ısınır.

b. YB Türbini: Kızdırıcıları terk eden buhar YB türbinine gelir. Burada önce iki ayrı vanadan geçer:

i. Ani stop valfi: Türbine girişteki ilk vanadır. Reglaj yağı (Basınçlı yağ) kuvvetiyle çalışır. Buhar yolunu açıp kapamaya yarar. Türbin emniyet sistemleri bu valfa kumanda ederler.

ii. Reglaj valfi: Türbine girişte ikinci vanadır. Bu da reglaj yağı (basınçlı yağ) kuvvetiyle çalışır. Türbinin yüküne göre buhar miktarını ayarlar. Türbin hız regülatöründen sinyal alarak çalışır.

Bu iki vanayı terk eden buhar, türbin buhar kasasından lülelere, lülelerden hareketli ve sabit kanatları tarayarak genişleyip basınç ve sıcaklığı düşmüş halde YB türbinini terk edip tekrar kızdırıcılara gider.

c. Tekrar kızdırıcılar: YB türbinini terk eden buharın sadece sıcaklığını eski sıcaklığına (540 °C) getirmek için dizayn edilmişlerdir. Bunlarda kızdırıcılar gibi kangallar halinde bulunurlar. Eğer sıcaklık fazla artarsa kangallar arasındaki kolektörlerden sıcaklık ayarı için su püskürtülür. Tekrar kızdırıcıları terk eden buhar OB (Orta Basınç) türbinine gider.

d. OB Türbini: Tekrar kızdırıcılardan gelen buhar OB türbini girişinde yine ani stop ve reglaj valflerinden geçerek türbine girer. Daha sonra türbinde genişleyerek dışarı çıkar. OB türbininden çıkan buhar boruyla AB türbinine girer.

e. AB Türbini: OB türbininden gelen buhar AB türbinine gelir. Bu türbinin girişinde vana yoktur. Buhar hemen türbine girer. Bu türbinde genişleyen buharın basınç ve sıcaklığı çok düşmüştür. Onun için bu buhara çürük buhar denir. İçerisinde su zerrelere de olduğu için yağ buharda denir. AB türbininde genişlemesini bitiren buhar çürük buhar olarak kondenseye dökülür (Şekil 4.3, Şekil 4.4).



Şekil 4.3 Türbin iç görünüşü (Anonim 2006)



Şekil 4.4 Türbin yatağı ve alternatör mili (Anonim 2006)

7. Kondense Sirkülasyon Suyu Sistemi:

a. Sirkülasyon suyu pompası: Soğutma kulesi havuzundan aldığı suyu kondenseye gönderir. Kondense borularından geçen su ısınarak soğutma kulesine geri gönderir.

b. Soğutma kulesi: Kondenseden gelen ısınmış su soğutma kulesinin üst kısmında önce komple yüzeye dağılır. Sonra yüzey büyütücü PVC elemanlarından geçerken, soğutma kulesi bacasında bulunan aspiratörün çektiği hava ile karşılaşarak ısı alışverişi yaparlar, ısınıp veren soğutma suyu soğur ve soğutma kulesi havuzunda toplanır. Isıyı alan havada bir miktar su buharı ile beraber kule bacasından atmosfere atılır.

8. Elektrik Sistemi:

a. Alternatör: Stator ve rotor diye iki ana parçası vardır. Stator sabit olup gövdeyi oluşturur. Rotor ise hareketli parça olup türbin tarafından döndürülür. Rotoru sargılıdır. Bu sargıları ikaz dinamosu tarafından doğru akım verilir. Böylece rotorda manyetik alan meydana gelmiş olur. Rotor aynı zamanda türbinle döndürüldüğü için döner manyetik alan meydana gelir. Stator da ise çevreye eşit aralıklarla yerleştirilmiş üç ayrı sargı

bulunur. Bu sargılar döner manyetik alanın içerisinde bulunduğu için üzerlerinde elektrik akımı meydana gelir. Her sargıda üretilen elektrik akımına faz adı verilir. Alternatörde üç ayrı sargı olduğu için, üç ayrı faz meydana gelmiş olur. Bu fazlar R,S,T, diye isimlendirilir. Bu sargıların birleştiği diğer uç ise nötrdür. Alternatör sargıları ısınacağı için kendi yüklerine göre havayla, hidrojenle veya saf su ile soğutulurlar. Alternatörde üretilen elektrik akımının bir miktarını (yaklaşık olarak gücünün % 10'u) santral iç ihtiyacında kullanmak için iç ihtiyaç trafosu ile geri alınır. Geriye kalan elektrik akımı ise enterkonnekte sistemi vermek için ana trafoya gönderilir (Şekil 4.5).

b. İkaz dinamosu: Türbin milinden hareket alarak doğru akım üretir. Üretmiş olduğu doğru akımı alternatör rotorunun sargısına verir.

c. İç ihtiyaç trafosu: Alternatörün üretmiş olduğu elektriğin bir miktarı santralin kendi ihtiyaçlarında kullanılmak üzere geri alınır. Bu elektriğin gerilimi yüksek olduğundan iç ihtiyaç trafosu ile gerilim santraldeki motorların gerilimine uygun olarak düşürülür.

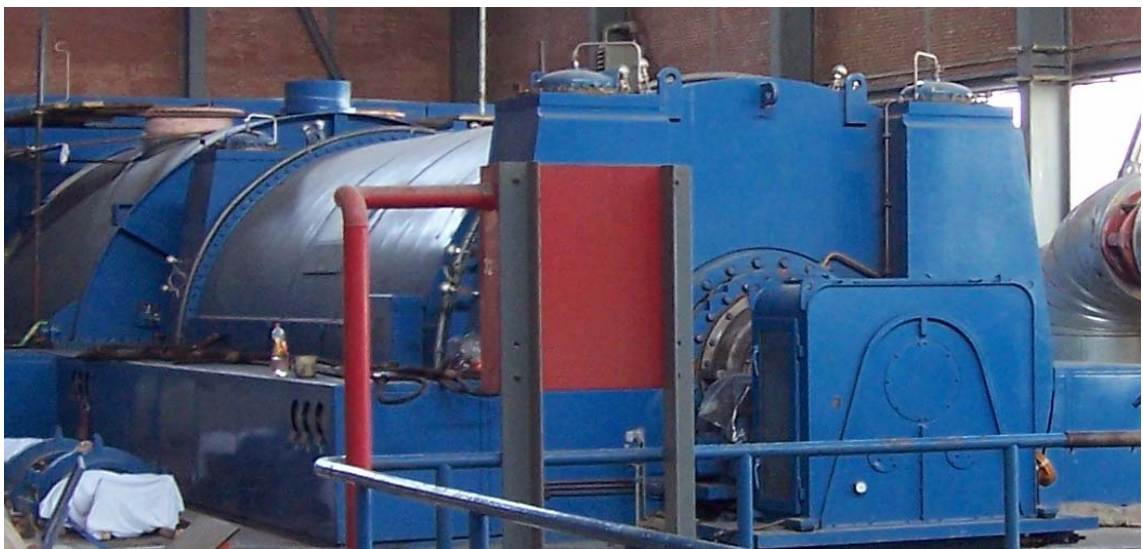
d. Ana trafo (Transformatör): Alternatörün üretmiş olduğu elektriğin gerilimi ana trafo vasıtasıyla enterkonnekte sisteme uygun olacak şekilde yükseltilerek verilir (Şekil 4.6).

e. Ayırıcı: Yüksüz elektrik hattını açıp kapamaya yarar.

f. Kesici: Yüklü elektrik hattını açıp kapamaya yarar.

g. Bara: Ana trafodan gelen yüksek voltajlı elektrik enerjisini müşterilere dağıtan iletken bir hattır.

h. Fiderler: Baradan sonra her müşteriye giden hatta fider denir. Ayırıcı, kesici, bara ve fiderler şalt sahasında bulunurlar (Şekil 4.7).



Şekil 4.5 Alternatör (Anonim 2006)



Şekil 4.6 Ana trafo (Anonim 2006)



Şekil 4.7 Şalt sahası (Anonim 2006)

9. Su Arıtma Sistemi:

Ham su, geçici ve kalıcı sertlik olmak üzere iki çeşit sertliğe sahiptir. Bunların her birisi ayrı ayrı ünitelerde yok edilir.

a. Geçici sertlik alma ünitesi: Bu ünite ham su havuzu flakülatörler, kum filtreleri ve geçici sertliği alınmış su havuzu bulunur.

b. Kalıcı sertlik alma ünitesi (Demineralize istasyonu): Santral için gerekli saf suyu üretir. Bu ünite aktif karbon filtresi, katyon, anyon mixed reçineleri ve saf su havuzu bulunur.

c. Buharlaştırma metodu ile saf su üretmek: Bazı santrallerde saf su, buharlaştırma yoluyla üretilir. Bu sistemde, sodyum katyon reçinesi (zeolit) ve buharlaştırıcı (evaporatör) kullanılır (Anonim 2006).

5. EKSERJİ ANALİZİ

5.1. Ekserjinin Tanımı

Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, “kullanılabilir enerji” olarak da bilinen ekserjiyi, enerjinin faydalı kısmı olarak düşünebiliriz. Yani enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji formuna dönüştürülebilen kısmıdır. Bir madde ya da bir enerji akışına bağlı ekserji; baca gazı, soğutma suyu ve ısı kaybı şeklinde çevreye atılır. Hem ekserji tahribi hem de ekserji kaybı, termodinamiğin ikinci kanun analizi de denilen “Ekserji Analizi”nden saptanır. Termodinamiğin ikinci kanunu, hem bir enerji taşıyıcının gerçek termodinamik değerini hem de proses ya da sistemlerden olan kayıpların ve gerçek termodinamik yetersizliklerin hesaplarının yapılabilmesi sonucu ile bir enerji dengesini tamamlar ve geliştirir. Ekserji tahribi direk olarak sistem içindeki tersinmezliklerin sonucudur.

Kompleks termodinamik sistemlerin optimizasyonunda, termodinamiğin ikinci kanununun çok güçlü bir araç olduğunu kanıtlamıştır. İkinci kanunun ışığında mühendislik aygıtlarının performanslarının belirlenebilmesi için; kullanılabilirlik, tersinir iş, tersinmezlik ve ikinci kanun veriminin tanımlamaları ile işe başlanmıştır. Kullanılabilirlik, verilen bir durumdaki sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iş miktarıdır. Tersinir iş ise, belirli iki durum arasında bir proses geçiren sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iştir. Ayrıca tersinmezlik, bir proses sırasında kaybedilen iş potansiyelidir ve bu kayıp iş potansiyeli, tersinmezliklerin sonucu olarak meydana gelir.

Örneğin sıcak yer altı suyu gibi yeni bir enerji kaynağı bulunduğu zaman ilk yapılan işlemlerden biri, kaynakta bulunan enerjinin miktarını yaklaşık olarak belirlemektir. Fakat sadece bu bilgiye sahip olmak, burada bir güç santrali yapmaya karar vermek için yetersizdir. Asıl bilinmesi gereken, kaynağın iş potansiyeli veya kaynağın iş yapma olanağıdır. Başka bir deyişle, kaynakta varolan enerjinin ne kadarının faydalı işe, örneğin bir elektrik jeneratörünü çalıştırmak için kullanılabilir işe

dönüştürülebileceğinin bilinmesi gerekir. Enerjinin geri kalanı veya faydalı işe dönüştürülemeyen bölümü, sonuçta atık ısı olarak çevreye verileceği için önem taşımamaktadır. Bu bakımdan, belirli bir halde ve belirli bir miktarda enerjiden elde edilebilecek işi veren bir özelliğın tanımlanması çok yararlı olacaktır. Bu özelliğın adı “kullanılabilirlik” (Çengel ve Boles 1996).

Kullanılabilirlik çözümlerinde ilk hal belirli olduğundan dolayı değışken değildir. İki hal arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değışiminin tersinir olması durumunda gerçekleşir. Bu nedenle sistemden elde edilebilecek en çok işi belirlerken tersinmezlikler göz önüne alınmaz. Son olarak, sistemden en çok işi elde edebilmek için, hal değışimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir. Bir sistemin ölü halde olması demek, çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü haldeyken sistem, çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Başka bir deyişle, çevre ile ısı ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistemin ölü haldeki özellikleri, (P_o , T_o , h_o , u_o ve s_o) sıfır indisıyla gösterilir. Aksi belirtilmedikçe, ölü hal sıcaklığı 25 °C ve basıncı 1 atm alınabilir. Bir sistemin ölü haldeki kullanılabilirliği sıfırdır. Bir sistemden en çok işi elde edebilmek için sistemin son halinin ölü hal olma zorunluluğı şöyle açıklanabilir: Sistemin son haldeki sıcaklığı eğer çevre sıcaklığının üzerinde veya altında ise, çevre sıcaklığıyla bu sıcaklık arasında çalışan bir ısı makinesi aracılığıyla iş yapılabilir. Sistemin son haldeki basıncı eğer çevre basıncının üzerinde veya altında ise bu basınç farkından yararlanarak genişleme işi yapılabilir.

Bütün bunlar değerlendirildiğinde şu sonuç elde edilebilir: Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değışimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değışim, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik (ekserji) diye adlandırılır. Ekserjinin, bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş olarak düşünülmemesi gerekir. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğın yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını belirler. Bir sistemin kullanılabilirliğiyle yaptığı iş arasında küçük veya büyük bir fark her zaman vardır. Bu fark mühendisler için daha iyinin sınırlarını çizer. Verilen bir halde sistemin ekserjisi, sistemin özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarına, başka bir deyişle ölü hale bağlıdır. Bu bakımdan ekserji sadece sistemin değil, sistem çevre ikilisinin bir

özeliğidir. Çevreyi değiştirmek kullanılabilirliği artırmanın bir yolu olabilir, fakat kolay bir yol olmadığı açıktır (Çengel ve Boles 1996).

Pak ve Suzuki (1997) çalışmalarında bölge ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan gaz türbinli kojenerasyon sistemlerin ekserjetik değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmada iki farklı gaz türbini ele alınmıştır. Bunlardan birincisi ikili akışkan çevrimi, ikincisi ise kombine çevrimdir. Çalışmada modelleme yapılarak; yüksek ısı sağlanması istenildiğinde ikili akışkan çevriminin ekserjetik veriminin yüksek olduğu, düşük ısı sağlanması istenildiğinde ise kombine çevrimin ekserjetik veriminin yüksek olduğu sonuçlarına varılmıştır. Bunun yanında ikili akışkan ekserji verimi, maksimum ısı sağlandığında kombine çevrimden daha yüksek, minimum ısı sağlandığında ise kombine çevrimin ekserji verimi ikili akışkan çevrimine göre daha yüksek değerdedir. Çalışmada ayrıca, ısı ihtiyacının bilinmesi durumunda bölge ısıtmasında ne tip bir kojenerasyon sisteminin kullanılabileceğinin kriterleri ortaya koyulmuştur.

Fiaschi ve Manfrida (1998) birleşik yarı kapalı gaz türbininin ekserji analizini yapmışlardır. Sistemin en çok ekserji kaybının nerelerde olduğunun tespiti için sistem elemanlarının tek tek analizi yapılmıştır. Analizler ayrıca sistemin farklı çalışma koşulları için de yapılmıştır. Çalışmada; yanma, ısı geri kazanım jeneratörü ile su karıştırma ve su geri kazanım sistemlerinin ekserji kaybı bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu sistemler genel santral ekserji kayıplarında yaklaşık % 80 gibi büyük bir paya sahiptir. Sistemin ikinci kanun veriminin % 49 ile % 53 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sistemde ayrıca yoğuşturucu ve ısı değiştirici gibi bazı kritik elemanların, çalışma parametrelerine bağlı olarak sistemin genel performansını etkilediği görülmüştür.

Dincer ve Al-Muslim (2001) Rankine çevrimli buhar – güç santralinin termodinamik analizini yapmış olup, birinci ve ikinci kanun analizlerini incelemiştir. Çalışmada enerji ve ekserji verimlilikleri değişik sistem parametreleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu parametreler; kazan sıcaklığı, kazan basıncı, kütleli debi ve çıkış değerleri olarak ele alınmıştır. Kazan sıcaklık ve basınç değerleri 400 – 500 °C ve 10 – 15 MPa değerleri arasında seçilmiştir. Bu değerler seçilirken gerçek çalışma şartları göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplanan enerji ve ekserji verimlilikleri gerçek veriler ve diğer literatür çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır ve uygunluğu gözlemlenmiştir. Çalışma

sonuçları olarak sistem optimizasyonunda ekserji analizinin iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Çengel vd. (2002) çalışmalarında karıştırma işleminin tersinmez bir işlem olduğunu belirterek proses içinde ekserji kayıplarının ortaya konması gerektiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada bu tarz sistemlerin geniş bir alanda kullanıldığı fakat kullanılabilirlik ve ekserji olarak çok fazla avantajlı olmadığı görülmüştür. Bazı karışım prosesleri incelenerek sistemlerin büyümesinin ekserji kayıpları bakımından nasıl sonuçlar doğurabileceği gözlemlenmiştir. Çalışma sonunda iki farklı sistemin birleştirilmesinin enerji bakımından olumlu fakat ekserji bakımından olumsuz sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Artık enerji potansiyelinin önüne geçebilmek için sistemlerin ayrı olarak çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca birleştirilecek sistemlerin benzer sıcaklık, basınç ve yapı özelliklerine sahip olması gerektiği belirtilmiştir.

Rosen ve Dincer (2003) çalışmalarında kömür yakıtlı, sıvı yakıtlı ve nükleer elektrik güç üretim sistemlerinin birim maliyetleri ve termodinamik kayıplar arasındaki ilişkiyi ele almışlardır. Termodinamik kayıp oranlarının birim maliyet oranıyla olan ilişkisini, hem sistemin tek tek elemanları hem de santralin genel ekserji kaybını inceleyerek ortaya koymuşlardır. Yapılan bu incelemeler hem sistem elemanlarının hem de santralin iyileştirilmesinde yol gösterici olmaktadır. Sonuçlar ise hem genel anlamda hem de elektrik güç sistemlerinde termodinamik ve ekonomik analizler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu analizler sistem iyileştirmelerinde büyük rol oynamaktadır.

Kwak vd. (2003) yaptıkları çalışmada 500 MW (Megawatt) gücünde birleşik çevrimli bir santralin ekserjetik ve termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Sisteme ait her bir eleman için kütle ve enerji korunum denklemleri uygulanmıştır. Ayrıca her bir eleman ve genel olarak sistemin ekserji ve ekserjetik maliyet analizi yapılmıştır. Eksergoekonomik model, sistemin yapısındaki elemanların maliyeti ve üretim kalitesinin bağıntısını ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca bilgisayar programı geliştirilerek sisteme ait üretim maliyetleri ve bunun yanında termodinamik performansı incelenmiştir.

Rosen ve Dincer (2003) termal sistemlerdeki enerji, ekserji ve maliyet analizleri bakımından sistemler incelemiş olup modern bir kömür yakıtlı elektrik güç santrali için uygulama yapmışlardır. Çalışma hem genel santral bakımından hem de türbin, jeneratör,

buhar kazanları, ısıtıcılar ve yoğuşturucular için tek tek ele alınmıştır. Buradaki en önemli noktalardan birisi termodinamik kayıpların maliyetle olan ilişkisidir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki enerji kayıplarıyla birim maliyetler arasında kurulamayan sistematik bağıntı, ekserji kaybıyla kurulabilmektedir. Elde edilen sonuçlar sistemlerin dizaynında termodinamik kayıplar ve birim maliyetler hakkında bilgi edinilmesi bakımından yararlı olmaktadır.

Cerci (2003) çalışmasında 11,4 MW gücündeki tek buharlaştırıcı bir jeotermal santralin ekserji analizi yoluyla performansını değerlendirmiştir ve bu esnada sisteme ait gerçek çalışma verileri kullanılmıştır. Ekserji kullanımı ve kayıpları sistemin, kuyu başından buharın atılmasına kadar olan sürecinde diyagram şeklinde gösterilmiştir. Yapılan çalışmada en büyük ekserji kayıplarının; jeotermal akışkandan buharın ayrıştırılmasında, türbin – jeneratör sisteminde ve kompresörde olduğu görülmüştür. En büyük ekserji kaybının % 46,9 gibi bir değerle kullanılmayan suyun Menderes Nehri'ne atılmasıyla ortaya çıktığı belirtilmiştir. Sistemin genel ikinci kanun verimi % 20,8 olarak tespit edilmiştir. Diğer jeotermal güç santralleriyle karşılaştırıldığında sistemin verimliliğinin düşük olduğu görülmüş ve bunun sistemde yapılabilecek bazı alternatif dizayn ve geliştirmelerle iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Rosen ve Dincer (2004) kömür yakıtlı bir güç santralinin enerji ve ekserji analizinde ölü hal özelliklerinin farklı seçilmesiyle elde edilen sonuçları incelemişlerdir. Sistem hem genel anlamda hem de türbin, kazan, yoğuşturucu, ısıtıcılar için ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışma iki farklı zemin üzerine oturtulmuştur. Birincisi farklı farklı ölü hal özellikleri seçilerek elde edilen enerji ve ekserji değerleri, ikincisi ise farklı ölü hal değerleri seçimiyle tüm sistemin enerji ve ekserji sonuçlarının analiz edilmesidir.

Rosen ve Dincer (2004) yaptıkları çalışmada buhar prosesli endüstriyel ısıtmada ekserji analizini uygulayarak incelemeler yapmışlardır. Bazı alternatif konfigürasyonlarla buhar elde etme ve bu buharın ısıtma sistemlerinde kullanımı incelenmiştir. Çalışmada buharın ısıtma prosesinde kullanılmasına oranla, ekserji analizi yapıldığında buharın elektrik üretmede kullanılmasının daha verimli olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışmada özel bir şirkete ait enerji santrali ele alınmıştır. Sistemde elde edilen veriler ve sistemin yeniden konfigürasyonunun buhar üreten diğer sistemlerin de iyileştirilmesi için yararlı olacağı belirtilmiştir. Çalışma sonunda ekserji analizinin sistem optimizasyonlarında büyük rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

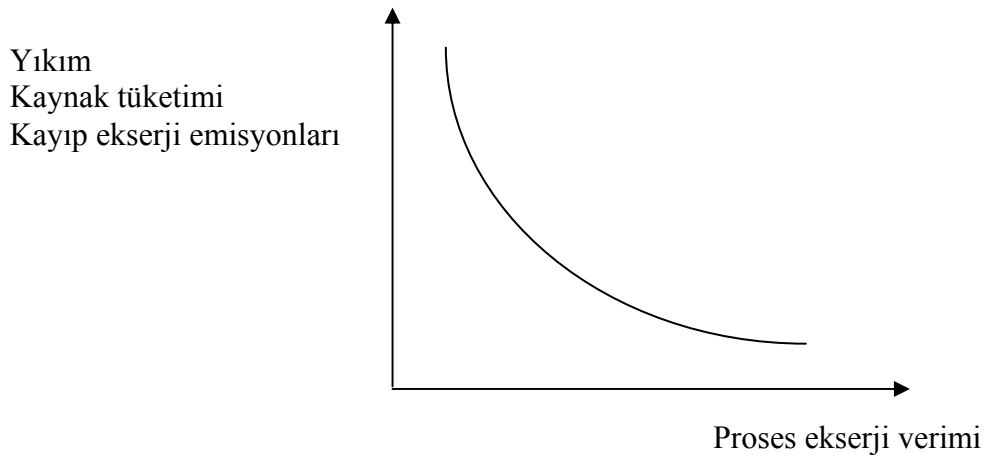
5.2. Ekserjinin Önemli Boyutları

Ekserji kavramının en önemli boyutlarını maddeler halinde ifade edecek olursak;

- Ekserji, sistem ve çevrenin bir arada oluşturduğu kombine çevrimden elde edilebilen maksimum teorik iştir. Buradaki sistem, verilen bir durumdan çevre ile denge durumu olan ölü duruma geçer. Ölü durumda kombine sistem enerjiye sahiptir ancak ekserjiye sahip değildir.
- Sistemin tüm durumları için ekserji, sıfıra eşit ya da sıfırdan büyüktür.
- Değeri sistem durumu ile belirli olduğundan ekserji, ekstensif özelliktir ve burada bahsi geçen çevre daha önceden belirlenmiş olmalıdır. Ekserji, birim kütle ya da birim mol başına göre yazıldığında intensif özellik olarak temsil edilebilir.
- Ekserji, sistem durumunun çevresel durumdan uzaklaşma ölçüsüdür. Verilen bir durumdaki T sıcaklığı ile çevrenin T_0 sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe ekserji değeri de buna bağlı olarak büyür.
- Çevreye göre göreceli olarak belirlendiğinden, sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.
- Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Termomekaniksel ekserji, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji şeklinde sınıflandırılır.
- Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler yüzünden tahrip edilebilir. Bununla beraber ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir (Erduranlı 1997).

5.3. Ekserjinin Önemi

Bu çalışmanın giriş kısmında da belirtildiği gibi günümüzde birincil enerji kaynaklarının sınırlı olup hızla azalıyor olması ve buna bağlı olarak da enerji maliyetlerinin hızla artmasından dolayı, termal sistemlerdeki enerji kayıplarının belirlenmesinde ekserjetik analizler büyük önem kazanmıştır. Ekserji kayıplarının azalması, yani ekserji veriminin artması halinde proseste gerçekleşecek yıkım, kaynak tüketimi ve kayıp ekserji emisyonları ters orantılı olarak azalacaktır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Bir prosesin ekserji verimi ile yıkım, kaynak tüketimi ve kayıp ekserji emisyonları arasındaki ilişki (Rosen ve Dincer 1997)

Ekserjetik analizde, termodinamiğin II. Kanunu ve maddenin korunumu prensibi kullanılmaktadır. Tablo 5.1’de enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Ekserji, en kısa ifade ile kullanılabilir enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Ekserji aynı zamanda, verilmiş bir durumda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji miktarının bir ölçüsü de olmaktadır. Diğer enerji türlerine dönüşebilme özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınırsa, çeşitli enerji türleri üç ayrı grupta toplanabilir:

Tablo 5.1 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (Wall ve Gong 2001, Çengel vd 2002)

Enerji	Ekserji
Termodinamiğin I. Kanunu ile ilgilidir.	Termodinamiğin II. Kanunu ile ilgilidir.
Daima korunur. Yoktan var edilemez veya yok edilemez.	Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde daima kaybolur.
Enerji, hareket veya hareket üretebilme kabiliyetidir.	Ekserji, iş veya iş üretebilme kabiliyetidir.
Niceliğin bir ölçütüdür.	Niceliğin ve kalitenin bir ölçütüdür.
Sadece madde ve enerji akış parametrelerine bağlı, çevre parametrelerinden bağımsızdır.	Madde ve enerji akış parametrelerinin yanı sıra çevre parametrelerine de bağlıdır.

- 1) Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilen enerji (örneğin; mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji vb.)
- 2) Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilen enerji (örneğin; iç enerji, ısı enerjisi vb.)
- 3) Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkansız enerji (örneğin; çevrenin iç enerjisi vb.)

Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye kullanılmaz enerji, bağlı enerji adı verilmektedir. Dolayısıyla bütün enerji türleri için en genel bir ifade şöyle yazılabilir:

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

Mekanik enerji ve elektrik enerjisi gibi enerji türlerinin anerji bölümü sifıra eşittir. Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anerji olduğu için çevre enerjisinin ekserjisi de sifıra eşit olmaktadır.

Ekserji, mühendislik biliminde iki temel konuyu kapsamaktadır. Bunlar çevre ve ekonomidir. Ekoteknolojik bakımdan ise ekserji, şu üç temel konsept kapsamında ele alınmaktadır:

- 1) En az çevresel etki, en fazla enerji ve enerji kaynaklarının ideal koşullarda işletileceği teknolojiler.
- 2) Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları.
- 3) Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliği.

Yukarıdaki temel ekserji konseptlerine bakarak ekserjinin termodinamik bir potansiyel olduğu, iş yapabilme ve kullanılabilir enerjinin bir ölçütü olduğu söylenebilir. Ekserji, aynı zamanda teknik iş yapma kapasitesi olarak da tanımlanabilir. Ekserji sadece faydalı enerji düşüncesinden oluşmayan, aynı zamanda çevreyi kirleten enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılması ve yeni çevre dostu enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gibi konuları da kapsayan çok önemli bir mühendislik yaklaşımıdır (Çengel ve Boles 1996).

5.4. Ekserji ve Çeşitleri

Ekserji kelimesi Yunanca ex (dış) ve ergon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiştir ve enerjinin başka bir enerjiye tamamen dönüşen kısmına denir. Başka bir deyişle ekserji, tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerji oranını göstermektedir. Daha sonraları ekserji, verilen şartlardaki bir sistemin, çevresi ile aynı şartlara getirilmesi (ölü hal) sonucu elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli şeklinde tanımlanmıştır (Çengel ve Boles 1996).

5.4.1. Ölü hal

Bir sistemin ölü halde olması demek, çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Yani çevreyle ısıl ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistem ölü halde iken çevre ile kimyasal reaksiyona girmez. Sistemin ölü haldeki özellikleri P_o , T_o , h_o , u_o ve s_o 'dır. Ölü hal durumunda;

$$P_o = 1 \text{ atmosfer (101,325 kPa)}$$

$$T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C (298,15 K)}$$

dır.

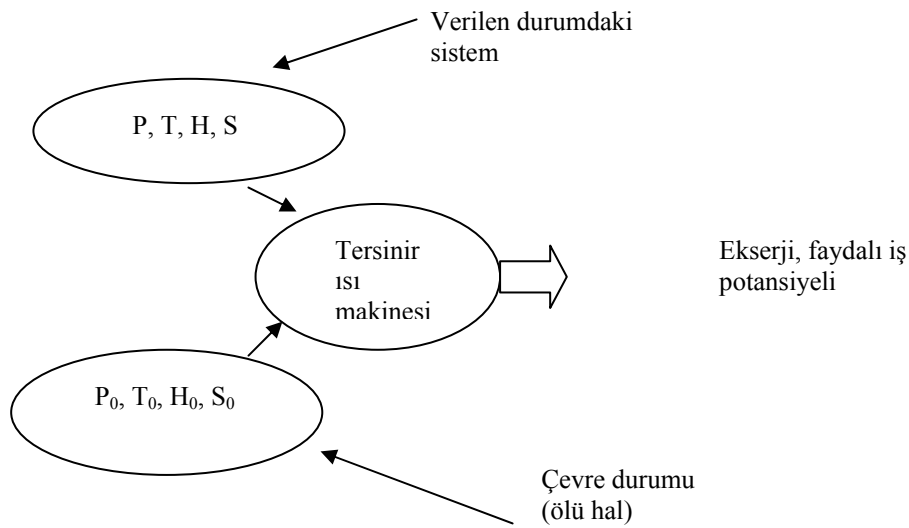
Bu tanımlardan hareketle, Termodinamiğin I. ve II. kanunu ekserji kapsamında kısaca şöyle ifade edilir. I. Kanun; “bütün termodinamik süreçlerde enerji ve ekserjinin toplamı sabit kalır”, II. Kanun ise; “tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır, yani tersinmez süreçlerde ekserjinin bir kısmı veya tamamı enerjiye dönüşür veya enerji ekserjiye dönüşmez” şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeler ışığında ve aşağıdaki şekil dikkate alınarak ekserji için şöyle bir matematiksel denklem yazılabilir. Yani genel ekserji; kinetik, potansiyel, kimyasal ve fiziksel ekserjilerin toplamıdır.

$$B = B_K + B_P + B_{kim} + B_{fiz} \quad (5.1)$$

5.4.2. Fiziksel ekserji

Sistemin sıcaklığı T ve basıncı P ilk durumundan, T_0 , P_0 halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş olarak tanımlanır (Şekil 5.2).

$$B_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.2)$$



Şekil 5.2 Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesi gösterimi

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı da;

$$B_{fiz1} - B_{fiz2} = (h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir. Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$B_{fiz} = B_{\Delta T} + B_{\Delta p} \quad (5.4)$$

Bu denklemdeki birinci terim, fiziksel ekserjinin termal bileşeni olup sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$B_{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right]_P \quad (5.5)$$

İkinci terim ise basınç bileşeni olup, basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$B_{fiz} = T_0(s_0 - s_1) - (h_0 - h_1) \quad (5.6)$$

5.4.2.1. İdeal gazların fiziksel ekserjileri

Herhangi bir durumda ve ideal gazdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$B_{fiz} = c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.7)$$

5.4.2.2. Katı ve sıvıların fiziksel ekserjileri

Herhangi bir durumda ve katı veya sıvıdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi ise aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$B_{fiz} = c \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + v_m (P - P_0) \quad (5.8)$$

5.4.3. Kimyasal ekserji

Bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişinden dolayı yaptığı maksimum işe “kimyasal ekserji” adı verilir.

5.4.3.1. Standart kimyasal ekserji

Bazı uygun çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler, standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ($T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$) ve basıncına ($P_0 = 1 \text{ atm}$) bağlıdır.

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır;

- Atmosferdeki gaz bileşenler,
- Litosferdeki katılar,

- Deniz, okyanuslardaki iyonik ve iyonik olmayan maddeler.

Tablo 5.2’de bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Bazı maddelerin standart kimyasal ekserjileri (Atalay 2004)

Madde	Faz	Mol Ağırlığı (kg/kmol)	Standart Kimyasal Ekserji (kJ/kmol)
Ag	Katı	107,8	73730
Al_2O_3	Katı	101,9	204270
CO_2	Gaz	44	20140
H_2O	Gaz	18	11710
H_2O	Sıvı	18	3120
CH_4	Gaz	16	836510
C_8H_{18}	Sıvı	114	5440030

5.4.3.2. Gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri

Gaz karışımlarının ekserjilerinin bilinmesi önem arz eder zira termal sistemlerin çoğu, gaz karışımları içermektedir. Özellikle yanma ve kimyasal proseslerin ekserji analizlerinde gaz karışımları ön plana çıkmaktadır. N adet gazdan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi;

$$B_0 = \sum_{i=1}^N x_i b_{0,i} + \tilde{R}T_0 \sum_{i=1}^N x_i \ln x_i \quad (5.9)$$

şeklinde hesaplanır.

5.4.3.3. Yakıtların kimyasal ekserjileri

Yakıtların kimyasal ekserjileri, yakıtı oluşturan bileşenlerden hareketle hesaplanabilir. Bundan dolayı Szargut ve Strylska; yakıt ekserjisinin yakıtın ısı değeri oranını ifade eden Φ değerini geliştirmişlerdir. Bu oran;

$$\Phi = \frac{B_0}{H_u} \quad (5.10)$$

olarak belirtilmiştir ve katı yakıtlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Phi_{katı} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{O}{c} + 0,0404 \frac{n}{c} \quad (5.11)$$

Yukarıdaki ifadede su buharının ekserjisi dikkate alınmamıştır. Su buharı dikkate alındığında katı yakıtlar için kimyasal ekserji aşağıda belirtilen denklemdeki gibi hesaplanır.

$$B_{0, katı} = \phi \left((H_u)_{katı} + wh_{fg} \right) \quad (5.12)$$

Sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı Φ ise kükürtün etkisi de dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada kullanılan “s” entropi olmayıp, yakıt içerisindeki kükürt kütle oranıdır.

$$\Phi_{sıvı} = 1,0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0,0432 \frac{O}{c} + 0,2169 \frac{S}{c} \left(1 - 2,0628 \frac{h}{c} \right) \quad (5.13)$$

buradan da sıvı yakıtların kimyasal ekserjisi,

$$B_{0, sıvı} = \Phi_{sıvı} (H_u)_{sıvı} \quad (5.14)$$

şeklinde hesaplanır.

Yukarıdaki formüllerden Φ hesaplandığında, bazı yakıtların ekserjilerinin alt ısı değerlerine oranları yaklaşık olarak Tablo 5.3'teki gibi bulunur.

Tablo 5.3 Bazı yakıtların kimyasal ekserjilerinin alt ve üst ısı değere oranı (Atalay 2004)

Yakıt	Yakıttaki Kütle Oranı (%)				Φ / H_a	Φ / H_u
	C	H_2	$N_2 + S$	O_2		
Linyit	70	5	2	23	1,17	1,04
Kok	95	1	2	2	1,06	1,04
Fuel-oil	85	14	1	-	1,07	0,99

5.4.4. Isıl ekserji

Sistemlerin ısı ekserjisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanır:

$$B_{ısı} = B_{fz} + B_{kim} \quad (5.15)$$

5.4.5. İş ekserjisi

Ekserji, maksimum iş potansiyeli olduğundan, bütün süreçlerde iş ekserjiye eşittir.

$$B_w = W \quad (5.16)$$

5.4.6. Isı transferinin ekserjisi

Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji;

$$B_Q = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \cdot Q_i dA \quad (5.17)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Eğer bir sistemde üniform sıcaklık dağılımı varsa ısı transferinden dolayı oluşan ekserji;

$$B_Q = Q_A \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (5.18)$$

şeklinde hesaplanır.

5.5. Ekserji Kaybı

Aşağıdaki denklemde bir sistemin ekserji kaybı veya tersinmezliğinin nasıl hesaplanacağı ifade edilmektedir. Bu denklemden de görüleceği gibi ekserji kaybı net entropi değişimi ile çevre sıcaklığının çarpımına eşittir.

$$\delta B = T_0 \sum \Delta S = T_0 \Delta S_{net} \quad (5.19)$$

Bu denkleme ‘‘Ekserji Kaybı Yasası’’ veya ‘‘Gouy–Stodola Yasası’’ adı verilir. Ayrıca aŖağıdaki denklemde de ifade edildiği gibi ekserji kaybı, tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan kayıp iŖe eŖittir.

$$\delta B = \delta W_{kay} \quad (5.20)$$

5.5.1. Kısmı olayında meydana gelen ekserji kaybı

ÇeŖitli sistemlerin kısmı olayından sonra ekserji kayıpları aŖağıda ifade edilmiŖtir.

Sıvılar için: Sıvıların kısmı olayı sonunda sistemde meydana gelen ekserji kaybı aŖağıdaki denklemde ifade edilmiŖtir:

$$\delta B = \frac{T_0}{T} v dP \quad (5.21)$$

İdeal gaz için: İdeal gazların kısmı olayı sonunda sistemin ekserjisinde meydana gelen azalma aŖağıdaki denklemde ifade edilmiŖtir:

$$\delta B = nR T_0 \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (5.22)$$

5.5.2. Sürtünmeden dolayı ekserji kaybı

Sistemdeki sürtünmeden dolayı meydana gelen ısının sebep olduğu ekserji kaybı aŖağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$\delta B = Q_F \frac{T_0}{T} \quad (5.23)$$

5.5.3. Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferinde ekserji kaybı

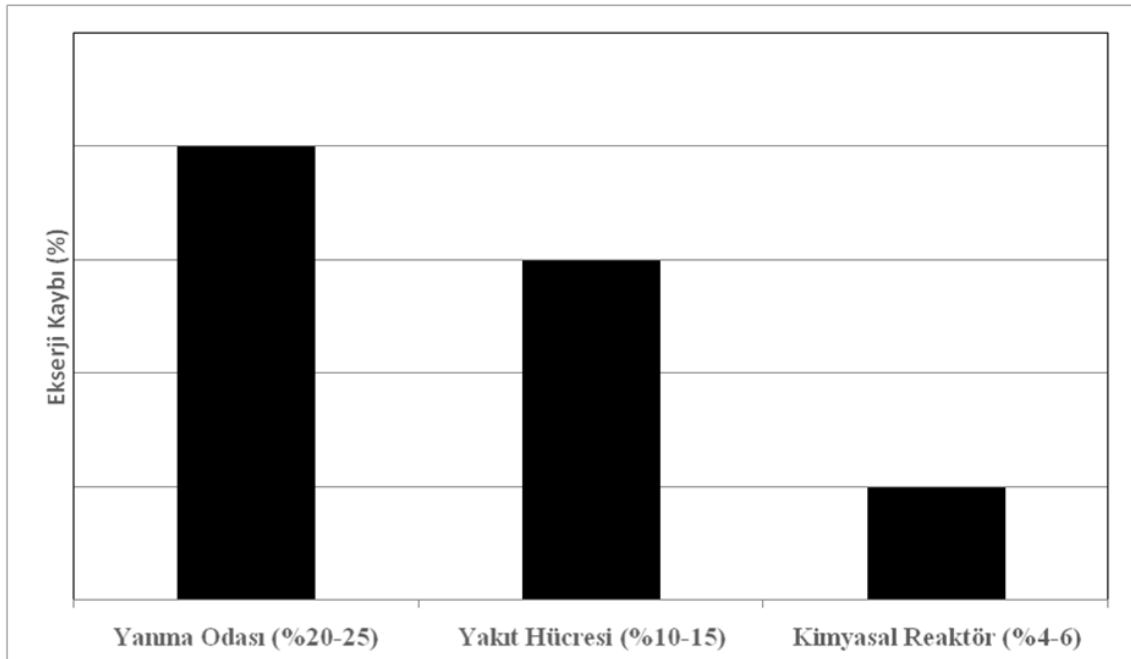
Sonlu sıcaklık farkının olduğu, sıcaklığı T_1 olan 1 no’lu sistem ile T_2 olan 2 no’lu sistemlerin arasındaki ısı transferi sonucunda ortaya çıkan ekserji kaybı aŖağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\delta B = Q \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) T_0 \quad (5.24)$$

5.5.4. Çeşitli ısıl prosesler için ekserji kayıplarının karşılaştırılması

Isıl prosesler için elde edilen ekserji kaybı değerleri aşağıdaki şekilde karşılaştırılmıştır. Modern bir gaz türbinin yanma odasında oluşan ekserji kaybı % 22'dir. Yakıt hücrelerindeki ekserji kayıpları % 10–15 arasında değişmektedir. En düşük ekserji kaybı kimyasal reaktörde elde edilmiştir (Şekil 5.3). Bu şekle bakıldığında, modern bir gaz türbininde yanma odasının yerine yakıt hücresi kullanılması halinde ekserji kaybında yaklaşık % 10'luk bir azalmanın sağlanacağı söylenebilir. Elde edilen ekserji kaybı değerleri aynı zamanda hesaplamalarda kullanılan ve yukarıda özetlenen matematiksel ifadelerle ilgili olarak her bir prosesin ideal çalışma koşullarında işletilip işletilemeyeceği konusunda da bir ön fikir vermektedir.

Sonuç olarak termal sistemlerin dizaynında ekserji kaybı hesabı ve ekserji analizi, literatürde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bir termal sistemin gerçek performansı, ekserji kaybı ve sistemden elde edilecek maksimum kullanılabilir iş hesaplanarak bulunabilir. Bundan dolayı tüm mühendislik sistemleri ekserji analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmesi gerekir.



Şekil 5.3 Çeşitli ısıl prosesler için ekserji kayıpları (Atalay 2004)

5.6. Ekserjinin Açık ve Kapalı Sistemler Açısından Ele Alınması

Enerjinin kinetik ve potansiyel enerji gibi mekanik biçimleri, tümüyle kullanılabilir enerjidir. Bir ısı enerji deposunun kullanılabilirliği, ısı enerji deposuyla çevre ortam arasında çalışan bir Carnot ısı makinesinin yaptığı işe eşittir.

Açık veya kapalı bir sistemde yapılan gerçek iş W , enerjinin korunumu denklemleriyle hesaplanabilir. Eğer sistemin hacmi değişiyorsa, yapılan işin bir bölümü çevreye karşı yapılır ve çevre işi $W_{\text{çevre}}$ adını alır. Bu iş, P_0 basıncındaki çevre havayı itmek için kullanılır ve başka bir amaca yöneltilemez. Toplam gerçek işle çevre işi arasındaki fark yararlı iş W_y diye bilinir ve aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0(V_2 - V_1) \quad (5.25)$$

Çevrimler, sürekli akışlı sistemler ve sabit sınırları olan sistemler için çevre işi $W_{\text{çevre}}$ sıfırdır.

Verilmiş olan iki hal arasındaki değişim sırasında bir sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, tersinir iş W_{tr} diye tanımlanır. Bu iş, ilk ve son haller arasındaki hal değişiminin tümünden tersinir olması durumunda elde edilir. Eğer son hal çevre hali (P_0 , T_0) ise, tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur (Çengel ve Boles 1996).

Tersinir iş W_{tr} ile yararlı iş W_y arasındaki fark hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır ve tersinmezlik (I) diye tanımlanır. Kapalı veya açık tüm sistemler için tersinmezlik aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir:

$$I = W_{\text{tr}} - W_y = T_0 \cdot S_{\text{üretim}} \quad (5.26)$$

$$i = w_{\text{tr}} - w_y = T_0 \cdot s_{\text{üretim}} \quad (5.27)$$

$$\dot{I} = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_y = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (5.28)$$

Burada $S_{\text{üretim}}$ veya $\dot{S}_{\text{üretim}}$, hal değişimi sırasındaki toplam entropi üretimidir. Tümünden tersinir bir hal değişimi için, tersinir iş ve yararlı iş terimleri eşittir ve tersinmezlik sıfırdır.

Birinci yasa verimi mühendislik sistemlerinin değerlendirilmesinde tek başına bir ölçü değildir. Bir sistemin iş üretiminin, aynı ilk (giriş) ve son (çıkış) haller arasındaki tersinir hal değişimi sırasında üretilenle karşılaştırılması bir parametre olarak tanımlanabilir. Bu parametre ikinci yasa verimi (η_u) adını alır ve aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir:

Isı makineleri ve diğer iş yapan makineler için;

$$\eta_u = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (5.29)$$

Soğutma makineleri, ısı pompaları ve diğer üzerinde iş yapılan makineler için;

$$\eta_u = \frac{COP}{COP_{tr}} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (5.30)$$

Birim kütle için kapalı bir sistemin (Φ) ve bir akışın (φ) kullanılabilirliği aşağıda tanımlanmıştır:

$$\Phi = (u - u_0) - T_0(s - s_0) + P_0(v - v_0) \quad (5.31)$$

$$\varphi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + g.z \quad (5.32)$$

Burada, 0 indisi çevre halini (P_0, T_0) belirtmek için kullanılmıştır.

Tersinir iş ifadeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

$$W_{tr} = \eta_{th,tr} Q_H \quad \text{ısı makineleri} \quad (5.33)$$

$$-W_{tr} = \frac{Q_L}{COP_{SM,tr}} \quad \text{soğutma makineleri} \quad (5.34)$$

$$-W_{tr} = \frac{Q_H}{COP_{IP,tr}} \quad \text{ısı pompaları} \quad (5.35)$$

Kapalı sistemler:

$$\dot{W}_{tr} = (U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + P_0(V_1 - V_2) \quad (5.36)$$

$$\dot{W}_{tr} = m(\Phi_1 - \Phi_2) \quad (5.37)$$

Sürekli akışlı sistemler:

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g z_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + g z_\zeta - T_0 s_\zeta \right) \quad (5.38)$$

$$= \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta \quad (5.39)$$

Bir giriş ve çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için bu denklem basitleşir:

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} \left[(h_g - h_\zeta) - T_0(s_g - s_\zeta) + \frac{V_g^2 - V_\zeta^2}{2} + g(z_g - z_\zeta) \right] \quad (5.40)$$

$$= \dot{m}(\psi_g - \psi_\zeta) \quad (5.41)$$

Düzgün akışlı dengeli açık sistemler:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tr} &= \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g z_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + g z_\zeta - T_0 s_\zeta \right) \\ &+ [(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + P_0(V_1 - V_2)]_{KH} \end{aligned} \quad (5.42)$$

$$= \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta + (\Phi_1 - \Phi_2)_{KH} \quad (5.43)$$

Üstteki bağıntılarda 1 indisi sistemin ilk halini, 2 indisi sistemin son halini, g indisi sistemin giriş halini ve ç indisi sistemin çıkış halini göstermektedir. “0” indisi P₀ basınç ve T₀ sıcaklığındaki çevrenin halini göstermekte olup, ısı geçişi sistem ve çevre arasında olabilmektedir. Yukarıda tersinir iş için verilen bağıntılar, çevre dışındaki cisim veya ortamlarla ısı geçişini de göz önüne alacak şekilde genelleştirilebilir. T_k sıcaklığındaki ortamla Q_k veya Q̇_k miktarda ısı geçişi olduğu kabul edilirse, yukarıda tersinir iş için verilen denklemlerden;

$$\sum_{k=1}^K Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_h}\right) \quad \text{veya} \quad \sum_{k=1}^K \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_h}\right)$$

çıkarılarak düzeltme yapılmış olur. Burada Q_k veya \dot{Q}_k 'nin işareti sisteme göre değil, ısı alışverişinde bulunulan cisim veya ortama göre seçilmelidir.

Tersinir iş en genel biçimde aşağıda gösterildiği gibi yazılır:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tr} = & \sum_1^2 \int (h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g) \delta \dot{m}_g - \sum_1^2 \int (h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta) \delta \dot{m}_\zeta \\ & + [(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + P_0(V_1 - V_2)]_{KH} - \sum_{k=1}^K Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \end{aligned} \quad (5.44)$$

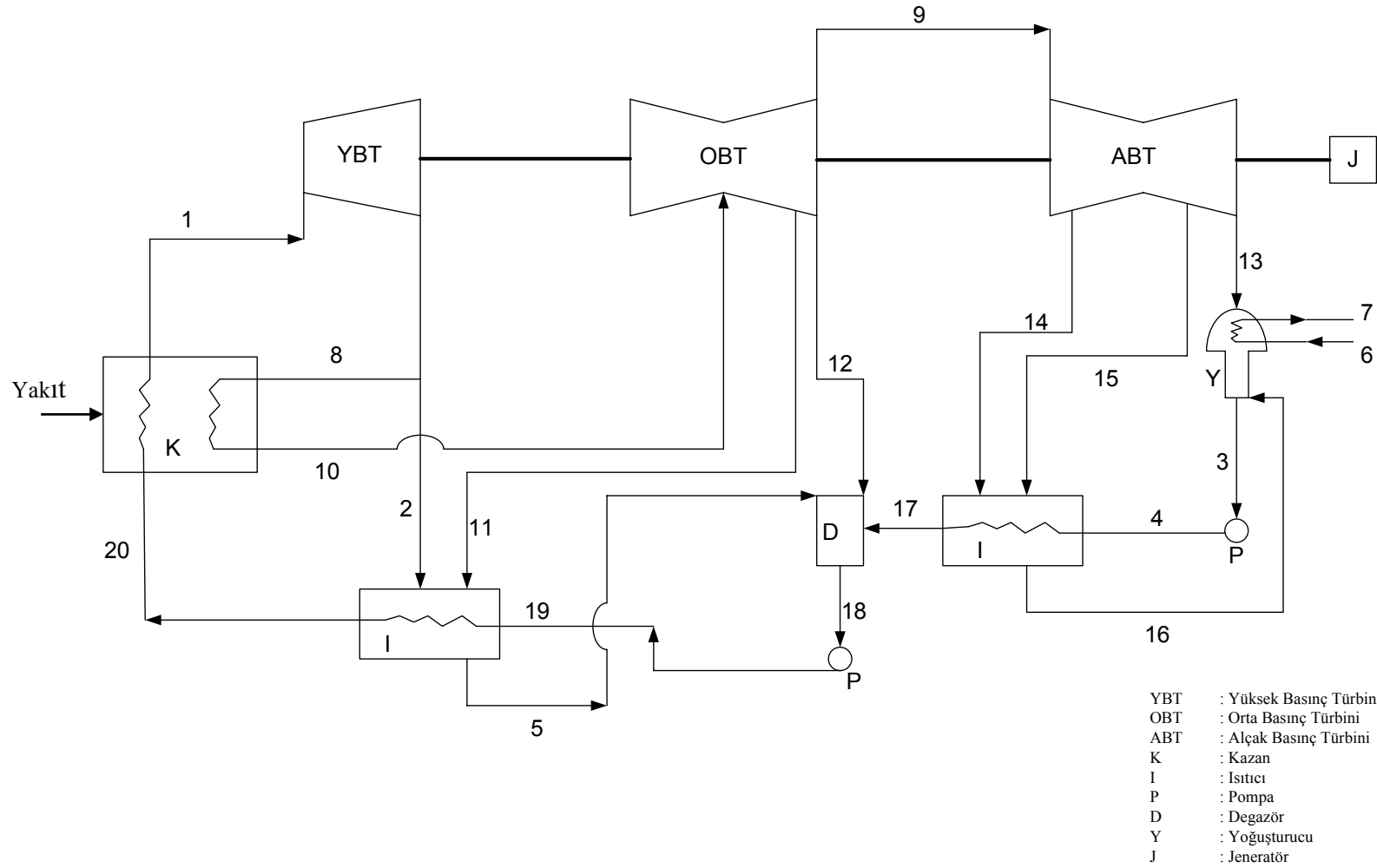
6. ÖRNEK UYGULAMA

Bu çalışmada örnek uygulama olarak üç farklı şehirdeki katı yakıtlı (linyit) termik santrallerin termodinamik analizleri yapılmış olup, bu santrallerin seçiminde özellikle sistemlerin eş kapasitede olması dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda hem mevcut çalışma koşulları, hem de farklı atmosferik şartlar ele alınarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca sistemlerin hem birinci yasa, hem de ikinci yasa verimleri incelenerek karşılaştırılmıştır.

Sistemlerden birincisi Muğla ilinde kurulu olan Yatağan Termik Santrali, ikincisi Kütahya ilinde kurulu olan Seyit Ömer Termik Santrali, üçüncüsü ise Bursa ilinde kurulu olan Orhaneli Termik Santrali'dir. Yatağan Termik Santrali'nin kurulu gücünü 3 adet 210 MW'lık ünite oluştururken, Seyit Ömer Termik Santrali'nin kurulu gücünü 4 adet 150 MW'lık ünite, Orhaneli Termik Santralinin kurulu gücünü ise 1 adet 210 MW'lık ünite oluşturmaktadır. Her üç santralin de çalışma prensipleri birbirleriyle aynı olup Şekil 6.1'de çalışma şemaları ve açıklamaları verilmiştir.

Sistemlerde, kazandan gelen taze buhar, türbinin yüksek basınç kademelerinde iş görerek kazana tekrar kızdırılmaya gönderilir. Tekrar kızdırılan buhar bu defa türbinin orta basınç kademesi ve sonra da alçak basınç kademelerine gelir. Türbini terk eden çürük buhar kondensere dökülerek su haline dönüştürülür. Bu kondensat, pompalar vasıtasıyla; alçak basınç ısıtıcıları, degazör ve yüksek basınç ısıtıcıları kademelerinden geçerek tekrar kazana basılır.

Santrallere ilişkin türbin ve jeneratör karakteristikleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Termik santral çalışma şeması

Tablo 6.1 Santrallere ait türbin karakteristikleri

	YATAĞAN TERMİK SANTRALİ	ORHANELİ TERMİK SANTRALİ	SEYİT ÖMER TERMİK SANTRALİ
Gücü (MW)	210	210	160
Hızı (d/d)	3000	3000	3000
Yüksek Basınç Türbini Giriş Buhar Basıncı (atm)	130	140	136
Yüksek Basınç Türbini Giriş Buhar Sıcaklığı (°C)	535	540	535
Orta Basınç Türbini Giriş Buhar Basıncı (atm)	22,8	26,4	36
Orta Basınç Türbini Giriş Buhar Sıcaklığı (°C)	535	540	535
Açık Basınç Türbini Egzoz Buhar Basıncı (atm)	0,06	0,065	0,055
Açık Basınç Türbini Egzoz Buhar Sıcaklığı (°C)	55	40	37
Soğutma Suyu Sıcaklığı (°C)	25	25	25

Tablo 6.2 Santrallere ait jeneratör karakteristikleri

	YATAĞAN TERMİK SANTRALİ	ORHANELİ TERMİK SANTRALİ	SEYİT ÖMER TERMİK SANTRALİ
Gücü (MW)	210	210	160
Çıkış Gerilimi (V)	15750	15500	15000
Frekans (Hz)	50	50	50
Hızı (d/d)	3000	3000	3000
Faz Adeti	3	3	3
Akımı (A)	9056	9022	7236

6.1. Santrallerin Ekserji Analizleri

Santrallere ait yukarıdaki Şekil 6.1’de gösterilmiş olan noktalar için santrallerin enerji ve ekserji değerleri açık sistemlere göre hesaplanmış olup, elde edilen değerler Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’te verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken dış ortam sıcaklığı ve basıncı, Kütahya, Muğla ve Bursa illerinin yıllık ortalama değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır (WEB_11, WEB_12, WEB_13, WEB_14).

Enerji ve ekserji değerleri hesaplanırken, santrallerden temin edilen kütleli debi (\dot{m}), sıcaklık (T) ve basınç (P) değerlerine göre;

- Entropi değerleri (s)
- Entalpi değerleri (h)

termodinamik tablolardan (Çengel ve Boles 1996) okunmuştur,

- Enerji değerleri (\dot{E})
- Ekserji değerleri (\dot{B})

ise, açık sistemler için çevre şartlarına göre entalpi ve entropi değerleri kullanılarak aşağıdaki formüllerle hesaplanarak tablolarda gösterilmiştir.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot (h - h_0) \quad (6.1)$$

$$\dot{B} = \dot{m} \cdot [(h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] \quad (6.2)$$

Yakıt ekserjisinin yakıtın ısı değerine oranını ifade eden Φ değeri

$$\Phi = \frac{B_0}{H_u} \quad (6.3)$$

olarak belirtilmiştir ve katı yakıtlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Phi_{katı} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{0}{c} + 0,0404 \frac{n}{c} \quad (6.4)$$

Tablo 6.3 Yatağan Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 14,4 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		287,4		0,09391	0,22	62,99	0,00	0,00
1	173,00	808	B	13,00	6,51	3420,20	580797,33	268057,27
2	24,20	586	B	2,60	6,69	3039,30	72026,70	27027,33
3	140,13	328	S	0,006	0,76	230,23	23435,34	1687,73
4	140,13	329	S	1,00	0,78	234,40	24019,68	1740,66
5	16,67	453	S	1,20	2,13	763,22	11672,83	2522,10
6	4445,00	287,4	S	0,09391	0,22	62,99	0,00	0,00
7	4445,00	297,4	S	0,09391	0,36	104,89	186245,50	7396,48
8	148,80	586	B	2,60	6,69	3039,30	442874,93	166184,60
9	126,30	600	B	0,50	7,54	3119,60	386049,84	120343,94
10	148,80	808	B	2,30	7,46	3542,70	517780,85	208161,38
11	6,30	716	B	1,20	7,49	3352,80	20725,80	7562,60
12	16,20	600	B	0,50	7,54	3119,60	49517,08	15436,04
13	103,10	328	B	0,006	7,99	2600,90	261658,52	31426,12
14	11,20	368	B	0,06	7,41	2668,10	29177,23	6033,48
15	12,00	338	B	0,03	7,83	2618,30	30663,72	4418,35
16	23,20	328	S	0,01	0,76	230,23	3879,97	279,42
17	140,13	413	S	1,00	1,73	589,13	73728,00	12915,22
18	173,00	448	S	1,00	2,09	741,17	117325,14	24348,37
19	173,00	453	S	13,00	2,12	768,50	122053,23	27584,85
20	173,00	516	S	13,00	2,70	1052,20	171133,33	47827,23

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.4 Seyit Ömer Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 11,6 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		284,6		0,09047	0,18	50,40	0,00	0,00
1	129,30	808	B	13,60	6,51	3420,40	435741,00	202804,72
2	19,60	636	B	3,90	6,62	3123,40	60230,80	24307,45
3	94,60	318	S	0,01	0,63	188,45	13059,53	944,11
4	94,60	319	S	1,00	0,65	193,45	13532,53	1054,3
5	28,96	446	S	1,60	2,08	739,20	19947,65	4287,82
6	6388,00	284,6	S	0,09047	0,18	50,40	0,00	0,00
7	6388,00	294,6	S	0,09047	0,31	92,33	267848,84	31505,62
8	109,70	636	B	3,90	6,62	3123,40	337108,10	136047,31
9	103,16	583	B	0,70	7,26	3077,10	312234,37	104370,27
10	112,30	808	B	3,54	7,24	3529,80	390736,62	165094,93
11	3,40	678	B	1,60	7,24	3269,90	10946,30	4114,76
12	5,74	583	B	0,70	7,26	3077,10	17373,26	5807,34
13	91,50	318	B	0,01	8,16	2583,20	231751,20	23944,82
14	4,86	368	B	0,14	7,41	2668,10	12722,02	2721,80
15	6,80	323	B	0,03	8,07	2592,10	17283,56	2014,20
16	11,66	318	S	0,01	0,63	188,45	1609,66	116,37
17	94,60	406	S	1,00	1,67	558,90	48104,10	7988,59
18	129,30	436	S	1,00	1,96	688,20	82467,54	16965,71
19	129,30	440	S	13,60	1,99	712,60	85622,46	19016,67
20	129,30	519	S	13,60	2,72	1066,80	131420,52	37951,62

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.5 Orhaneli Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 14,4 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		287,4		0,1014	0,22	62,99	0,00	0,00
1	186,11	813	B	14,00	6,48	3420,60	624884,80	290049,83
2	9,72	603	B	2,64	6,76	3079,30	29318,53	11048,86
3	150,75	313	S	0,0065	0,57	167,57	15765,44	601,49
4	150,75	314	S	1,00	0,58	171,75	16395,57	798,37
5	24,36	433	S	1,20	1,94	675,55	14921,96	2880,13
6	7638,89	287,4	S	0,1014	0,22	62,99	0,00	0,00
7	7638,89	297,4	S	0,1014	0,36	104,89	320069,49	12711,11
8	176,39	603	B	2,64	6,76	3079,30	532046,92	200504,98
9	161,11	593	B	0,14	7,96	3112,76	491348,44	132963,12
10	176,39	813	B	2,64	7,43	3551,78	615387,67	249880,42
11	4,28	710	B	1,20	7,48	3340,47	14027,61	5097,29
12	11,00	593	B	0,14	7,96	3112,76	33547,47	9078,23
13	131,52	313	B	0,0065	8,25	2574,30	330287,49	26762,74
14	14,29	353	B	0,06	7,61	2643,70	36878,35	6528,01
15	15,30	323	B	0,03	8,07	2592,10	38695,38	4177,21
16	38,50	313	S	0,01	0,57	167,57	4026,33	153,62
17	150,75	382	S	1,00	1,40	457,07	59407,56	8283,41
18	186,11	428	S	1,00	1,89	653,84	109963,09	20638,11
19	186,11	433	S	16,20	1,94	675,55	114003,54	22004,16
20	186,11	519	S	15,10	2,75	1066,06	186681,36	51356,68

B: Buhar S: Sıvı

Santralin önemli noktaları için kütle, enerji ve ekserji denklemleri (Kotas 1985, Çengel ve Boles 1996) yazılarak; sistemin birinci (η_I) ve ikinci (η_{II}) verimleri hesaplanmıştır.

Açık sistemler için,

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\zeta = \Delta \dot{m}_{sistem} \quad (6.5)$$

$\Delta \dot{m}_{sistem} = 0$ olduğundan,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (6.6)$$

2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\zeta = \Delta \dot{E}_{sistem} \quad (6.7)$$

$\Delta \dot{E}_{sistem} = 0$ olduğundan,

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta \quad (6.8)$$

Formül açık olarak yazılırsa;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (6.9)$$

Potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilirse,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta - \sum \dot{m}_g \quad (6.10)$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta - \dot{B}_{kay} = \Delta \dot{B}_{sistem} \quad (6.11)$$

$\Delta \dot{B}_{sistem} = 0$ olduğundan,

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} \quad (6.12)$$

temel dengelerinden yola çıkılarak verimler aşağıdaki gibi hesaplandı.

Yatağan Termik Santrali

Yakıtın Enerji ve Ekserji Değerleri

Santralde kullanılan kömür ortalama 1925 kcal / kg alt ısı değerine sahip olup, ünite başına 69,45 kg/s yakılmakta ve içeriği % 70 C, % 5 H₂, % 2 N₂, % 23 O₂ ve kömürün su oranı % 30 alınarak, (5.11) ve (5.12) denkleminde;

$$\Phi_{kati} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{0}{c} + 0,0404 \frac{n}{c}$$

$\Phi_{kati} = 1,07$ olarak hesaplandı.

$$B_{0,kati} = \phi((H_u)_{kati} + wh_{fg})$$

$$B_{0,kati} = 1,07 \left(1925 + \frac{0,3 \cdot 2467,3}{4,18} \right)$$

$$B_{0,kati} = 2249,22 \text{ (kcal / kg)}$$

Kömürün enerji ve ekserji değerleri;

$$\dot{E}_{kömür} = \dot{m} \cdot H_u \cdot 4,18 = 69,45 \cdot 1925 \cdot 4,18 = 558829,42 \text{ (kW)}$$

$$\dot{B}_{kömür} = \dot{m} \cdot B_0 \cdot 4,18 = 69,45 \cdot 2249,22 \cdot 4,18 = 652950,82 \text{ (kW)}$$

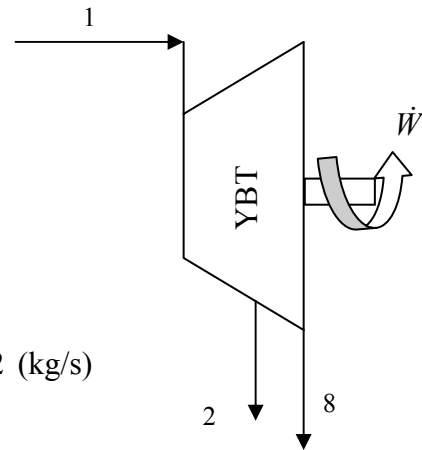
Türbinlerin Enerji ve Ekserji Değerleri

Yüksek Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_8 + \dot{m}_2 \longrightarrow 173 = 148,8 + 24,2 \text{ (kg/s)}$$



2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_8 + \dot{W} \longrightarrow 580797,33 = 72026,7 + 442874,93 + \dot{W} \text{ (kW)}$$

$$\dot{W} = 65895,7 \text{ (kW)}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_1 - \dot{B}_2 - \dot{B}_8 = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$268057,27 - 27027,33 - 166184,6 = \dot{B}_{kay} + 65895,7$$

$$\dot{B}_{kay} = 8949,64 \text{ (kW)}$$

$$s_1 = s_{2s} = s_{8s} = 6,51 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{2s} = h_{8s} = 3022,66 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3420,20 - 3039,30}{3420,20 - 3022,66} = 0,95 \quad (\% 95)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_2)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{173(3420,20 - 3039,30)}{268057,27 - 193211,73} = 0,88 \quad (\% 88)$$

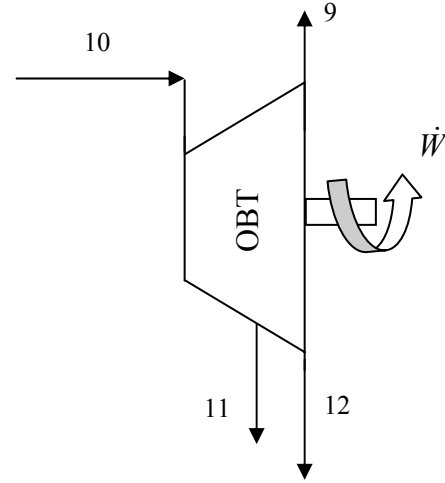
Orta Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9 + \dot{m}_{11} + \dot{m}_{12}$$

$$148,80 = 126,30 + 6,30 + 16,20 \text{ (kg/s)}$$



2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_{10} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} + \dot{W}$$

$$517780,85 = 386049,84 + 20725,8 + 49517,08 + \dot{W} \text{ (kW)}$$

$$\dot{W} = 61488,13 \text{ (kW)}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_{10} - \dot{B}_9 - \dot{B}_{11} - \dot{B}_{12} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$208161,38 - 120343,94 - 7562,6 - 15436,04 = \dot{B}_{kay} + 61488,13$$

$$\dot{B}_{kay} = 3064,2 \text{ (kW)}$$

$$s_{10} = s_{9s} = s_{11s} = s_{12s} = 7,46 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{9s} = 3064,20 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_{10} - h_{9a}}{h_{10} - h_{9s}} = \frac{3542,70 - 3119,60}{3542,70 - 3064,20} = 0,88 \quad (\% 88)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_{10} - h_9)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{148,80(3542,70 - 3119,60)}{208161,38 - 143342,58} = 0,97 \quad (\% 97)$$

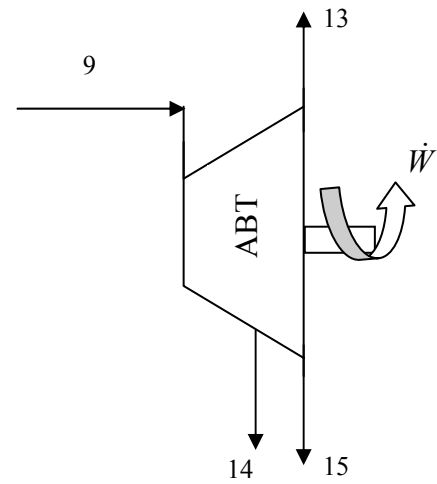
Alçak Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{13} + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15}$$

$$126,30 = 103,10 + 11,20 + 12 \text{ (kg/s)}$$



2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_9 = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{15} + \dot{W}$$

$$386049,84 = 261658,52 + 29177,23 + 30663,72 + \dot{W} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{W} = 64550,37 \text{ (kW)}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_9 - \dot{B}_{13} - \dot{B}_{14} - \dot{B}_{15} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$120343,94 - 31426,12 - 6033,48 - 4418,35 = \dot{B}_{kay} + 64550,37$$

$$\dot{B}_{kay} = 13915,62 \text{ (kW)}$$

$$s_9 = s_{13s} = s_{14s} = s_{15s} = 7,54 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{13s} = 2434,9 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_9 - h_{13a}}{h_9 - h_{13s}} = \frac{3119,60 - 2600,90}{3119,60 - 2434,90} = 0,75 \quad (\% 75)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_9 - h_{13})}{\dot{B}_g - \dot{B}_\varphi} = \frac{126,30(3119,60 - 2600,90)}{120343,94 - 41877,95} = 0,84 \quad (\% 84)$$

Sevit Ömer Termik Santrali

Yakıtın Enerji ve Ekserji Değerleri

Santralde kullanılan kömür ortalama 1700 kcal / kg alt ısıl değerine sahip olup, ünite başına 83,33 kg/s yakılmakta ve içeriği % 70 C, % 5 H₂, % 2 N₂, % 23 O₂ ve kömürün su oranı % 30 alınarak, (5.11) ve (5.12) denkleminde;

$$\Phi_{kati} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{0}{c} + 0,0404 \frac{n}{c}$$

$\Phi_{kati} = 1,07$ olarak hesaplandı.

$$B_{0,kati} = \phi((H_u)_{kati} + wh_{fg})$$

$$B_{0,kati} = 1,07 \left(1700 + \frac{0,3 \cdot 2473,92}{4,18} \right)$$

$$B_{0,kati} = 2008,98 \text{ (kcal / kg)}$$

Kömürün enerji ve ekserji değerleri;

$$\dot{E}_{kömür} = \dot{m} \cdot H_u \cdot 4,18 = 83,33 \cdot 1700 \cdot 4,18 = 592142,98 \text{ (kW)}$$

$$\dot{B}_{\text{kömür}} = \dot{m} \cdot B_0 \cdot 4,18 = 83,33 \cdot 2008,98 \cdot 4,18 = 699766,71 \text{ (kW)}$$

Yüksek Basınç Türbini

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_8 + \dot{m}_2 \longrightarrow 129,3 = 109,7 + 19,6 \text{ (kg/s)}$$

2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_8 + \dot{W} \longrightarrow 435741 = 60230,8 + 337108,1 + \dot{W} \text{ (kW)}$$

$$\dot{W} = 38402,09 \text{ (kW)}$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\varphi = \dot{B}_{\text{kay}} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_1 - \dot{B}_2 - \dot{B}_8 = \dot{B}_{\text{kay}} + \dot{W}$$

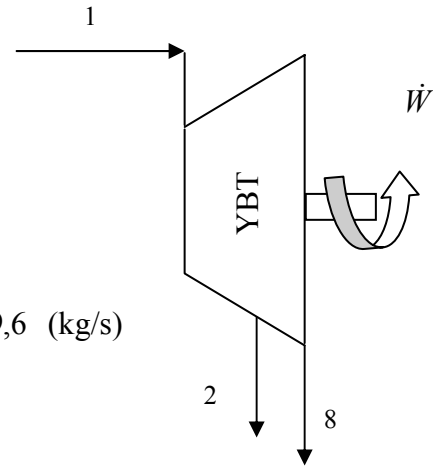
$$202804,72 - 24307,45 - 136047,31 = \dot{B}_{\text{kay}} + 38402,09$$

$$\dot{B}_{\text{kay}} = 4047,87 \text{ (kW)}$$

$$s_1 = s_{2s} = s_{8s} = 6,51 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{2s} = h_{8s} = 3050,30 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3420,40 - 3123,40}{3420,20 - 3050,30} = 0,80 \quad (\% 80)$$



$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_2)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{129,30(3420,40 - 3123,40)}{202804,72 - 160354,76} = 0,91 \quad (\% 91)$$

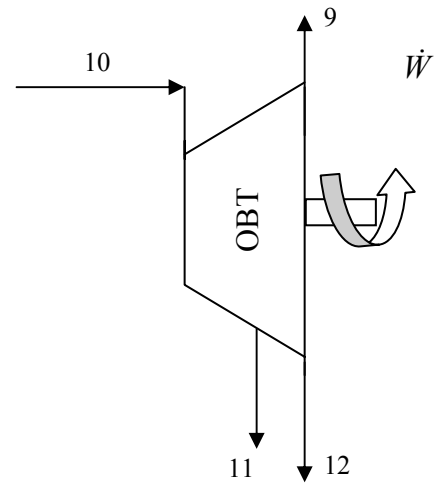
Orta Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9 + \dot{m}_{11} + \dot{m}_{12}$$

$$112,30 = 103,16 + 3,40 + 5,74 \text{ (kg/s)}$$



2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_{10} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} + \dot{W}$$

$$390736,62 = 312234,37 + 10946,3 + 17373,26 + \dot{W} \text{ (kW)}$$

$$\dot{W} = 50182,69 \text{ (kW)}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_{10} - \dot{B}_9 - \dot{B}_{11} - \dot{B}_{12} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$165094,93 - 104370,27 - 4114,76 - 5807,34 = \dot{B}_{kay} + 50182,69$$

$$\dot{B}_{kay} = 619,87 \text{ (kW)}$$

$$s_{10} = s_{9s} = s_{11s} = s_{12s} = 7,24 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{9s} = 2990,60 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_{10} - h_{9a}}{h_{10} - h_{9s}} = \frac{3529,80 - 3081,80}{3529,80 - 2990,60} = 0,83 \quad (\% 83)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_{10} - h_9)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\varphi} = \frac{112,30(3529,80 - 3081,80)}{165094,93 - 114292,37} = 0,99 \quad (\% 99)$$

Alçak Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{13} + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15}$$

$$103,16 = 91,50 + 4,86 + 6,80 \quad (\text{kg/s})$$

2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{E}_9 = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{15} + \dot{W}$$

$$312234,37 = 231751,2 + 12722,02 + 17283,56 + \dot{W} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{W} = 50477,58 \quad (\text{kW})$$

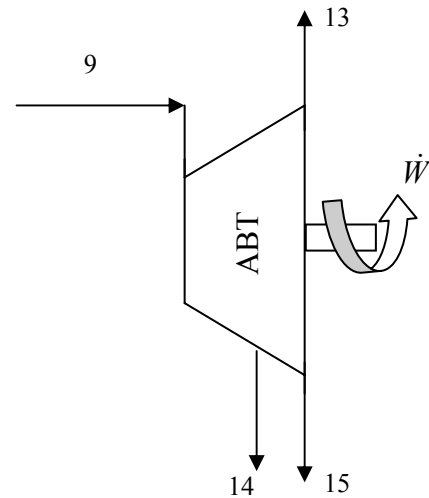
3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\varphi = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_9 - \dot{B}_{13} - \dot{B}_{14} - \dot{B}_{15} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$104370,27 - 23944,82 - 2721,8 - 2014,2 = \dot{B}_{kay} + 50477,58$$

$$\dot{B}_{kay} = 25211,87 \quad (\text{kW})$$



$$s_9 = s_{13s} = s_{14s} = s_{15s} = 7,26 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{13s} = 2295,83 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_9 - h_{13a}}{h_9 - h_{13s}} = \frac{3081,80 - 2583,20}{3081,80 - 2295,83} = 0,63 \quad (\% 63)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_9 - h_{13})}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{103,16(3081,80 - 2583,20)}{104370,27 - 28680,82} = 0,68 \quad (\% 68)$$

Orhaneli Termik Santrali

Yakıtın Enerji ve Ekserji Değerleri

Santralde kullanılan kömür ortalama 2170 kcal / kg alt ısıl değerine sahip olup, ünite başına 55,56 kg/s yakılmakta ve içeriği % 70 C, % 5 H₂, % 2 N₂, % 23 O₂ ve kömürün su oranı % 30 alınarak, (5.11) ve (5.12) denkleminde;

$$\Phi_{kati} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{0}{c} + 0,0404 \frac{n}{c}$$

$\Phi_{kati} = 1,07$ olarak hesaplandı.

$$B_{0,kati} = \phi((H_u)_{kati} + wh_{fg})$$

$$B_{0,kati} = 1,07 \left(2170 + \frac{0,3 \cdot 2467,3}{4,18} \right)$$

$$B_{0,kati} = 2511,37 \text{ (kcal / kg)}$$

Kömürün enerji ve ekserji değerleri;

$$\dot{E}_{kömür} = \dot{m} \cdot H_u \cdot 4,18 = 55,56 \cdot 2170 \cdot 4,18 = 503962,54 \text{ (kW)}$$

$$\dot{B}_{kömür} = \dot{m} \cdot B_0 \cdot 4,18 = 55,56 \cdot 2511,37 \cdot 4,18 = 583242,58 \text{ (kW)}$$

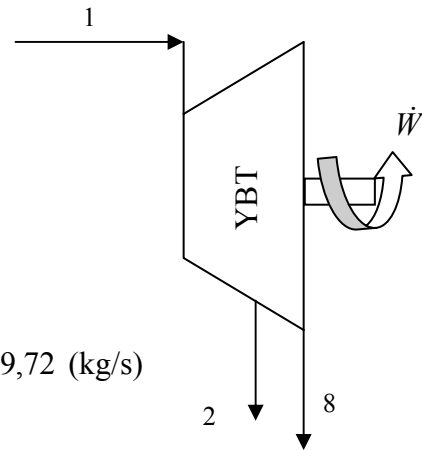
Türbinlerin Enerji ve Ekserji Değerleri

Yüksek Basınç Türbini

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_8 + \dot{m}_2 \longrightarrow 186,11 = 176,39 + 9,72 \text{ (kg/s)}$$



2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_8 + \dot{W} \longrightarrow 624884,80 = 29318,53 + 532046,92 + \dot{W} \text{ (kW)}$$

$$\dot{W} = 63519,35 \text{ (kW)}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_1 - \dot{B}_2 - \dot{B}_8 = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$290049,83 - 11048,86 - 200504,98 = \dot{B}_{kay} + 63519,35$$

$$\dot{B}_{kay} = 14976,64 \text{ (kW)}$$

$$s_1 = s_{2s} = s_{8s} = 6,48 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{2s} = h_{8s} = 3049,86 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_{I1} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3420,60 - 3079,30}{3420,60 - 3049,86} = 0,92 \quad (\% 92)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_2)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{186,11(3420,60 - 3079,30)}{290049,83 - 211553,84} = 0,81 \quad (\% 81)$$

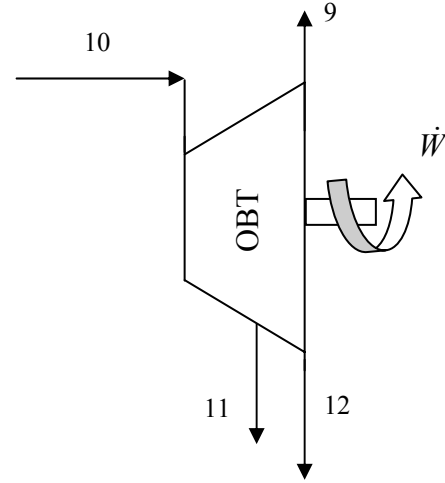
Orta Basınç Türbini

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9 + \dot{m}_{11} + \dot{m}_{12}$$

$$176,39 = 161,11 + 4,28 + 11 \quad (\text{kg/s})$$



2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_{10} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} + \dot{W}$$

$$615387,67 = 491348,44 + 14027,61 + 33547,47 + \dot{W} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{W} = 76464,15 \quad (\text{kW})$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_{10} - \dot{B}_9 - \dot{B}_{11} - \dot{B}_{12} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$249880,42 - 132963,12 - 5097,29 - 9078,23 = \dot{B}_{kay} + 76464,15$$

$$\dot{B}_{kay} = 262277,63 \quad (\text{kW})$$

$$s_{10} = s_{9s} = s_{11s} = s_{12s} = 7,43 \quad (\text{kJ/kgK})$$

$$h_{9s} = 3040,2 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_{10} - h_{9a}}{h_{10} - h_{9s}} = \frac{3551,78 - 3112,76}{3551,78 - 3040,2} = 0,86 \quad (\% 86)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_{10} - h_9)}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{176,39 \cdot (3551,78 - 3112,76)}{249880,42 - 147138,64} = 0,75 \quad (\% 75)$$

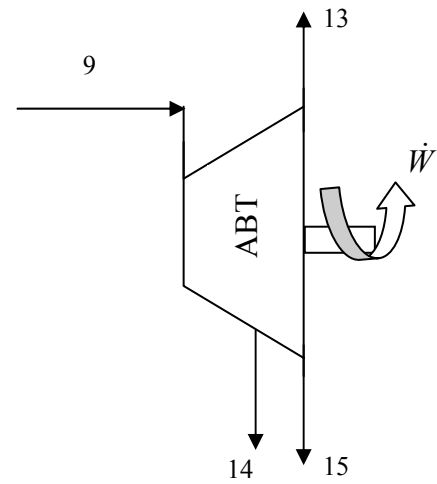
Alçak Basınç Türbini

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{13} + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15}$$

$$161,11 = 131,52 + 14,29 + 15,30 \text{ (kg/s)}$$



2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_9 = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{15} + \dot{W}$$

$$491348,44 = 330287,49 + 36878,35 + 38695,38 + \dot{W} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{W} = 85487,22 \text{ (kW)}$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{B}_9 - \dot{B}_{13} - \dot{B}_{14} - \dot{B}_{15} = \dot{B}_{kay} + \dot{W}$$

$$132963,12 - 26762,74 - 6528,01 - 4177,21 = \dot{B}_{kay} + 85487,22$$

$$\dot{B}_{kay} = 10007,94 \text{ (kW)}$$

$$s_9 = s_{13s} = s_{14s} = s_{15s} = 7,96 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$h_{13s} = 2443,9 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\eta_I = \frac{h_9 - h_{13a}}{h_9 - h_{13s}} = \frac{3112,76 - 2574,30}{3112,76 - 2443,90} = 0,81 \quad (\% 81)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_9 - h_{13})}{\dot{B}_g - \dot{B}_\zeta} = \frac{161,11(3112,76 - 2574,30)}{132963,12 - 37467,96} = 0,91 \quad (\% 91)$$

Güç santrallerinin I. ve II. verimleri hesaplanacak olursa;

Yatağan Termik Santrali için;

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{E}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{558829,42} = 0,334 \quad (\% 33,4)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{652950,82} = 0,286 \quad (\% 28,6)$$

Seyit Ömer Termik Santrali için;

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{E}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{592142,98} = 0,228 \quad (\% 22,8)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{699766,71} = 0,194 \quad (\% 19,4)$$

Orhaneli Termik Santrali için;

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{E}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{503962,54} = 0,438 \quad (\% 44,8)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{583242,58} = 0,379 \quad (\% 37,9)$$

olarak elde edilir.

Hesaplanan değerler, dış ortam şartlarının santrallerin bulunduğu konuma göre hesaplanmıştır. Atmosfer şartlarının değişmesiyle santrallerin ikinci veriminde nasıl bir değişim olduğunu görmek için hesaplar, 0 °C, 25 °C ve 40 °C için ayrıca yapılmıştır. Tablo 6.6, Tablo 6.7, Tablo 6.8, Tablo 6.9, Tablo 6.10, Tablo 6.11, Tablo 6.12, Tablo 6.13 ve Tablo 6.14'te elde edilen değerler aşağıda gösterilmiştir.

Hesaplar, çevre sıcaklığının artmasıyla (5.11) denklemindeki suyun özelliklerinden dolayı kömürün ekserjisinde kısmi de olsa bir artış olduğunu ve sistemin ekserji veriminde çok küçük artışlar olduğunu ortaya koymuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda (Rosen ve Dincer 2004) kömür santrali için uygulanan farklı ölü hal sıcaklıklarında da aynı sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür.

Yatağan Termik Santrali:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{653711,40} = 0,2854 \quad (\% 28,54) \quad (0 \text{ °C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{652950,82} = 0,2858 \quad (\% 28,58) \quad (14,4 \text{ °C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{652393,44} = 0,2860 \quad (\% 28,60) \quad (25 \text{ °C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{191934,2 - 5312,44}{651600,92} = 0,2864 \quad (\% 28,64) \quad (40 \text{ °C için})$$

Seyit Ömer Termik Santrali:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{700501,66} = 0,1933 \quad (\% 19,33) \quad (0 \text{ °C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{699766,71} = 0,1935 \text{ (\% 19,35)} \quad (11,6 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{698920,29} = 0,1937 \text{ (\% 19,37)} \quad (25 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{139062,36 - 3627,92}{697969,38} = 0,1940 \text{ (\% 19,40)} \quad (40 \text{ }^\circ\text{C için})$$

Orhaneli Termik Santrali:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{583850} = 0,3782 \text{ (\% 37,82)} \quad (0 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{583242,58} = 0,3786 \text{ (\% 37,86)} \quad (14,4 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{582797,75} = 0,3789 \text{ (\% 37,89)} \quad (25 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{B}_\zeta}{\dot{B}_g} = \frac{\dot{W}_\zeta - \dot{W}_{pompa}}{\dot{B}_g} = \frac{225470,72 - 4670,59}{582162,83} = 0,3793 \text{ (\% 37,93)} \quad (40 \text{ }^\circ\text{C için})$$

Tablo 6.6 Yatağan Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		273		0,101	0,00	0,01	0,00	0,00
1	173,00	808	B	13,00	6,51	3420,20	591692,87	284232,08
2	24,20	586	B	2,60	6,69	3039,30	73550,82	29352,66
3	140,13	328	S	0,006	0,76	230,23	32260,73	3186,56
4	140,13	329	S	1,00	0,78	234,4	32845,07	3205,63
5	16,67	453	S	1,20	2,13	763,22	12722,71	3029,27
6	4445,00	273	S	0,101	0,00	0,01	0,00	0,00
7	4445,00	283	S	0,101	0,15	42,01	186690,00	4667,25
8	148,80	586	B	2,60	6,69	3039,30	452246,35	180482,50
9	126,30	600	B	0,50	7,54	3119,60	394004,22	134025,77
10	148,80	808	B	2,30	7,46	3542,70	527152,27	224109,17
11	6,30	716	B	1,20	7,49	3352,80	21122,58	8240,53
12	16,20	600	B	0,50	7,54	3119,60	50537,36	17190,95
13	103,10	328	B	0,006	7,99	2600,90	268151,76	43262,82
14	11,20	368	B	0,06	7,41	2668,10	29882,61	7225,79
15	12,00	338	B	0,03	7,83	2618,30	31419,48	5768,40
16	23,20	328	S	0,01	0,76	230,23	5341,10	527,57
17	140,13	413	S	1,00	1,73	589,13	82553,39	16371,39
18	173,00	448	S	1,00	2,09	741,17	128220,68	29512,07
19	173,00	453	S	13,00	2,12	768,50	132948,77	32823,29
20	173,00	516	S	13,00	2,70	1052,20	182028,87	54510,57

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.7 Seyit Ömer Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		273		0,101	0,00	0,01	0,00	0,00
1	129,30	808	B	13,60	6,51	3420,40	442256,43	212460,59
2	19,60	636	B	3,90	6,62	3123,40	61218,44	25796,15
3	94,60	318	S	0,01	0,63	188,45	17826,42	1556,17
4	94,60	319	S	1,00	0,65	193,45	18299,42	1642,65
5	28,96	446	S	1,60	2,08	739,20	21406,94	4962,30
6	6388,00	273	S	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00
7	6388,00	283	S	0,10	0,15	42,01	268296,00	6707,40
8	109,70	636	B	3,90	6,62	3123,40	342635,88	144379,46
9	103,16	583	B	0,70	7,26	3077,10	317432,60	112971,55
10	112,30	808	B	3,54	7,24	3529,80	396395,42	174432,22
11	3,40	678	B	1,60	7,24	3269,90	11117,63	4397,46
12	5,74	583	B	0,70	7,26	3077,10	17662,50	6285,93
13	91,50	318	B	0,01	8,16	2583,20	236361,89	32529,17
14	4,86	368	B	0,14	7,41	2668,10	12966,92	3135,48
15	6,80	323	B	0,03	8,07	2592,10	17626,21	2645,06
16	11,66	318	S	0,01	0,63	188,45	2197,21	191,81
17	94,60	406	S	1,00	1,67	558,90	52870,99	9741,91
18	129,30	436	S	1,00	1,96	688,20	88982,97	19797,12
19	129,30	440	S	13,60	1,99	712,60	92137,89	21893,08
20	129,30	519	S	13,60	2,72	1066,80	137935,95	41922,94

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.8 Orhaneli Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 0 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		273,0		0,1014	0,00	0,01	0,00	0,00
1	186,11	813	B	14,00	6,48	3420,60	636606,00	307369,97
2	9,72	603	B	2,64	6,76	3079,30	29930,70	11992,63
3	150,75	313	S	0,0065	0,57	167,57	25259,67	1801,46
4	150,75	314	S	1,00	0,58	171,75	25889,81	2020,05
5	24,36	433	S	1,20	1,94	675,55	16456,15	3554,61
6	7638,89	273,0	S	0,1014	0,00	0,01	0,00	0,00
7	7638,89	283,0	S	0,1014	0,15	42,01	320833,38	8020,83
8	176,39	603	B	2,64	6,76	3079,30	543155,96	217631,75
9	161,11	593	B	0,14	7,96	3112,76	501495,15	151390,23
10	176,39	813	B	2,64	7,43	3551,78	626496,71	268709,00
11	4,28	710	B	1,20	7,48	3340,47	14297,17	5557,24
12	11,00	593	B	0,14	7,96	3112,76	34240,25	10336,37
13	131,52	313	B	0,0065	8,25	2574,30	338570,62	42354,70
14	14,29	353	B	0,06	7,61	2643,70	37778,33	8090,43
15	15,30	323	B	0,03	8,07	2592,10	39658,98	5951,39
16	38,50	313	S	0,01	0,57	167,57	6451,06	460,08
17	150,75	382	S	1,00	1,40	457,07	68901,80	11285,15
18	186,11	428	S	1,00	1,89	653,84	121684,30	25657,12
19	186,11	433	S	16,20	1,94	675,55	125724,75	27157,17
20	186,11	519	S	15,10	2,75	1066,06	198402,57	58680,48

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.9 Yatağan Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		298		0,101	0,36	104,89	0,00	0,00
1	173,00	808	B	13,00	6,51	3420,20	573548,63	256491,53
2	24,20	586	B	2,60	6,69	3039,30	71012,72	25363,29
3	140,13	328	S	0,006	0,76	230,23	17563,89	860,40
4	140,13	329	S	1,00	0,78	234,4	18148,23	965,47
5	16,67	453	S	1,20	2,13	763,22	10974,36	2181,60
6	4445,00	298	S	0,101	0,36	104,89	0,00	0,00
7	4445,00	308	S	0,101	0,50	146,68	185756,55	311,15
8	148,80	586	B	2,60	6,69	3039,30	436640,21	155952,82
9	126,30	600	B	0,50	7,54	3119,60	380757,87	110521,34
10	148,80	808	B	2,30	7,46	3542,70	511546,13	196715,09
11	6,30	716	B	1,20	7,49	3352,80	20461,83	7075,97
12	16,20	600	B	0,50	7,54	3119,60	48838,30	14176,13
13	103,10	328	B	0,006	7,99	2600,90	257338,63	22916,04
14	11,20	368	B	0,06	7,41	2668,10	28707,95	5177,87
15	12,00	338	B	0,03	7,83	2618,30	30160,92	3448,20
16	23,20	328	S	0,01	0,76	230,23	2907,89	142,45
17	140,13	413	S	1,00	1,73	589,13	67856,55	10647,08
18	173,00	448	S	1,00	2,09	741,17	110076,44	20888,02
19	173,00	453	S	13,00	2,12	768,50	114804,53	24069,49
20	173,00	516	S	13,00	2,70	1052,20	163884,63	43248,27

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.10 Seyit Ömer Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		298		0,101	0,36	104,89	0,00	0,00
1	129,30	808	B	13,60	6,51	3420,40	428695,44	191727,33
2	19,60	636	B	3,90	6,62	3123,40	59162,80	22599,39
3	94,60	318	S	0,01	0,63	188,45	7904,78	293,26
4	94,60	319	S	1,00	0,65	193,45	8377,78	368,17
5	28,96	446	S	1,60	2,08	739,20	18369,62	3525,88
6	6388,00	298	S	0,10	0,36	104,89	0,00	0,00
7	6388,00	308	S	0,10	0,50	146,68	266954,52	447,16
8	109,70	636	B	3,90	6,62	3123,40	331130,55	126487,39
9	103,16	583	B	0,70	7,26	3077,10	306613,18	94495,59
10	112,30	808	B	3,54	7,24	3529,80	384617,39	154375,44
11	3,40	678	B	1,60	7,24	3269,90	10761,03	3790,22
12	5,74	583	B	0,70	7,26	3077,10	17060,49	5257,90
13	91,50	318	B	0,01	8,16	2583,20	226765,37	14082,77
14	4,86	368	B	0,14	7,41	2668,10	12457,20	2246,83
15	6,80	323	B	0,03	8,07	2592,10	16913,03	1289,48
16	11,66	318	S	0,01	0,63	188,45	974,31	36,15
17	94,60	406	S	1,00	1,67	558,90	42949,35	6019,40
18	129,30	436	S	1,00	1,96	688,20	75421,98	13771,74
19	129,30	440	S	13,60	1,99	712,60	78576,90	15770,72
20	129,30	519	S	13,60	2,72	1066,80	124374,96	33440,86

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.11 Orhaneli Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 25 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		298,0		0,1014	0,36	104,89	0,00	0,00
1	186,11	813	B	14,00	6,48	3420,60	617086,79	277666,81
2	9,72	603	B	2,64	6,76	3079,30	28911,27	10373,28
3	150,75	313	S	0,0065	0,57	167,57	9449,01	15,08
4	150,75	314	S	1,00	0,58	171,75	10079,15	195,98
5	24,36	433	S	1,20	1,94	675,55	13901,28	2431,62
6	7638,89	298,0	S	0,1014	0,36	104,89	0,00	0,00
7	7638,89	308,0	S	0,1014	0,50	146,68	319229,21	534,72
8	176,39	603	B	2,64	6,76	3079,30	524656,18	188245,17
9	161,11	593	B	0,14	7,96	3112,76	484597,94	119716,01
10	176,39	813	B	2,64	7,43	3551,78	607996,93	236367,89
11	4,28	710	B	1,20	7,48	3340,47	13848,28	4767,15
12	11,00	593	B	0,14	7,96	3112,76	33086,57	8173,77
13	131,52	313	B	0,0065	8,25	2574,30	324776,80	15544,35
14	14,29	353	B	0,06	7,61	2643,70	36279,59	5406,05
15	15,30	323	B	0,03	8,07	2592,10	38054,31	2901,34
16	38,50	313	S	0,01	0,57	167,57	2413,18	3,85
17	150,75	382	S	1,00	1,40	457,07	53091,14	6370,70
18	186,11	428	S	1,00	1,89	653,84	102165,08	17310,09
19	186,11	433	S	16,20	1,94	675,55	106205,53	18577,50
20	186,11	519	S	15,10	2,75	1066,06	178883,35	46332,08

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.12 Yatağan Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		313		0,101	0,57	167,57	0,00	0,00
1	173,00	808	B	13,00	6,51	3420,20	562704,99	241059,93
2	24,20	586	B	2,60	6,69	3039,30	69495,87	23139,31
3	140,13	328	S	0,006	0,76	230,23	8780,55	447,01
4	140,13	329	S	1,00	0,78	234,40	9364,88	532,43
5	16,67	453	S	1,20	2,13	763,22	9929,49	1789,86
6	4445,00	313	S	0,101	0,57	167,57	0,00	0,00
7	4445,00	323	S	0,101	0,70	209,33	185623,20	4756,15
8	148,80	586	B	2,60	6,69	3039,30	427313,42	142278,10
9	126,30	600	B	0,50	7,54	3119,60	372841,39	97304,05
10	148,80	808	B	2,30	7,46	3542,70	502219,34	181321,73
11	6,30	716	B	1,20	7,49	3352,80	20066,95	6421,40
12	16,20	600	B	0,50	7,54	3119,60	47822,89	12480,80
13	103,10	328	B	0,006	7,99	2600,90	250876,32	11430,70
14	11,20	368	B	0,06	7,41	2668,10	28005,94	4027,63
15	12,00	338	B	0,03	7,83	2618,30	29408,76	2140,20
16	23,20	328	S	0,01	0,76	230,23	1453,71	74,01
17	140,13	413	S	1,00	1,73	589,13	59073,20	8194,80
18	173,00	448	S	1,00	2,09	741,17	99232,80	16926,32
19	173,00	453	S	13,00	2,12	768,50	103960,89	20029,94
20	173,00	516	S	13,00	2,70	1052,20	153040,99	37703,62

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.13 Seyit Ömer Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	KW	kW
0		313		0,101	0,57	167,57	0,00	0,00
1	129,30	808	B	13,60	6,51	3420,40	420590,92	180193,77
2	19,60	636	B	3,90	6,62	3123,40	57934,27	20818,73
3	94,60	318	S	0,01	0,63	188,45	1975,25	198,66
4	94,60	319	S	1,00	0,65	193,45	2448,24	243,53
5	28,96	446	S	1,60	2,08	739,20	16554,40	2867,04
6	6388,00	313	S	0,10	0,57	167,57	0,00	0,00
7	6388,00	323	S	0,10	0,70	209,33	266762,88	6835,16
8	109,70	636	B	3,90	6,62	3123,40	324254,55	116521,15
9	103,16	583	B	0,70	7,26	3077,10	300147,11	84133,17
10	112,30	808	B	3,54	7,24	3529,80	377578,43	143128,60
11	3,40	678	B	1,60	7,24	3269,90	10547,92	3449,71
12	5,74	583	B	0,70	7,26	3077,10	16700,70	4681,31
13	91,50	318	B	0,01	8,16	2583,20	221030,15	3656,34
14	4,86	368	B	0,14	7,41	2668,10	12152,58	1747,70
15	6,80	323	B	0,03	8,07	2592,10	16486,80	523,80
16	11,66	318	S	0,01	0,63	188,45	243,46	24,49
17	94,60	406	S	1,00	1,67	558,90	37019,82	4449,04
18	129,30	436	S	1,00	1,96	688,20	67317,46	11062,91
19	129,30	440	S	13,60	1,99	712,60	70472,38	13003,70
20	129,30	519	S	13,60	2,72	1066,80	116270,44	29258,00

B: Buhar S: Sıvı

Tablo 6.14 Orhaneli Termik Santrali'ne ait dış ortam sıcaklığı 40 °C için enerji ve ekserji değerleri

No	Debi	Sıcaklık	Hal	Basınç	Entropi	Entalpi	Enerji	Ekserji
	\dot{m}	T		P	s	h	\dot{E}	\dot{B}
	kg/s	K		MPa	kJ/kgK	kJ/kg	kW	kW
0		313,0		0,1014	0,57	167,57	0,00	0,00
1	186,11	813	B	14,00	6,48	3420,60	605421,41	261149,55
2	9,72	603	B	2,64	6,76	3079,30	28302,02	9469,81
3	150,75	313	S	0,0065	0,57	167,57	0,00	0,00
4	150,75	314	S	1,00	0,58	171,75	630,14	158,29
5	24,36	433	S	1,20	1,94	675,55	12374,39	1928,58
6	7638,89	313,0	S	0,1014	0,57	167,57	0,00	0,00
7	7638,89	323,0	S	0,1014	0,70	209,33	319000,05	8173,61
8	176,39	603	B	2,64	6,76	3079,30	513600,05	171849,72
9	161,11	593	B	0,14	7,96	3112,76	474499,56	101840,85
10	176,39	813	B	2,64	7,43	3551,78	596940,80	218199,72
11	4,28	710	B	1,20	7,48	3340,47	13580,01	4323,10
12	11,00	593	B	0,14	7,96	3112,76	32397,09	6953,32
13	131,52	313	B	0,0065	8,25	2574,30	316533,13	380,09
14	14,29	353	B	0,06	7,61	2643,70	35383,90	3895,60
15	15,30	323	B	0,03	8,07	2592,10	37095,31	1178,56
16	38,50	313	S	0,01	0,57	167,57	0,00	0,00
17	150,75	382	S	1,00	1,40	457,07	43642,13	4478,78
18	186,11	428	S	1,00	1,89	653,84	90499,71	13606,50
19	186,11	433	S	16,20	1,94	675,55	94540,16	14734,33
20	186,11	519	S	15,10	2,75	1066,06	167217,97	40227,68

B: Buhar S: Sıvı

7. SONUÇ

Yapılan hesaplamalarda linyit santrallerine ait enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir türbin sistemi için ayrı ayrı enerji ve ekserji değerleri bulunmuştur. Üç farklı bölgede bulunan sistemler özellik olarak birbirlerine yakın olduklarından dolayı seçilmişlerdir.

Elde edilen değerler sonucunda Orhaneli, Yatağan ve Seyit Ömer Santralleri'nin yıllık ortalama iklim şartları için ekserji verimlilikleri sırasıyla; % 37,86, % 28,58 ve % 19,35 olarak tespit edilmiştir. Verimlerdeki bu farklılıkların sebebi araştırıldığında, kazan performanslarının büyük rol oynadığı görülmüştür. Literatür araştırmalarında da en fazla ekserji kaybının yanmada meydana geldiğinin belirtilmesi, bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir. Bunun anlamı ise verimliliği artırmak için yapılması gereken iyileştirmelere kazan sisteminden başlanması gerektiğidir.

Ülkemiz enerji kaynakları bakımından zengin bir konumdadır. Etrafı denizlerle çevrili, zengin kömür madenlerine sahip, rüzgar enerjisi bakımından uygun, güneş ve jeotermal kaynaklara da sahip durumdadır. Hatta petrol ve doğal gaz rezervlerinin de gün ışığına çıkması beklenmektedir.

Elektrik üretim sistemlerinin dağılımına bakıldığında, doğal gaz ile üretim büyük bir paya sahiptir. Daha sonra hidrolik ve termik santraller gelmektedir. Nükleer santral çalışmaları ise hala plan aşamasında bulunmaktadır.

Sanayi ve nüfusun hızla büyüdüğü ülkemizde ileriki yıllarda enerji sıkıntısı yaşanmaması için gerçekçi politikalar uygulanmalıdır. Dünya günden güne yeni teknolojiler geliştirmektedir. Son zamanlarda hidrojen ve güneş enerjisi üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Elektrik üretim sistemlerinin birbirlerine göre hem artı hem de eksi yönleri bulunmaktadır. Önemli olan hem ucuz hem de temiz enerji kullanabilmektir. Dünya günden güne iklim değişikliğine uğramaktadır. Bu değişiklikte en önemli rolü, yanma

sonucu ortaya çıkan zararlı gazlar üstlenmektedir. Fosil yakıtlarda bu oran en yüksek seviyeye çıkmaktadır.

Bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan linyit santraller, ısı değeri çok düşük yakıt tüketmektedirler. Kendi milli kaynağımızı kullanıyor olmaları ise avantajlı yönleridir. Bunun yanında çoğu zaman gündeme hava kirliliği gelmektedir. Fakat son zamanlarda kullanılan yeni teknolojiler, bu zararları minimum seviyeye indirmiştir. Günümüzde doğal gaz ile elektrik üretimi her ne kadar kömüre göre daha ucuz görünse de ileriye dönük belirsizliği hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Son yıllarda Rusya ile yaşanan kriz bunun en büyük kanıtıdır.

Ülkemizde ayrıca zengin su kaynakları bulunmaktadır. Fakat kurulu barajlar ya kullanılmamakta ya da kapasitelerinin çok altında çalıştırılmaktadır. Önceleri toplam üretimde % 45 gibi büyük bir orana sahip olan hidroelektrik santrallerdeki elektrik üretimi, günümüzde % 20 seviyelerine inmiştir.

Deprem kuşağında olan ülkemiz jeotermal enerji bakımından da zengin bir konumdadır. Isıtma sistemlerinde yoğun olarak kullanılan jeotermal enerji elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmalıdır. Denizli ilinde bulunan Kızıldere Jeotermal Santrali, yıllarca ilk ve tek olma özelliğini korumuştur. Günümüzde Aydın salavatlı olmak üzere birkaç bölgede daha jeotermal elektrik üretim sistemleri kurulma çalışmaları sürmektedir.

Enerjinin yoğunluğu kadar, çevreye olan zararlarının da minimum olması gerekliliği günümüzde iyice önem kazanmıştır. Fosil yakıt ağırlıklı enerji kullanımı nedeniyle, üzerinde yaşadığımız dünyamız gün geçtikçe yaşanamaz hale gelecektir. Bu yüzden enerji kaynaklarının hem çevreye dost hem de sürdürülebilir olması çok önemlidir. Bir de enerjinin mutlaka verimli kullanılması, gereksiz kayıplardan kaçınılması gerekmektedir. Bu konuda toplumun bilinçlenmesi, gelecekte daha yaşanabilir bir dünyayı mümkün kılacaktır.

KAYNAKLAR

- Acar, H. İ. (1997) Second Law Analysis of the Reheat – Regenerative Rankine Cycle. *Energy Conversion and Management*, Vol. 38: No. 7, 647-657.
- Anonim, Seyit Ömer Termik Santrali Arşivi, Kütahya, 2006.
- Atalay, Ö. (2004) Jeotermal sistemlerin ekserji analizi: Kızıldere örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 92s.
- Bisio, G. (1998) Thermodynamic Analysis of the Main Devices For Thermal Energy Upgrading. *Energy Conversion and Management*, Vol. 39: No.3 / 4, 229-242.
- Bodvarsson, G., Eggers, D. E. (1972) The Exergy of Thermal Water. *Geothermics*, Vol. 1: 93-95.
- BP statistical review of world energy 2005”, *BP 2005 Enerji Raporu*, Londra.
- Cerci, Y. (2003) Performance Evaluation of a Single-Flash Geothermal Power Plant in Denizli, Turkey. *Energy*, Vol. 28: 27-35.
- Chejne, F., Restrepo, J. A. (2003) New Rules for the Exergo-Economic Optimization Methodology. *Energy*, Vol. 28: 993-1003.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A. (1996) Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., *McGraw-Hill – Literatür*, İstanbul, 867s.
- Çengel, Y. A., Wood, B., Dincer, I. (2002) Is Bigger Thermodynamically Better?. *Exergy, an International Journal*, Vol. 2: 62-68.
- Dincer, I., Al-Muslim, H. (2001) Thermodynamic Analysis of Reheat Cycle Steam Power Plants. *International Journal of Energy Research*, Vol. 25: 727-739.
- Doldersum, A. (1998) Exergy Analysis Proves Viability of Process Modifications, *Energy Conversion and Management*, Vol. 39: No.16-18, 1781-1789.
- Erduranlı, P. (1997) Enerji santraline ekserji analizinin uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak.
- Fiaschi, D., Manfrida, G. (1998) Exergy Analysis of the Semi-Closed Gas Turbine Combined Cycle (SCGT/CC). *Energy Conversion and Management*, Great Britain.
- Gökmen, G. (2000) Konvansiyonel ve nükleer santrallerin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 128s.
- Gong, M., Wall, G. (2001) On Exergy and Sustainable Development – Part 2: Indicators and Methods. *Exergy, an International Journal*, Vol. 1(4): 217-233.
- Guarinello, Jr., F., Cerqueira, S. A. A. G., Nebra, S. A. (2000) Thermoeconomic Evaluation of a Gas Turbine Generation System. *Energy Conversion and Management*, Vol. 41: 1191-1200.
- Koroneos, C., Spachos, T., Moussiopoulos, N. (2003) Exergy Analysis of Renewable Energy Sources. *Renewable Energy*, Vol. 28: 295–310.
- Kotas, T. J. (1985) The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, *Anchor Brendon Ltd.*, Tiptree.

- Köse, R. (2005) Research on the Generation of Electricity from the Geothermal Resources in Simav Region, Turkey. *Renewable Energy*, Vol. 30: 67-79.
- Kwak, H. Y., Kim, D. J., Jeon J. S. (2003) Exergetic and Thermoeconomic Analyses of Power Plants. *Energy*, Vol. 28: 343-360.
- Lee, K. C. (2001) Classification of Geothermal Resources by Exergy. *Geothermics*, Vol. 30: 431-442.
- Önal, C., Kaya, A. (2003) Jeotermal Enerji Hakkında Bazı Gerçekler. *MMO Bülten*, 9.
- Özdamar, A. (2001) Rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinlerine genel bakış”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, s. 242-254.
- Özdamar, A. (2005) Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Rüzgar Enerjisi. *EMO İzmir Şubesi Bülteni*, Nisan, İzmir.
- Öztürk, H. K., Yılcı A. (2003) Türkiye'nin ekonomik gelişmesinin enerji politikası ile ilişkisi”, *I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, s. 438-444.
- Öztürk, H. K., Yılcı A., Atalay, Ö. (2004) Past, Present and Future Status of Electricity in Turkey and the Share of Energy Sources. *Renewable and Sustainable Energy Review, Kabul Edildi, Basım Aşamasında*.
- Pak, P. S., Suzuki, Y. (1997) Exergetic Evaluation of Gas Turbine Cogeneration Systems for District Heating and Cooling. *International Journal of Energy Research*, Vol. 21: 209-220.
- Rosen, M. A., Dincer, İ. (1997) On Exergy and Environmental Impact. *International Journal of Energy Research*, Vol. 21: 643-654.
- Rosen, M. A., Dincer, İ. (2003) Exergoeconomic Analysis of Power Plants Operating on Various Fuels. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23: 643-658.
- Rosen, M. A., Dincer, İ. (2003) Thermoeconomic Analysis of Power Plants: An Application to a Coal Fired Electrical Generating Station. *Energy Conversion and Management*, Vol. 44: 2743-2761.
- Rosen, M. A., Dincer, İ. (2004) Effect of Varying Dead-State Properties on Energy and Exergy Analyses of Thermal Systems. *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 43: 121-133.
- Rosen, M. A., Dincer, I. (2004) A Study of Industrial Steam Process Heating Through Exergy Analysis. *International Journal of Energy Research*, Vol. 28: 917-930.
- Tsatsaronis, G., Moran, M. J. (1997) Exergy-Aided Cost Minimization. *Energy Conversion and Management*, Vol. 38: No. 15-17, 1535-1542.
- Tuma, M., Oman, J., Sekavčnik, M. (1999) Efficiency of a Combined Gas-Steam Process. *Energy Conversion & Management*, Vol. 40: 1163-1175.
- Ültanır, M. Ö., (1998) 21. yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi”, *TÜSİAD Raporu*, İstanbul, s16.
- Ünver, Ü., Kılıç, M. (2005) Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi. *Mühendis ve Makina*, 545: 47-56.
- Veziroğlu, T. N. (2003) Uygarlık yarışında Türkiye'nin geri kalmasının sebepleri ve çözümü”, *I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli.

- Wall, G., Gong, M. (2001) On Exergy and Sustainable Development – Part 1: Conditions and Concepts. *Exergy, an International Journal*, Vol. 1(3): 128-145.
- WEB_1. (2006). Finfacts Ireland web site. <http://www.finfacts.com/biz10/globalworldincomepercapita.htm> (10.06.2006).
- WEB_2. (2006). Energy Information Administration web site. <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tablee1c.xls> (20.05.2006).
- WEB_3. (2006). Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı web sitesi. <http://ekutup.dpt.gov.tr/plan/viii/enerji/enerji.htm> (08.04.2006).
- WEB_4. (2006). Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü (EÜAŞ) web sitesi. <http://www.euas.gov.tr> (15.05.2006).
- WEB_5. (2006). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) web sitesi. <http://www.enerji.gov.tr> (15.06.2006).
- WEB_6. (2005). Arizona State University web site. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee463/ENERGY.HTML> (11.01.2005).
- WEB_7. (2004). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) web sitesi. http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/nukleer_reaktor.html (11.10.2004).
- WEB_8. (2006). Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İşadamları Derneği web sitesi. <http://www.ressiad.org.tr/makaleler.php?ID=20> (13.03.2006).
- WEB_9. (2005). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü web sitesi. <http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/yenienerji/yenienerji.htm> (13.08.2005)
- WEB_10. (2004). Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) web sitesi. http://www.eie.gov.tr/hidrojen/index_hidrojen.html (14.12.2004)
- WEB_11. (2006). Kabinet web sitesi. <http://www.kobinet.org.tr/hizmetler/bilgibankasi/ekonomi/ilraporSTB/Mugla-STB> (15.04.2006)
- WEB_12. (2006). Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi web sitesi. http://ormanweb.sdu.edu.tr/dergi/dergipdf/2005_sayi2/2005_2_2EMakineci (15.04.2006)
- WEB_13. (2006). Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü web sitesi. http://www.cedgm.gov.tr/icd_raporlari/yalovaicd2004.pdf (15.04.2006)
- WEB_14. (2006). Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi web sitesi. http://www.trakya.edu.tr/Fakulte/ziraat/Turkce/Dergi/2005_2_2/Makale%201.pdf (15.04.2006)
- Yılcı, A. (2004) Jeotermal enerjili sistemlerin fizibilite etüdü, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 142s.
- Yücelay, A. B. (2000) Gaz türbinli bir bileşik ısı – güç üretim sisteminin termodinamik çözümlemesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 123s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı	: Erkin TEKEL
Ana adı	: Sıddıka
Baba adı	: Muzaffer
Doğum yeri ve tarihi	: Ankara 1979
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi	: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü - 2001
Çalıştığı yer	: Aksa Jeneratör - Denizli
Bildiği yabancı dil	: İngilizce