

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ERDEMİR EREĞLİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI
KOJENERASYON VE KONVANSİYONEL ELEKTRİK
ÜRETİM TESİSLERİNİN EKSERJİ ANALİZİ**

Kimya Mühendisi Eylem ÖZKAN

**F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Semra KOŞUCUOĞLU ÖZKAN

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. EKSERJİ.....	3
2.1 Enerji ve Ekserji.....	5
2.2 Ekserji Bileşenleri.....	7
2.2.1 Kinetik ve potansiyel enerji ile ilgili ekserji (iş potansiyeli).....	7
2.2.2 Fiziksel ekserji.....	8
2.2.3 Kimyasal ekserji.....	9
2.2.4 Gazların ve gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri.....	9
2.2.5 Yakıtların standart kimyasal ekserjileri.....	10
2.3 Ekserji Dengesi.....	10
2.3.1 Kapalı sistem ekserji dengesi.....	10
2.3.2 Kontrol hacmi ekserji dengesi.....	12
2.4 Ekserji ve Enerji Verimi.....	12
2.5 Ekserji Geliştirme Potansiyeli.....	13
3. KOJENERASYON.....	14
3.1 Birleşik Isı-Güç Üretiminin Yararları.....	14
3.2 Kojenerasyonda Üretim Teknikleri.....	15
3.3 Kojenerasyonda Sistem ve Kapasite Seçimi.....	16
3.4 Motor Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılabilecek Yakıtlar.....	17
3.5 Ticari Olarak Bulunabilen Yakıt Seçeneklerinin Özellikleri.....	18

4.	KOJENERASYON TESİSİNİN TANIMI.....	20
4.1	Genel Enerji Yapısının Tanıtımı.....	20
4.2	Enerji Üretim ve Dağıtım Sisteminin Tanıtımı.....	21
4.3	Elektrik Enerjisi Üretim-Tüketim Dengesi.....	26
4.4	Enerji Verimliliğinin İzlenmesi.....	27
5.	HESAPLAMALAR VE BULGULAR.....	29
5.1	Buhar Kazanları için Yapılan Hesaplamalar.....	32
5.2	Buhar Türbinleri için Yapılan Hesaplamalar.....	36
5.3	Hava Üfleyicileri için Yapılan Hesaplamalar.....	41
5.4	Yoğuşturucular için Yapılan Hesaplamalar.....	44
5.5	Kompresörler için Yapılan Hesaplamalar.....	49
5.6	Yanma Odaları için Yapılan Hesaplamalar.....	51
5.7	Gaz Türbinleri için Yapılan Hesaplamalar.....	53
5.8	Atık Isı Kazanları için Yapılan Hesaplamalar.....	56
5.9	Basınç Düşürme İstasyonları için Yapılan Hesaplamalar.....	58
5.10	Degazör & Dearatör için Yapılan Hesaplamalar.....	61
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
	KAYNAKLAR.....	74
	EKLER.....	75
Ek 1	Kuvvet santralinin ayrıntılı akış şeması.....	76
	ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGE LİSTESİ

e	Birim Mol Temelinde Özgöl Ekserji	(kJ/kmol)
Ξ	Ekserji	(MW)
Ξ_f	Fiziksel Ekserji	(MW)
$\Xi_{ısı}$	Isı Aktarımı İle Ekserji Aktarımı	(MW)
$\Xi_{iş}$	İş Aktarımı İle Ekserji Aktarımı	(MW)
Ξ_k	Kinetik Ekserji	(MW)
Ξ_{km}	Kimyasal Ekserji	(MW)
Ξ_p	Potansiyel Ekserji	(MW)
Ξ_T	Ekserji Yıkımı	(MW)
E	Enerji	(MW)
$\dot{E}_{BT}$	Buhar Türbininde Üretilen Elektrik Enerjisi	(MW)
$\dot{E}_{GT}$	Gaz Türbininde Üretilen Elektrik Enerjisi	(MW)
g	Yerçekimi İvmesi	(m ² /s)
G	Gibbs Serbest Enerjisi	(kJ/kmol)
G_{pot}	Geliştirme Potansiyeli	(MW)
H	Entalpi	(kJ/kmol)
H_0	Çevre Şartlarındaki Entalpi	(kJ/kmol)
KE	Kinetik Enerji	(kJ)
PE	Potansiyel Enerji	(kJ)
m_g	Giren Madde Miktarı	(kg/s)
$m_ç$	Çıkan Madde Miktarı	(kg/s)
p_k^e	k Gazının Kısmi Basıncı	(bar)
p_0	Çevre Şartlarındaki Basınç	(bar)
Q	Isı	(W)
R	Gaz Sabiti	(kJ/kmol.K)
S	Entropi	(kJ/kmol.K)
S_0	Çevre Şartlarındaki Entropi	(kJ/kmol.K)
$S_{ür}$	Entropi Üretimi	(kJ/kmol.K)
T	Sıcaklık	(K)
T_b	Isı İle Enerji Aktarımının Gerçekleştiği Sınırdaki Sıcaklık	(K)
T_0	Çevre Şartlarındaki Sıcaklık	(K)
U	İç Enerji	(kJ)
U_0	Çevre Şartlarındaki İç Enerji	(kJ)
V	Hacim	(m ³)
V_0	Çevre Şartlarındaki Hacim	(m ³)
W	İş	(kJ)
W_{BT}	Buhar Türbininde Üretilen İş	(MW)
W_{GT}	Gaz Türbininde Üretilen İş	(MW)
cv	Kontrol Hacmi	
$ç$	Çıkış	
g	Giriş	
ε	Ekserji Verimi	
η	Enerji Verimi	
x	Mol Kesri	

KISALTMA LİSTESİ

BOTAŞ	Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
ERDEMİR	Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
TEAŞ	Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	Trafo Merkezi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Değişmez sistem sınırından geçen madde akımının ekserji bileşenleri.....	7
Şekil 4.1	2002 yılında satın alınan birincil enerji kaynaklarının dağılımı.....	21
Şekil 4.2	Kuvvet santralinin enerji akış şeması.....	22
Şekil 4.3	Elektrik enerjisi kapasite ve üretimin tüketimi karşılama oranının değişimi.....	27
Şekil 4.4	Yıllara göre özgül enerji tüketimi eğilimi.....	28
Şekil 5.1	Buhar kazanı (1 nolu) akım şeması.....	33
Şekil 5.2	Buhar türbini (4 nolu) akım şeması.....	36
Şekil 5.3	Hava üfleyici (1 nolu) akım şeması.....	41
Şekil 5.4	Yoğuşturucu (1 nolu) akım şeması.....	44
Şekil 5.5	Kompresör (1 nolu) akım şeması.....	49
Şekil 5.6	Yanma odası (1 nolu) akım şeması.....	51
Şekil 5.7	Gaz türbini (1 nolu) akım şeması.....	53
Şekil 5.8	Atık ısı kazanı (1 nolu) akım şeması.....	56
Şekil 5.9	Basınç düşürme istasyonu (1 nolu) akım şeması.....	58
Şekil 5.10	Degazör & deaerator akım şeması.....	61
Şekil 5.11	Kuvvet santrali birimlerinin enerji verimleri – 1.....	64
Şekil 5.12	Kuvvet santrali birimlerinin enerji verimleri – 2.....	65
Şekil 5.13	Kuvvet santrali birimlerinin ekserji verimleri – 1.....	66
Şekil 5.14	Kuvvet santrali birimlerinin ekserji verimleri – 2.....	67
Şekil 5.15	Kuvvet santrali birimlerinin ekserji tahripleri – 1.....	68
Şekil 5.16	Kuvvet santrali birimlerinin ekserji tahripleri – 2.....	69
Şekil 5.17	Kuvvet santrali birimlerinin geliştirme potansiyelleri – 1.....	70
Şekil 5.18	Kuvvet santrali birimlerinin geliştirme potansiyelleri – 2.....	71

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması.....	6
Çizelge 3.1	Ticari olarak bulunabilen yakıtların özellikleri.....	18
Çizelge 4.1	ERDEMİR'in satın aldığı birincil enerjilerin 2002 yılı fiili ve 2003 yılı programının miktar ve TEP değerleri.....	20
Çizelge 4.2	Enerji üretim ve dağıtım tesisleri teknik özellikleri.....	24
Çizelge 4.3	ERDEMİR'in elektrik enerjisi 2002 yılı fiili ve 2003 yılı program verileri.....	26
Çizelge 5.1	Kuvvet santrali akım değerleri.....	29
Çizelge 5.2	Yüksek fırın gazı bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri	31
Çizelge 5.3	Kok gazı bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri	32
Çizelge 5.4	Fuel oil bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri	32
Çizelge 5.5	Katran bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri	32
Çizelge 5.6	Doğal gaz bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri	32
Çizelge 5.7	Havanın mol kesri ve standart molar kimyasal ekserjileri.....	32
Çizelge 5.8	1 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	34
Çizelge 5.9	2 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	34
Çizelge 5.10	3 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	35
Çizelge 5.11	4 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	35
Çizelge 5.12	5 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	36
Çizelge 5.13	4 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	37
Çizelge 5.14	1 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	38
Çizelge 5.15	2 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	38
Çizelge 5.16	3 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	39
Çizelge 5.17	5 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	39
Çizelge 5.18	6 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	40
Çizelge 5.19	7 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	40
Çizelge 5.20	8 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	41
Çizelge 5.21	1 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri.....	42
Çizelge 5.22	2 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri.....	43
Çizelge 5.23	3 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri.....	43
Çizelge 5.24	4 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri.....	44
Çizelge 5.25	1 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	45
Çizelge 5.26	2 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	46
Çizelge 5.27	3 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	46
Çizelge 5.28	4 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	47
Çizelge 5.29	5 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	47
Çizelge 5.30	6 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	48
Çizelge 5.31	7 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	48
Çizelge 5.32	8 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri.....	49
Çizelge 5.33	1 nolu kompresörün enerji ve ekserji denklikleri.....	50
Çizelge 5.34	2 nolu kompresörün enerji ve ekserji denklikleri.....	51
Çizelge 5.35	1 nolu yanma odasının enerji ve ekserji denklikleri.....	52
Çizelge 5.36	2 nolu yanma odasının enerji ve ekserji denklikleri.....	53
Çizelge 5.37	Yanma gazının mol kesri ve standart molar kimyasal ekserjileri.....	54
Çizelge 5.38	1 nolu gaz türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	55
Çizelge 5.39	2 nolu gaz türbini enerji ve ekserji denklikleri.....	55
Çizelge 5.40	1 nolu atık ısı kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	57
Çizelge 5.41	2 nolu atık ısı kazanı enerji ve ekserji denklikleri.....	57
Çizelge 5.42	1 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri.....	59
Çizelge 5.43	2 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri.....	59

Çizelge 5.44	3 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklilikleri.....	60
Çizelge 5.45	4 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklilikleri.....	60
Çizelge 5.46	Degazör & deaerator enerji ve ekserji denklilikleri.....	62
Çizelge 5.47	Her birim için hesaplanan Ξ_T , ε , G_{pot} ve η değerleri.....	62

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve yüksek lisans eğitimim boyunca her aşamasında bana destek veren hocam Yrd. Doç. Dr. Semra ÖZKAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü konuda benden yardımlarını esirgemeyen ve büyük bir sabır gösteren arkadaşlarım Araş. Gör. Ömer Faruk DİLMAÇ ve Kimya Yüksek Mühendisi M. Selçuk MERT'e ve bana her zaman moral veren tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santrali'nde görev yapan Kuvvet Santrali Müdürü Tamer ADANIR'a ve tezimin hazırlanmasında tüm gerekli bilgileri bizimle paylaşan Kuvvet Santrali İşletme Mühendisi M. Umur ERDÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana destek olan ve her türlü kolaylığı sağlayan Fabrika Müdürüm Mehmet AKYEL'e ve tüm çalışma arkadaşlarıma saygıyla teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi desteklerini her an hissettiğim sevgili aileme, bana verdikleri emek için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Nüfusun artması ve endüstrinin gelişmesi ile birlikte Dünya'nın enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Ancak, doğal gaz ve kömür rezervlerinin yaklaşık olarak elli yılda tükeneyeceği tahmin edilmektedir. Birleşik ısı -güç üretim sistemleri veya kojenerasyon sistemleri, kullanılabilir ısı ve elektrik enerjisinin birlikte eş zamanlı olarak üretildiği sistemler olarak anılırlar. Proseste atık ısının kullanılması ile, % 85-90 düzeyinde toplam verime ulaşılabilir ve önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanabilir.

Demir ve çelik sanayiinde enerji tüketimi önemli bir yer tutar. Çelik üreten ülkelerde, demir-çelik sanayiinde harcanan enerji, o ülkelerdeki toplam tüketilen enerjinin % 10'u olabilmektedir. Bir entegre demir-çelik tesisinde, enerjinin toplam üretim maliyeti içerisindeki payı yaklaşık % 30 civarındadır. Dolayısıyla, demir ve çelik sanayiinde yapılabilecek enerji tasarrufları, gerek çelik ürünlerinin üretim maliyetini ve gerekse o ülkenin toplam enerji tüketimini olumlu yönde etkileyecektir.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santralinin her birimi için enerji ve ekserji verimleri, ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli değerleri bulunmuştur. Sistemin toplam ekserji tahribi 1.187,55 MW, geliştirme potansiyeli ise 800,84 MW olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekserji, Enerji, Entropi, Erdemir, Kojenerasyon.

ABSTRACT

Due to high rates of growth of population and the improvements in industry, World's energy need is continuously increasing. However, the natural gas and coal reserves are expected to be depleted approximately in fifty years. The combined heat and power generation (CHP) or Cogeneration systems can be defined as the systems where both heat and power are simultaneously produced. When waste energy is used in a process, overall efficiency can be increased up to 85 - 90 %, and significant amounts of fuel can be saved.

The iron & steel industry is an energy intensive industry. The energy consumed in iron& steel industry constitutes 10 % of total energy consumed in the steel producer countries. The cost of energy is nearly 30 % of the total operating cost in the integrated iron & steel industry. Thus the energy saving in this sector will positively affect the operating cost of steel products and also, the total energy consumption.

In this work, the energy and exergy efficiencies, the exergy loss and the improvement potential for every unit in the power plant of Ereğli Iron and Steel Works Co. were calculated. The total exergy loss and the improvement potential of the system were calculated as 1.187,55 MW and 800,84 MW, respectively.

Keywords: Cogeneration, Energy, Entropy, Erdemir, Exergy.

1. GİRİŞ

Ekserji analizi, kütle korunumu ile enerji korunumu ilkelerini termodinamiğin ikinci yasası ile birlikte başta ısı sistemleri olmak üzere çeşitli sistemlerin tasarımında ve analizinde kullanılmak üzere uygulanan bir yöntemdir.

1973 yılındaki büyük petrol krizi enerji tüketimi değerlendirilmelerinde ve enerji analizinde önemli bir dönüm noktasıdır. Enerji maliyetlerinin çok artması sonucunda enerji tasarrufu önem kazanırken, kriz öncesi enerjinin sadece kullanılan miktarına bakılırken, kriz sonrası enerjinin kalitesi de önem kazanmaya başlamıştır. Dolayısıyla enerji birçok tüketim maddesinde olduğu gibi sadece miktar temelinde değil, kalite temelinde de değerlendirilmeye başlanmıştır (Dinçer, 1982). Birinci ve ikinci yasa analizleri sistemlerin verimliliğinin tespit edilmesi konusunda başvuru kaynağı olmuştur (Utlı ve Hepbaşlı, 2004).

İkinci yasayla yapılacak bir sistem analizi yeni bir termodinamik özelliğin, kullanılabilirliğin tanımlanmasını gerektirir. Herhangi bir enerji akışından elde edilebilecek iş kullanılabilirlik olarak nitelendirilen termodinamik özelliklerle ölçülebilir. Kullanılabilirlik özelliği enerjinin değişik sıcaklık, basınç ve kimyasal potansiyel koşullarındaki farklılaşmasını yansıtır.

Birinci yasa nasıl temel enerji kavramını oluşturuyorsa, ikinci yasa da temel kullanılabilir enerji kavramını oluşturur. İkinci yasayla yapılan analiz birinci yasayla yapılan analize oranla daha açıktır. Çünkü kullanılabilir enerjiyle hesaplanan kayıplar ve verim birinci yasanın enerji kavramıyla hesaplanan kayıplarından ve veriminden daha doğrudur (Dinçer, 1982).

Bu çalışmada toplam elektrik üretim kapasitesi 195 MW olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'nin Kuvvet Santralinin aşağıda belirtilen ünitelerinin enerji ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır:

- Buhar kazanları
- Kojenerasyon tesisi
- Turbo hava üfleyiciler
- Demineralize su tesisi

- Basınçlı hava sistemi

Daha sonra yukarıda bahsedilen her bir ünite için tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji tahribi ve dolayısıyla verimsizlikler hesaplanmıştır.

2. EKSERJİ

Değişik türdeki enerjiler farklı kaliteler gösterirler. Bu farklılıklar enerji proseslerini yürütmede ve beslemede ve diğer enerji türlerine dönüşümlerindeki yeteneklerinde açıkça görülür. Örneğin ısıнын kalitesi ısı kaynağının sıcaklığına bağlıdır; ortam sıcaklığı ile ilgili olarak ısı kaynağı ne kadar yüksek sıcaklıkta olursa, ısı daha fazla oranda mekanik işe dönüşebilecektir. Çevremizdeki hava veya deniz suyu sonsuz ısı kaynağı olarak sayılabilir. Fakat bu ısı termal prosesleri beslemek ve yürütmek için kullanılamaz (çevredeki hava veya deniz suyunun farklı bölgeleri arasındaki yeterli bir sıcaklık farkının olduğu durumlar hariç). İş yapma kapasitesi, enerjinin kalitesinin bir ölçüsü olarak kabul edilir (Szargut vd., 1998).

Yeni bir enerji kaynağı bulunduğunda, jeotermal bir kuyu gibi, araştırmacıların yaptığı ilk şey kaynakta ne kadar enerjinin bulunduğunu tahmin etmektir. Yalnızca bu bilgi, bu bölgede bir elektrik santrali kurmak için karar vermede pek değerli değildir. Esas bilinmesi gereken kaynağın *iş potansiyelidir*. Bu da yararlı iş olarak çıkarabileceğimiz enerjinin miktarıdır. Kalan enerji kullanılmayan enerji olarak atılır. Böylece, belirlenen bir halde verilen miktardaki enerjinin yararlı iş potansiyelini tanımlayan bir özellik bulma ihtiyacı doğar. Bu özelliğe *ekserji* adı verilir. Ayrıca *kullanırlık* veya *kullanılabilir enerji* denilebilir (Çengel ve Boles, 1994).

Szargut tarafından ekserji “Tersinir proseslerin aracılığıyla, doğanın daha önce bahsedilen bileşenleri ile etkileşimleri dahil, doğal çevrenin genel bileşenleriyle bazı maddelerin bir termodinamik denge haline getirilmesiyle elde edilebilir iş miktarı” olarak tanımlanmaktadır.

Riekert de ekserjinin kısa bir tanımını yapmıştır:

“Ekserji ısıнын sadece T_0 sıcaklıktaki çevre ile değiştiği, tersinir bir şekilde çevredeki yaygın bulunan maddelerden tanımlı bir haldeki madde üretmek için gerekli olan shaft iş veya elektrik enerjisidir.”

Bir enerji taşıyıcısının iş yapma yeteneği diğer enerji türlerine dönüşebilme genel yeteneğini açıklar ve dolayısıyla ekserji yalnız güç santrallerinin ve diğer mekanik

makinelerin proseslerinin analizinde değil, aynı zamanda teknolojik prosesleri araştırmak için de kullanılabilir (Szargut vd., 1998).

Belirlenen bir haldeki sistemde bulunan enerjinin iş potansiyeli basitçe sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iştir. Proseste yapılan iş başlangıç haline, son hale ve proses yoluna bağlıdır. Ekserji kontrol hacminin şekline ve hareketine de bağlıdır:

$$\dot{I}ş = f(\text{başlangıç hali, son hal, proses yolu})$$

Bir ekserji analizinde, başlangıç hali tanımlanırsa, bu bir değişken değildir. İki belirli durum arasındaki proses *tersinir şekilde* yürütülürse çıkan iş maksimum olur. Bu nedenle, tüm tersinmezlikler iş potansiyeli hesaplanırken ihmal edilir. Son olarak sistem, çıkan işi maksimum yapmak için prosesin sonunda *ölü halde* olmalıdır (Çengel ve Boles, 1994).

Bir sistem bulunduğu çevre ile termodinamik dengede ise **ölü halde** olduğu söylenir. Ölü halde olan bir sistem çevrenin sıcaklığında ve basıncındadır (termal ve mekanik dengede); çevreyle ilgili kinetik ve potansiyel enerjiye sahip değildir (sıfır hız ve referans seviyesinden sıfır yükseklik); ve çevre ile reaksiyona girmez (kimyasal olarak inert) (Çengel ve Boles, 1994).

Ölü haldeki bir sistemin özellikleri sıfır alt simgesi ile ifade edilir. (Örneğin, P_0 , T_0 , h_0 , u_0 ve s_0). Başka şekilde belirtilmedikçe ölü hal sıcaklık ve basıncı $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ve $P_0 = 1 \text{ atm}$ (101.325 kPa) olarak alınır. Bir sistem ölü halde sıfır ekserjiye sahiptir (Çengel ve Boles, 1994).

Ortam, *ara ortam* ve *çevre* arasında bir ayırım yapmak gerekir. Tanımlarını yapmak gerekirse, **ortam**, sistem sınırları dışındaki herşeydir. **Ara ortam**, proses tarafından etkilenen ortamın bir kısmıdır. **Çevre**, proses tarafından herhangi bir noktada özelliklerin etkilenmediği ara ortamın ötesindeki bölgedir. Bu bakımdan, proses sırasındaki herhangi bir tersinmezlik sistem ve ara ortam içinde gerçekleşir ve çevre tersinmezliklerden bağımsızdır (Çengel ve Boles, 1994).

Başlangıçta ölü halde bulunan bir sistemden iş üretilemez. Etrafımızdaki atmosfer çok büyük enerji içerir. Ancak, atmosfer ölü haldedir ve içerdiği enerjinin iş potansiyeli yoktur (Çengel ve Boles, 1994).

Öyleyse, *bir sistem belirli bir başlangıç durumundan çevrenin durumuna (ölü hale) tersinir prosesle gelirken olası maksimum iş elde edilir*. Bu, belirlenen halde sistemin yararlı iş potansiyelini ifade eder ve **ekserji** adı verilir. Ekserjinin iş üreten bir aletin gerçekte vereceği iş miktarını vermediğini anlamak önemlidir. Kısaca, termodinamik yasalarını ihlal etmeksizin bir aletin vereceği iş miktarının en üst limitini gösterir. Ekserji ile alet tarafından verilen gerçek iş arasında büyük veya küçük fark olacaktır. Ekserji sadece sistemin değil, *sistem-çevre kombinasyonunun* bir özelliğidir. Çevreyi değiştirmek ekserji arttırmanın diğer bir yoludur, fakat kesinlikle kolay bir yol değildir (Çengel ve Boles, 1994).

Ekserji analizinin amacı incelenmekte olan prosesin termodinamik eksikliklerinin sebeplerini nicel olarak değerlendirmek ve bulmaktır (Szargut vd., 1998).

2.1 Enerji ve Ekserji

Rosen ve Dinçer (2001) tarafından geniş kapsamlı olarak ele alındığı gibi, ekserji; enerji, çevre ve sürdürülebilir gelişmenin bir karışımı olarak karşımıza çıkar. Enerji, genellikle iş yada iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bunun yerine, hareket ya da hareket üretme yeteneği olarak tanımlanmalıdır. Ekserji ise, iş (=düzenli hareket) yada iş üretebilme kabiliyetidir. Hareket, sık sık belirli bir yönü olmayan, yani anlamsız iştir (Wall, 1990,1997).

Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış yada sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Enerjiden farklı olarak, ekserji; korunum yasasına uğramaz (ideal veya tersinir prosesler hariç olmak üzere). Ekserji daha çok, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler nedeniyle, tüketilir ya da yok edilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya

çıkan entropiyle orantılıdır. Enerji ve ekserji kavramları, Çizelge 2.1' de açık olarak kıyaslanmaktadır (Szargut vd., 1998).

Çizelge 2.1 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (Szargut vd., 1998).

<u>Enerji</u>	<u>Ekserji</u>
1. korunum yasasına bağlıdır.	1. korunum yasasından muaftır.
2. incelenmekte olan maddenin bir hal fonksiyonudur.	2. incelenmekte olan maddenin ve maddenin bulunduğu çevrenin bir hal fonksiyonudur.
3. herhangi bir referans haline göre varsayım yapıp hesaplama yapılabilir.	3. referans hali değişebilen çevreden etkilenir.
4. sıcaklığın yükselmesiyle artar.	4. çevre sıcaklığında minimuma ulaşan izobarik prosesler için; daha düşük sıcaklıklarda sıcaklık düşüşleriyle artar.
5. ideal gaz durumunda basınca bağlı değildir.	5. daima basınca bağlıdır.
6. ideal vakum için sıfıra eşittir.	6. ideal vakum için pozitifdir.

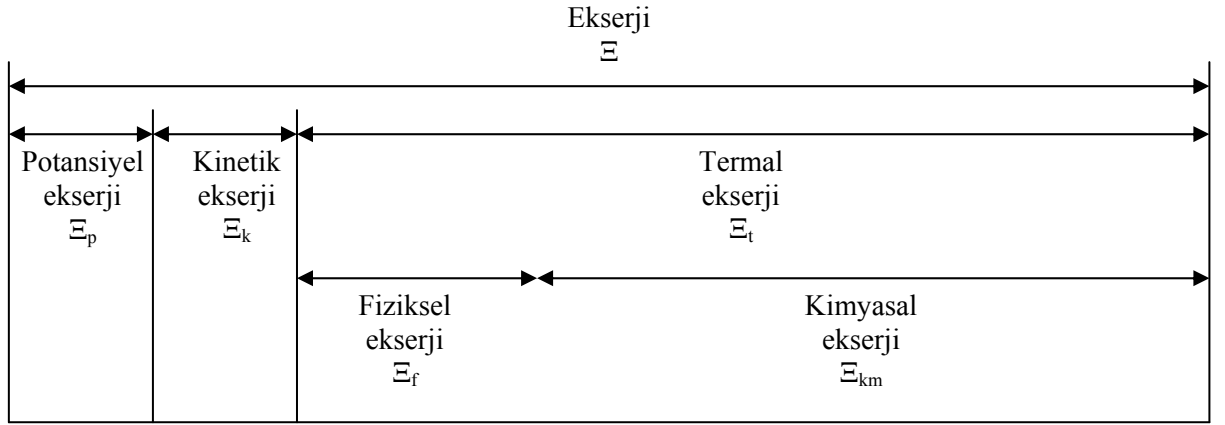
Enerji ile ekserji kıyaslandıktan sonra, ekserji analizi yapmanın önemi aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Dinçer, 2002):

- a) Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
- b) Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- c) Daha fazla verimli kaynak kullanma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- d) Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamamanın nasıl mümkün olup olamayacağını gösteren etkin bir tekniktir.

2.2 Ekserji Bileşenleri

Nükleer, magnetik, elektrik ve ara yüzey etkiler çıkarılırsa, bir maddenin akımının ekserjisi Ξ dört bileşenden oluşur: kinetik ekserji Ξ_k , potansiyel ekserji Ξ_p , fiziksel ekserji Ξ_f ve kimyasal ekserji Ξ_{km} (Szargut vd., 1998).

$$\Xi = \Xi_k + \Xi_p + \Xi_f + \Xi_{km} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Değişmez sistem sınırından geçen madde akımının ekserji bileşenleri (Szargut vd., 1998).

2.2.1 Kinetik ve potansiyel enerji ile ilgili ekserji (iş potansiyeli)

Kinetik enerji, mekanik enerjinin bir formudur ve böylece tamamen işe dönüşebilir. Bu nedenle bir sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi veya iş potansiyeli çevrenin sıcaklık ve basıncına bağımsız olarak kendi kinetik enerjisine eşittir. Bu da:

Kinetik enerjinin ekserjisi:

$$\Xi_k = \frac{V^2}{2} \quad (2.2)$$

V: Sistemin çevreye bağlı hızı

Potansiyel enerji *mekanik enerjinin* bir formudur ve dolayısıyla işe tamamen çevrilebilir. Böylece bir sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklık ve basıncına bağlı olmaksızın kendi potansiyel enerjisine eşittir (Çengel ve Boles, 1994).

Potansiyel enerjinin ekserjisi:

$$\Xi_p = gz \quad (2.3)$$

g: yerçekimi ivmesi

z: Çevre referans seviyesine bağlı sistemin yüksekliği

2.2.2 Fiziksel ekserji

Belirli bir durumdaki kapalı bir sistemin fiziksel ekserjisi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Xi_f = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.4)$$

Bazı uygulamalarda çevrenin kimyasal bileşiminin bilinmesi gerekli değildir. Sadece basınç p_0 ve sıcaklık T_0 tanımlanmalıdır. 2.1 ve 2.4 eşitliklerinden yola çıkarak kapalı bir sistemin iki hali arasındaki ekserji farkı şöyle hesaplanır:

$$E_2 - E_1 = (U_2 - U_1) + p_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) \quad (2.5)$$

Çoğu mühendislik uygulaması için kinetik ve potansiyel ekserji değişiklikleri ihmal edilebilir.

Açık bir sistemdeki akımın fiziksel ekserji de aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Xi_f = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.6)$$

2.2.3 Kimyasal ekserji

Standart kimyasal ekserjiler T_0 sıcaklığındaki ve p_0 basıncındaki çevre koşullarındaki standart değerlere dayanır. Standart çevre, doğal çevrenin kimyasal yapısına en yakın referans maddelerin standart konsantrasyonlarından oluştuğu düşünülür. Referans maddeler genel olarak üç grupta incelenir: atmosferin gaz bileşenleri, litosferdeki katı maddeler ve okyanuslardaki iyonik ve noniyonik maddeler. Mühendislik değerlendirmelerde iki alternatif standart ekserji referans çevresi kabul görmüştür: bunlar Model I ve Model II olarak isimlendirilir.

Model I için referans maddeler, nitrik asit ve nitratlar için sınırlı kimyasal dengede olduğu ve atmosfer, okyanuslar ve litosferin bir bölümündeki tüm diğer kimyasal bileşenler için sınırsız termodinamik dengede olduğu farz edilir. Model II'nin ekserji referans çevresinin kimyasal bileşimi doğal çevrenin bileşimine daha yakındır, fakat genellikle denge gerekli değildir (Bejan vd., 1996).

2.2.4 Gazların ve gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri

Standart ekserji referans çevresinin genel özelliği havayı temsil eden gaz fazda olmasıdır ve N_2 , O_2 , CO_2 , $H_2O(g)$ ve diğer gazları içerir. Bu gaz fazındaki k gazı T_0 sıcaklığındadır ve kısmi basıncı $p_k^e = x_k^e p_0$ dır. E üstsimgesi çevreyi ve x_k^e çevre gaz fazındaki k gazının mol kesrini ifade eder.

Çevre gaz fazındaki bir gazın standart kimyasal ekserjisinin değerlendirilmesi şöyle yapılabilir: k gazı T_0 sıcaklığında ve p_0 basıncında girer, sadece çevre ile ısı aktarımı ile izotermal olarak genişler ve T_0 sıcaklığında ve $x_k^e p_0$ basıncında çevreye çıkar. k gazı için mol başına maksimum teorik iş tersinmezlikler olmaksızın genişleme gerçekleştiğinde geliştirilebilir.

k gazının mol başına kimyasal ekserjisi:

$$\begin{aligned}\Xi_{km,k} &= -RT_0 \ln \frac{x_k^e p_0}{p_0} \\ &= -RT_0 \ln x_k^e\end{aligned}\tag{2.7}$$

Çevrede gaz fazda bulunan N gazlı bir karışımın kimyasal ekserjisi benzer şekilde elde edilebilir. Karışımın mol başına kimyasal ekserjisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned}\Xi_{km} &= -RT_0 \sum x_k \ln \frac{x_k^e}{x_k} \\ &= \sum x_k \Xi_{km,k} + RT_0 \sum x_k \ln x_k\end{aligned}\quad (2.8)$$

2.2.5 Yakıtların standart kimyasal ekserjileri

Prensipte çevrede bulunmayan bir maddenin standart kimyasal ekserjisi, bu maddenin kimyasal ekserjileri bilinen diğer maddeler(daima referans maddeler) ile ideal ortamdaki reaksiyonu düşünülerek hesaplanabilir:

$$\Xi_{km} = -\Delta G + \left\{ \sum_{\xi} n \Xi_{km} - \sum_g n \Xi_{km} \right\} \quad (2.9)$$

ΔG , T_0 sıcaklığında ve p_0 basıncında her bir maddeyi ayrı kabul ederek reaksiyonun Gibbs fonksiyonundaki değişimdir.

2.3 Ekserji Dengesi

2.3.1 Kapalı sistem ekserji dengesi

Kapalı bir sistem için ekserji dengesi için enerji ve entropi dengelerinin birleşimiyle aşağıdaki eşitlik geliştirilir:

$$(U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) = \int_1^2 \delta Q - W \quad (2.10)$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_b + S_{irr} \quad (2.11)$$

T_b ısı ile enerji aktarımının gerçekleştiği sınırdaki sıcaklıktır.

Entropi dengesi T_0 sıcaklığı ile çarpılıp ve bunun sonucunda elde edilen ifade enerji dengesinden çıkarıldığında:

$$(U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) - T_0(S_2 - S_1) = \int_1^2 \delta Q - T_0 \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_b - W - T_0 S_{\text{ür}} \quad (2.12)$$

δQ içeren terimler toplanır ve sol taraftaki terimler düzenlenirse:

$$\Xi_2 - \Xi_1 - p_0(V_2 - V_1) = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_b} \right) \delta Q - W - T_0 S_{\text{ür}} \quad (2.13)$$

Tekrar düzenlendiğinde, kapalı sistem ekserji dengesi eşitliği aşağıdaki gibi olur:

$$\underbrace{\Xi_2 - \Xi_1}_{\text{Ekserji değişimi}} = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_b} \right) \delta Q - [W - p_0(V_2 - V_1)]}_{\text{Ekserji aktarımı}} - \underbrace{T_0 S_{\text{ür}}}_{\text{Ekserji tahribi}} \quad (2.14)$$

Sağ tarafın ilk terimi proses sırasında sistemden veya sisteme ısı aktarımı ile ilişkilidir ve enerjinin ısı ile aktarımı ile ilişkili ekserji aktarımı aşağıdaki eşitlik ile yazılır:

$$\Xi_{\text{ısı}} = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_b} \right) \delta Q \quad (2.15)$$

Sağ taraftaki ikinci terim de net yararlı işle ilgilidir ve iş tarafından aktarılan enerjinin ekserji aktarımı:

$$\Xi_{\text{iş}} = W - p_0(V_2 - V_1) \quad (2.16)$$

Sağdaki üçüncü terim sistem içindeki tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji tahribini hesaplamakta kullanılır. Entropi üretimine bağlı ekserji tahribi şöyle ifade edilir:

$$\Xi_T = T_0 S_{\text{ür}} \quad (2.17)$$

Kapalı sistemler için ekserji dengesinin kullanışlı formu oran eşitliğidir:

$$\frac{d\Xi}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \left(\dot{W} - p_0 \frac{dV}{dt}\right) - \dot{\Xi}_T \quad (2.18)$$

2.3.2 Kontrol hacmi ekserji dengesi

2.17 eşitliğini kontrol hacmine uygulamak için ekserji aktarımı terimlerini ilave etmek gerekir:

$$\underbrace{\frac{d\Xi_{CV}}{dt}}_{\text{Ekserji değişim oranı}} = \underbrace{\sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \left(W_{CV} - p_0 \frac{dV_{CV}}{dt}\right) + \sum_g \dot{m}_g e_g - \sum_\varphi \dot{m}_\varphi e_\varphi}_{\text{Ekserji aktarımı oranları}} - \underbrace{\dot{\Xi}_T}_{\text{Ekserji tahribi}} \quad (2.19)$$

Yatışkın halde, $\frac{d\Xi_{CV}}{dt} = 0$ ve $\frac{dV_{CV}}{dt} = 0$ olduğundan 2.18 eşitliği aşağıdaki eşitliğe dönüşür:

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - W_{CV} + \sum_g \dot{m}_g e_g - \sum_\varphi \dot{m}_\varphi e_\varphi - \dot{\Xi}_T \quad (2.20)$$

2.4 Ekserji ve Enerji Verimi

Ekserjiyi temel alarak verimi tanımlamak daha faydalıdır. Genel olarak kullanılan iki yaklaşım vardır. Biri “brüt kuvvet” diğeri ise “fonksiyonel” olarak adlandırılır.

- Herhangi bir sistem için “Brüt kuvvet” *ekserji verimi* tüm çıkan ekserji terimlerinin toplamının tüm giren ekserji terimlerinin toplamına oranıdır.
- Herhangi bir sistem için “fonksiyonel” *ekserji verimi* istenilen enerji çıkışı ile ilişkili ekserjinin istenilen enerji çıkışını elde etmek için harcanan enerji ile ilişkili ekserjiye oranıdır (Hepbaşlı, 2006).

Benzer şekilde, ekserji verimi toplam çıkan ekserjinin toplam giren ekserjiye oranı olarak tanımlanır:

$$\varepsilon = \frac{\Xi_{\zeta}}{\Xi_g} = 1 - \frac{\Xi_T}{\Xi_g} \quad (2.21)$$

Enerji verimi de toplam çıkan enerjinin toplam giren enerjiye oranı olarak ifade edilir:

$$\eta = \frac{E_{\zeta}}{E_g} \quad (2.22)$$

2.5 Ekserji Geliştirme Potansiyeli

Bir proses veya sistem için ekserji verimliliğinde maksimum gelişme ekserji tahribi veya tersinmezlik ($\Xi_g - \Xi_{\zeta}$) minimum olduğunda başarılıdır (Hepbaşlı, 2006).

$$G_{pot} = (1 - \varepsilon) \left(\Xi_g - \Xi_{\zeta} \right) \quad (2.23)$$

3. KOJENERASYON

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş "enerji yönetimi" teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır [2].

Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin %30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" ya da kısaca "kojenerasyon" denilmektedir.

Kojenerasyon sisteminin çevreye en önemli katkılarından biri de büyük enerji tasarrufunun yanında atık emisyonlarını da aynı oranda azaltmasıdır. Ülkemizde henüz üzerinde çok durulmayan bu husus, sistemin özellikle Avrupa ülkelerinde yaygın teşvik görmesinin ana sebeplerinden biridir.

3.1 Birleşik Isı-Güç Üretiminin Yararları

Makro düzeyde :

1. Yüksek birincil enerji kullanım verimliliğinin sağladığı yerel veya ithal enerji kaynaklarının tasarrufu,
2. Enerji çevriminin tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi,
3. Merkezi santrallere göre daha kısa inşaat ve devreye alma sürelerinin sağladığı hızlı elektrik enerjisi arz satışı,
4. Üretilen yararlı ısı güç birimi başına çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarının, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olması,

5. Sanayi tarafından tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağılmış bir şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilmesinin ulusal güvenliğe sağlayacağı katkı.

İşletme bazında:

1. İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyetini azaltacak, şirketin rekabet gücü artacaktır.
2. İşletmenin enerji temin güvencesi olacak, üretim kesintilerinin yol açtığı zararlar ortadan kalkacaktır.

3.2 Kojenerasyonda Üretim Teknikleri

Kojenerasyon, iki çeşit ana tahrik ünitesi vasıtasıyla uygulanmaktadır.

- gaz türbini
- gaz motoru ya da dizel motor

Gaz türbinleri kojenerasyon uygulamaları için yaygın olarak 4,5 – 20 MW güç aralığında kullanım bulmaktadır. Buna karşılık gaz motorları da daha küçük güçlerde, yurdumuzda da özellikle 1 MW seviyelerinde uygulanmaktadır. Ancak gaz motor kojenerasyon uygulamalarını bu boyutta sınırlamak doğru değildir. Tek modülde 100 kW seviyelerinden 3 MW seviyelerine kadar motorlar mevcut olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santrallerde 10 MW seviyelerine ulaşılması Avrupa'da yaygın uygulamalardır.

Kendi başlarına sadece elektrik üretebilecek durumda olan üniteleri kojenerasyon sistemi haline getirmek için dışarı atılan ısının kullanılır ısı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Gaz türbininde bu ısı egzost gazı ısısı şeklinde olup, bir atık ısı kazanı marifetiyle bu ısı proses ihtiyacına göre buhar, sıcak su, kızgın su ya da kızgın yağ üretmek için kullanılabilir. Kojenerasyon sistemleri, elektrik üretimiyle birlikte ısı enerjisi de üretilir. Bu ısı enerjisi, proses için kullanılır. Kojenerasyon sistemleri, elektrik üretimiyle birlikte ısı enerjisi de üretilir. Bu ısı enerjisi, proses için kullanılır.

Diğer bir yaygın kullanım alanı da egzost gazının hava ile karıştırılarak direkt kurutma uygulamalarında kullanılmasıdır. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim verimi % 80 seviyelerini yakalayabilmektedir.

Motor kojenerasyon sistemlerinin bu soğutma gerekliliği özellikleriyle geri kazanılan ısı en verimli şekilde sıcak su olarak kullanılabilir. Böyle bir sistemde toplam sistem verimi % 90 seviyesini geçebilmektedir.

3.3 Kojenerasyonda Sistem ve Kapasite Seçimi

Bu sistemlerin seçimi başlıca şu kriterlere göre yapılır:

- İşletmenin elektrik-ısı tüketim yapısı ve ısı-elektrik tüketim dengesi
- İşletmenin yıllık çalışma süresi
- İşletmenin enerji ihtiyacı seviyesi
- Birincil enerji kaynaklarının (gaz, lpg, nafta, fuel oil no:6) temin edilebilirliği ve ekonomik uygulanabilirlikleri

Bunların en önemlisi ilk iki kriterdir. Sağlıklı bir santral seçimi için mümkünse yıllık, yoksa aylık ya da haftalık bazda tüketim değerleri tespiti yapılmalı, bunlar grafiklere dökülmelidir. İlk olarak yıllık ortalama elektrik tüketimine bakılır ve atıl kapasite yaratmayacak şekilde bu tüketimin az altında kalacak bir kapasite seçilir. Birinci amaç elektrik tüketimine yönelik kapasite belirleme olmalıdır.

Santralin elektrik kapasitesi belirlendikten sonra ısı tüketim verilerine bakılır. Yoğun olarak yüksek sıcaklıkta enerji gerekiyorsa - buhar, kızgın yağ ya da sıcak hava - ve bu yaklaşık 1:2 elektrik/ısı dengesine oturuyorsa, sisteme uygun yakıt ekonomik olarak mevcut ise ve santral büyüklüğü gaz türbinleri kapasite aralığına giriyorsa ihtiyaç bir gaz türbin kojenerasyon santraline işaret eder.

Dikkat edileceği üzere sonuca etken değişken sayısı çok fazladır. Tüm öncelikli kriterler bir gaz türbin santralini işaret ederken dahi, yakıtın ekonomik bulunabilirliği santrali diesel motor santraline dönüştürebilmektedir.

Sistem seçimi ile santral büyüklüğü ve tipini belirledikten sonra santralin kaç modülden oluşacağını tespit etmek gerekmektedir. Burada ilk kısıtlama piyasada mevcut üretilmekte

olan modül büyüklüğüdür. Bu problem aşılabildiği zaman ilke olarak en az iki modülden oluşan bir santral yapmak enerji temin güvencesi açısından her zaman tercih edilmelidir. İkinci önemli kriter ise mümkün olan en yüksek verimde çalışabilmek amacıyla yıllık tüketim eğrisini değerlendirmektir.

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

3.4 Motor Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılabilecek Yakıtlar

Motor kojenerasyon sistemlerinde kullanılan motorlar genel olarak 2 tiptir;

1. Fair karışım yanmalı otto motorları
2. Dizel - sıkıştırma patlatmalı - prensibe göre çalışan motorlar

Otto motorlarında sadece gaz yakıtlar kullanılabilir. Kullanılabilecek gazlar sırasıyla :

- doğalgaz
- biyogaz
- propan
- kok gazı
- piroliz gazı (odun gazı)

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

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

3.5 Ticari Olarak Bulunabilen Yakıt Seçeneklerinin Özellikleri

Gaz yakıtların motorlarda yakılabilmesinin en önemli kriteri metan sayısıdır. Arkasından kalorifik değer ve laminar alev hızı gelir. Gazların özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Çizelge 3.1 Ticari olarak bulunabilen yakıtların özellikleri

Yakıt	Kompozisyon	Spesifik Ağırlık (kg/nm ³)	Alt Isıl Değer (kWh/nm ³)	Metan Sayısı	Laminar Alev Hızı (cm/s)
H ₂	Hidrojen	0,0899	2,996	0	302
CH ₄	Metan	0,717	9,971	100	41
C ₃ H ₈	Propan	2,003	26	33	45
CO	Karbon Monoksit	1,25	3,51	75	24
Doğalgaz	CH ₄ = %88,5 C ₂ H ₆ = %4,7 C ₃ H ₈ = %1,6 C ₄ H ₁₀ = %0,2 N ₂ = %5	0,798	10,14	80	41
Aritma Gazı	CH ₄ = %65 CO ₂ = %35	1,158	6,5	135	27
Çöplük Gazı	CH ₄ = %50 CO ₂ = %40 N ₂ = %10	1,274	4,98	150	20
Piroliz Gazı (Odun Gazı)	H ₂ = %7 CO = %17 C _n H _m = %5 N ₂ = %56 CO ₂ = %15	1,25	1,38	13	

- Doğalgaz:** Kojenerasyonun ticari olarak bulunabilen tartışmasız temel yakıttır. Hem yanma özellikleri hem çevre dostu oluşu hem depolama gerektirmemesi hem de ekonomik açıdan en geçerli yakıttır.
- Propan:** % 95 üzerinde saflık gerekliliği ithal edilmesini gerektirmektedir. Enerji üretimi amaçlı olarak ithalatı bazı firmalarca yapılmaktadır. Ancak çok düşük metan sayısı yüksek kalorifik değerine karşın motorlardaki üretimi aynı kapasitedeki gaz motoruna oranla % 65 düzeyinde kalmaktadır. Bu üretimin verimsiz olması anlamında değil, spesifik yatırım maliyetinin artması şeklinde yorumlanmalıdır. Enerji bakanlığının yaz aylarında aldığı kararlar sonucu enerji üretiminde kullanımı halinde ATV (Akaryakıt Tüketim Vergisi) ve AFİF (Akaryakıt Fiyat İstikrar Fonu) oranlarının

pratikte sıfırlanmış olması sonucu ekonomik olarak kabul edilebilir bir alternatif haline gelmiştir.

3. **Dizel:** Yanması en az problemli ve zararlı emisyonu en düşük likit yakıttır. Ancak fiyatı sebebiyle kojenerasyonda ana yakıt olarak kullanılması ekonomik olarak mümkün değildir. Ancak gaz kesintilerine karşı, eşzamanlı şebeke elektriği kesilmesinde kullanılmak üzere yedek yakıt olarak değerlendirilebilecek en uygun yakıttır.
4. **Fuel Oil no:4:** Bir diğer uygun likit yakıttır. Ancak emisyonlarında arıtma gerekmekte, fiyat açısından da yine ekonomik saymak mümkün olmamaktadır.
5. **Fuel Oil no:6:** Birçok yöremizde bulunabilirliği, ülkemizde zaman zaman üretim fazlası vermesi (ithalattan bağımsız olabilme) ve enerji üretiminde kullanılması durumunda devletten gördüğü teşvik nedeniyle en uygun yakıtlardan biri olmasına karşın, gaz ve katı atıklarının arıtılması ve bertaraf edilmesinde karşılaşılan problemler ve maliyetler negatif taraflarıdır.

Kojenerasyon özellikle son 10 yılda muazzam bir kullanım sahası bulmuş 20 yılı aşkın bir süredir dünyada başarıyla uygulanan ve sürekli teknik gelişmelerle desteklenen bilinen en verimli enerji üretimidir.

Dünyadaki itici gücü bu emsalsiz veriminin ve dolayısı ile üretilen birim enerji başına atmosfere atılan emisyonları ciddi bir oranda azaltması ile çevre açısından gittikçe daha duyarlı hale gelen dünyanın enerji üretim sistemleri içinde gözbebeği olmuş, halen de bu statüsünü korumaktadır.

Kojenerasyon sistemlerine yaygın ilgi ülkemizde beklenen elektrik enerjisi krizi ve şebekedeki elektriğin kalite problemleri nedeniyle yaygınlaşmışsa da sonunda bu sistemler verimi, sağladıkları ekonomi ve rekabet gücüne katkıları nedeniyle sanayimizde hak ettikleri konuma erişeceklerdir. [2].

4. KOJENERASYON TESİSİNİN TANIMI

4.1 Genel Enerji Yapısının Tanıtımı

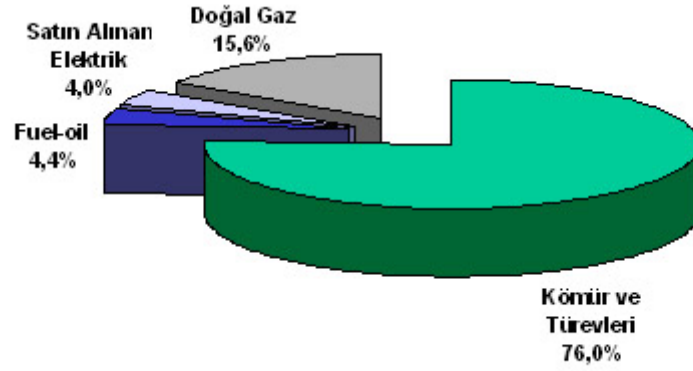
ERDEMİR 3,0 milyon ton/yıl ham çelik ve 5,3 milyon ton/yıl yassı nihai mamul kapasitesi ile ülkemizin en büyük demir çelik kuruluşu ve tek entegre yassı çelik üreticisidir. Karadeniz Ereğli’de yaklaşık 4,4 km²’lik bir alan üzerinde kuruludur. ERDEMİR 15 Mayıs 1965’te yaklaşık 0,5 milyon ton ham çelik kapasitesiyle üretime başlamıştır [3].

Enerji tüketim potansiyeli yönünden ülkemizin en büyük tesisleri arasında yer alan ERDEMİR, Türkiye’nin toplam yıllık enerji tüketiminden yaklaşık %2,5 oranında pay almaktadır. ERDEMİR’in satın aldığı birincil enerjilerin 2002 yılı fiili ve 2003 yılı programının miktar ve TEP (Ton Eşdeğer Petrol) değerleri aşağıda sunulmuştur (Kimsesiz, 2003).

Çizelge 4.1 ERDEMİR’in satın aldığı birincil enerjilerin 2002 yılı fiili ve 2003 yılı programının miktar ve TEP değerleri

Kullanılan Enerjiler	2002 (Fiili)		2003 (Program)	
	Tüketim	TEP	Tüketim	TEP
Kömür (ton)	1 636 536	1 323 093	1 734 493	1 401 454
Kok (ton)	239 229	179 292	300 204	224 990
Fuel oil (ton)	75 458	75 458	73 600	73 600
Doğal gaz (Nm ³)	297 455 841	266 740	339 808 000	304 719
Elektrik (kWh)	314 605 771	78 651	240 000 000	60 000
Toplam Enerji Tüketimi (TEP)	1 923 234		2 064 763	
Nihai Ürün Üretimi	3 144 897		3 250 000	

2002 yılında, toplam birinci enerji tüketiminde en önemli kaynağı teşkil eden koklaştırılabilir taş kömürü ve türevleri %76,0, diğer birincil enerji kaynaklarından fuel oil %4,4, doğal gaz %15,6 ve elektrik enerjisi %4,0 pay almıştır.

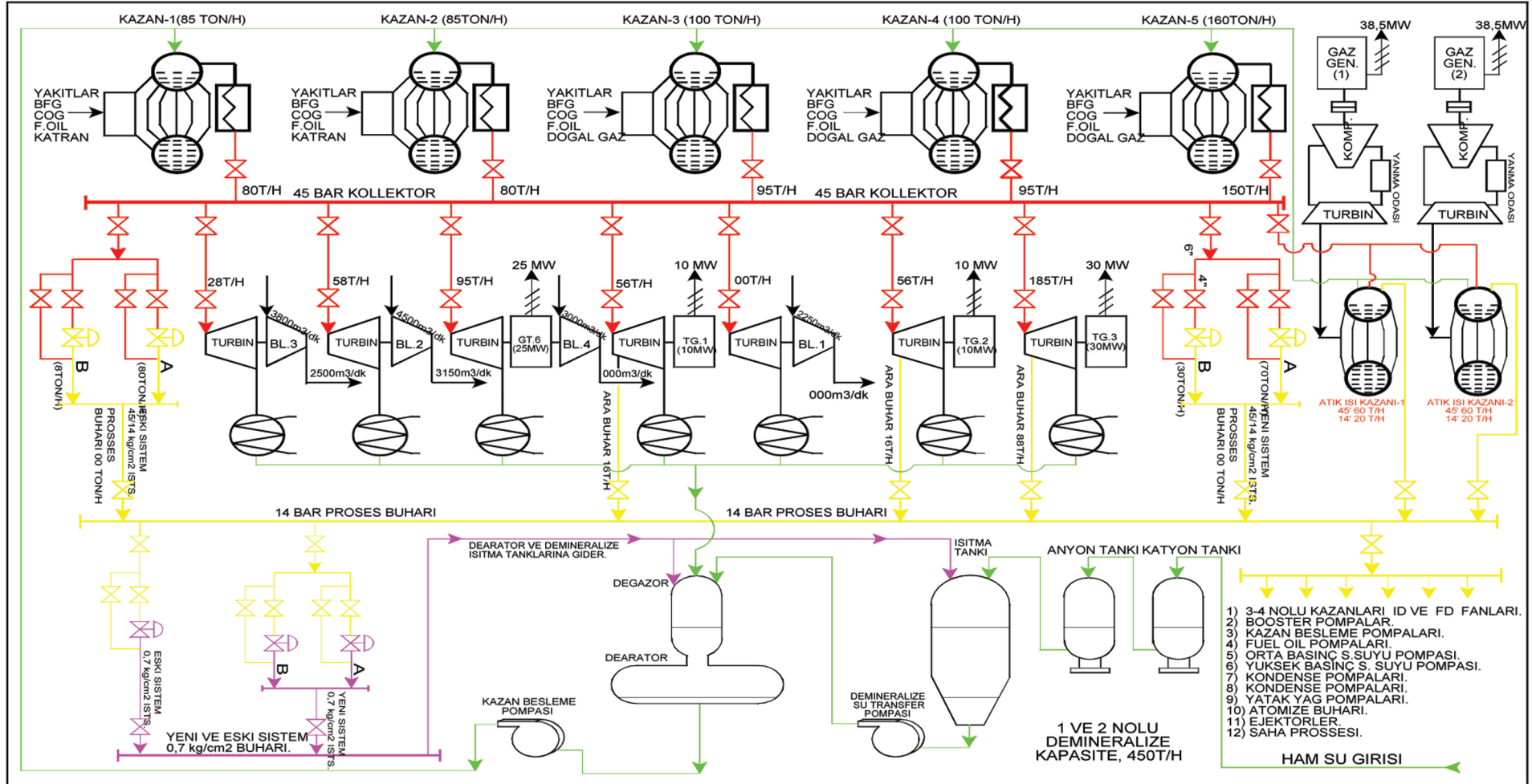


Şekil 4.1 2002 yılında satın alınan birincil enerji kaynaklarının dağılımı

4.2 Enerji Üretim ve Dağıtım Sisteminin Tanıtımı

ERDEMİR'in entegre üretim tesislerinde ihtiyaç duyduğu buhar, elektrik enerjisi, yüksek fırın havası, basınçlı hava, yumuşak suyun üretilmesi, yan ürün olarak üretilen yüksek fırın, kok, çelikhane gazları ve katranın yakıt olarak değerlendirilmesi ve diğer ünitelere dağıtımının yapılması, BOTAŞ'tan satın alınan doğal gaz ve piyasadan satın alınan fuel oilin dağıtımının yapılması, TEİAŞ'ın ulusal elektrik enerjisi sistemi ile elektrik enerjisi alış verişinin düzenlenmesi ve tüm ERDEMİR'e dağıtımı ve güvenilir kullanımından sorumlu grup Enerji Üretim ve Dağıtım Müdürlüğü'dür.

Bu müdürlük organizasyonu içinde baş mühendislik olarak yer alan Kuvvet Santralinde, işletmeye alındığı 1965 yılından bu yana otoproduktör statüde elektrik enerjisi üretilmektedir. ERDEMİR'in elektrik enerjisi üretim kapasitesi, yassı çelik ürünlerine olan talebin hızlı artışına paralel olarak uygulanan tevsiyat yatırımları sırasında sürekli artırılmıştır. 1965 yılında devreye alınan her biri 10 MW kapasiteli iki adet Buhar Türbini Jeneratörü Tesisi, 1978 yılında devreye alınan 30 MW kapasiteli Buhar Türbini Jeneratörü Tesisi ve 1997 yılında devreye alınan her biri 40 MW kapasiteli doğal gaz yakıtlı iki adet Gaz Türbini Jeneratör Tesisi, 2001 Nisan ayında devreye alınan 25 MW gücündeki Buhar Türbini Jeneratörü/Motor Hava Üfleyici Tesisi ve son olarak da Ağustos 2007'de hizmete giren 40 MW Buhar Türbini Jeneratörü ile toplam 195 MW kurulu kapasiteye ulaşılmıştır [3]. Kuvvet Santralinin enerji akış şeması Şekil 4.2'de sunulmuştur (Kimsesiz, 2003).



Şekil 4.2 Kuvvet santralinin enerji akış şeması (Kimsesiz, 2003)

Kuvvet Santrali'nde prosesin ilk aşaması buhar üretiminde kullanılan suyun tasfiyesidir. Su Tesislerinden gelen ham su, Demineralize Su Tesisi'nde sıfır sertlikte ve içindeki erimiş oksijenin % 95-98'i, karbondioksitin tamamı alınmış olarak ve sıcaklığı 116 dereceye getirilerek $1,7 \text{ kg/cm}^2$ basınçta dearatörlere gönderilir. Dearatörlerde oksijenin tamamı alındıktan sonra kazan besleme pompaları vasıtasıyla buhar kazanlarına 70 kg/cm^2 basınçta gönderilir. Kazanlarda bir kimyasal reaksiyon yanma olayı sonucu açığa çıkan ısı enerjisi, içinde su olan borulara iletilir. Önce buharlaşma, sonra kızdırma olayı gerçekleşir. Kızdırıcılarda elde edilen 442 derece ve 45 bar basınçtaki buhar sistem ana kollektörüne gönderilir. Buhar kazanlarında elde edilen 45 kg/cm^2 basınçta ve 442 derece sıcaklıktaki buhar, 8 adet buhar türbinine gönderilmektedir. Buhar türbinlerinde, buharın taşımış olduğu kinetik enerji türbinde (ısı makinesi) mekanik enerjiye (mil enerjisi) dönüştürülür. Bir buhar türbini genel olarak, yatak eksenine etrafında dönen türbin rotoru, bu rotor üzerine monte edilmiş ve rotor ile birlikte dönen hareketli kanatlar, türbin gövdesi, bu gövde üzerinde sabit kanat taşıyıcısı "stator" ve iş görmüş buharı yoğunlaştırmaya yarayan yoğunlaştırıcıdan oluşmaktadır.

Buhar türbinleri Kuvvet Santrali'nde iki temel görev için kullanılmaktadır. Türbin rotoruna bağlı jeneratör ile elektrik enerjisi üretmek ve yine türbin rotoruna bağlı hava üfleyici ile Yüksek Fırın Yanma Havası üretmektir. Elektrik üretimi ve dağıtımını ise Erdemir elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir kısmı toplam 115 MW (10+10+30+25+40) gücünde 5 adet buhar türbin jeneratör grubu ve toplam 80 MW (40+40)) gücünde 2 adet gaz türbin jeneratör grubu ile üretilmektedir. Elektrik sistemi iki ayrı sistem üzerinden TEİAŞ şebekesine bağlıdır. Eksik kalan ihtiyaç bu sistemler ile TEİAŞ'dan karşılanmaktadır. Kuvvet Santrali'ndeki beş adet ana bara ile Sıcak Haddehane'de üç, 2. Soğuk Haddehane'de iki adet bara, üniteleri besleyen ana kesicilerin bağlandığı başlıca dağıtım merkezleridir. Kuvvet Santrali'nde bulunan beş bara Buhar Türbin Jeneratör 1-2-3 ve Gaz Türbin Jeneratör 4-5 tarafından, 2. Sıcak Haddehane A, B ve C baraları ile 2. Soğuk Haddehane A ve B baraları ise 154/13,8 kV, 65 MVA'lık beş adet trafo tarafından beslenmektedir. Ayrıca 2 nolu Kuvvet Santrali barası ile Çelikhane Pota Isıtma (SMP) barasına TEİAŞ 66/13,8 kV ve 25 MVA'lık bir adet trafo ile beslenecek şekilde teçhiz edilmiş olup, SMP Tesisi alternatif olarak 2. Sıcak Haddehane C trafosundan beslenir. Türbin Jeneratör/Motor Hava Üfleyici tesisi Jeneratör olarak normal işletmede Kuvvet Santrali 2 nolu barayı beslemektedir. Alternatif olarak Kojen Barasına aktarılabilir [3].

Kuvvet Santralinde ayrıca yüksek fırınların proses havasını temin eden buhar türbini tahrikli 3 adet Turbo Hava Üfleyici ve elektrik motoru ve buhar türbini tahrikli 1 adet Turbo Jeneratör/Motor Hava Üfleyici, tüm tesislerin basınçlı hava ihtiyacını karşılayan 10 adet kompresörden oluşan Basınçlı Hava İstasyonu bulunmaktadır (Kimsesiz, 2003).

Buhar üretim kapasitesi; beş adet buhar kazanında 600 ton/saat, iki adet Kojenerasyon Tesisi'nde 160 ton/saat olmak üzere 760 ton/saat düzeyindedir. Ayrıca, Yüksek Fırınlara yanma havası sağlanmakta; fabrika genelinde ise, denizden soğutma suyu pompalanması, yangın şebekesi su sisteminin işletimi, basınçlı hava, kok gazı, yüksek fırın gazı, çelikhane gazı, doğal gaz ve diğer yakıt ihtiyaçlarının temini ve dağıtımı gibi hizmetler verilmektedir [3].

Çizelge 4.2 Enerji üretim ve dağıtım tesisleri teknik özellikleri

Buhar Kazanları	No: 1 ve 2	No: 3 ve 4	No: 5
Devreye Giriş	1965	1977	1994
Buhar Üretim Kapasitesi	102 ton/h	120 ton/h	160 ton/h
Buhar Basıncı	45,7 kg/cm ²	45,7 kg/cm ²	45 kg/cm ²
Buhar Sıcaklığı	443°C	443°C	443°C

Kojenerasyon Tesisi	No: 1	No: 2
Devreye Giriş	1997	1997
Elektrik Üretim Kapasitesi	39,515 MW	39,515 MW
Elektrik Gerilimi	13,8 kV	13,8 kV
Buhar Üretim Kapasitesi	20/61 ton/h	20/61 ton/h
Buhar Basıncı	14,5/45,7 kg/cm ²	14,5/45,7 kg/cm ²
Buhar Sıcaklığı	335/450°C	335/450°C

Turbo Jeneratörler	No: 1	No: 2	No: 3	No: 7
Devreye Giriş	1965	1965	1977	2007
Elektrik Üretim Kapasitesi	10 MW	10 MW	30 MW	40 MW
Elektrik Gerilimi	13,8 kV	13,8 kV	13,8 kV	13,8 kV

Turbo Hava Üfleyiciler	No: 1	No: 2	No: 3	No: 4
Devreye Giriş	1965	1977	1983	2000
Hava Üretim Kapasitesi	3095 Nm ³ /dk	3800 Nm ³ /dk	3700 Nm ³ /dk	3000 Nm ³ /dk
Hava Basıncı	2,1 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²
Elektrik Üretim Kapasitesi	-	-	-	25 MW
Elektrik Gerilimi	-	-	-	13,8 kV

Demineralize Su Tesisi	No: 1	No: 2
Devreye Giriş	1992	1998
Su Üretim Kapasitesi	300 ton/h	15 ton/h

Basınçlı Hava Sistemi	<u>Pst. Kom(1-2)</u>	<u>T. Komp(1)</u>	<u>T. Komp(1-2)</u>	<u>T.Komp.(1,2,3,4,5)</u>
Güç	250 HP	700 HP	952/1033 HP	1630/1360 HP
Hava Üretim Kapasitesi	1842 Nm ³ /h	4364 Nm ³ /h	5819 Nm ³ /h	10000 Nm ³ /h

Tuzlu Su Tesisi	No: 1,2 ve 3	No: 4 ve 6	No: 5 ve 7
Devreye Giriş	1965	1978	2006
Su Üretim Kapasitesi	6350 m ³ /s	6350 m ³ /s	10000 m ³ /s
Su Basıncı	1,8 kg/cm ²	1,8 kg/cm ²	1,8 kg/cm ²
Güç	600 HP	600 HP	1000 HP

Yangın Suyu Pompaları	No: 1ve 2 Büyük	No: 1 ve 2 Jokey
Su Üretim Kapasitesi	227 m ³ /s	45 m ³ /s

Gaz Dağıtımı		
Desülfirize Kok Gazı Tesisi	No: 1	No: 2
Devreye Giriş	1982	1993
Proses Tipi	Stertford	Stertford
Gaz Üretim Kapasitesi	400 Nm ³ /s	400 Nm ³ /s
Kompresör Sayısı	2 adet	2 adet
Gaz Üretim Basıncı	5 kg/cm ²	5 kg/cm ²
Gaz Depoları	Çelikhane Gazı	YF Gazı II
Gaz Deposu Tipi	Kuru	Kuru
Devreye Giriş	1995	1995
Gaz Depolama	40.000 m ³	40.000 m ³
Çalışma Basıncı	20 g/cm ²	20 g/cm ²
Maksimum Gaz Sıcaklığı	70 °C	30 °C

ERDEMİR Elektrik Üretim ve Dağıtım sistemi, Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketine (TEAŞ) 3 ayrı trafo merkezi ile bağlanmıştır (Uyar, 2000):

TM1 : 3 adet 154/13.8 kV, 50/65MVA Trafolar

TM2 : 2 adet 154/13.8 kV, 50/65 MVA Trafolar

TM3 : 2 adet 66/13.8 kV, 20/25 MVA Trafolar

Elektrik enerjisi dağıtımı toplam 400 adet 13.8 kV kesici, 256 adet 2.4 kV ve 1500 adet 0.4 kV kesici ile sağlanmaktadır (Uyar, 2000).

Diğer taraftan, yan ürün gaz yakıtların üretildikleri ünitelerden toplanarak depolanması ve dağıtılması, doğal gazın BOTAŞ'a ait Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonundan, basınçlı hava ve proses buharının Kuvvet Santralinden itibaren tüm tesislere dağıtımının yapılması görevi Enerji Üretim ve Dağıtım Müdürlüğü organizasyonunda yer alan Gaz Dağıtım Baş Mühendisliği tarafından yürütülmektedir.

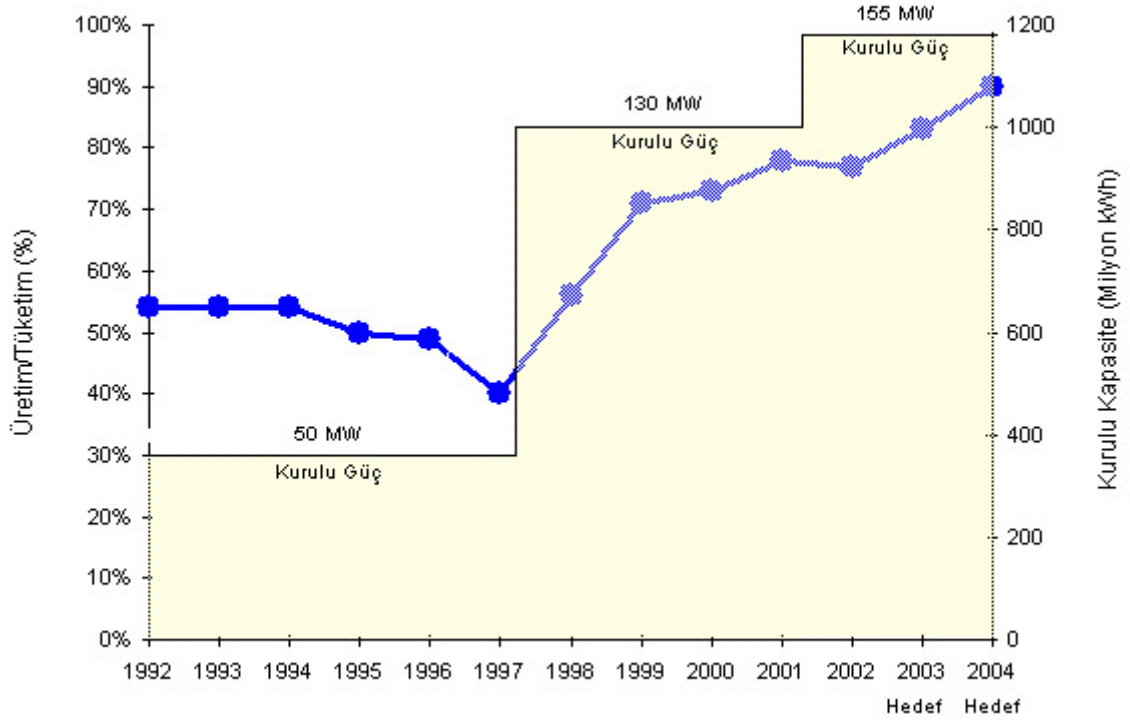
ERDEMİR'in elektrik enerjisi 2002 yılı fiili ve 2003 yılı program verileri aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.3 ERDEMİR'in elektrik enerjisi 2002 yılı fiili ve 2003 yılı program verileri

	2002 Yılı	2003 Yılı (Program)
Toplam Üretim Kapasitesi (kWh/yıl)	1 200 000 000	1 200 000 000
Toplam Üretim (kWh)	947 401 484	1 054 230 000
Toplam Tüketim (kWh)	1 226 053 754	1 266 000 000
Üretimin Tüketimi Karşılama Oranı (%)	77,3	83,3
TEİAŞ'a Satılan (kWh)	35 767 230	28 230 000
TEİAŞ'tan Satın Alınan (kWh)	314 419 500	240 000 000

4.3 Elektrik Enerjisi Üretim-Tüketim Dengesi

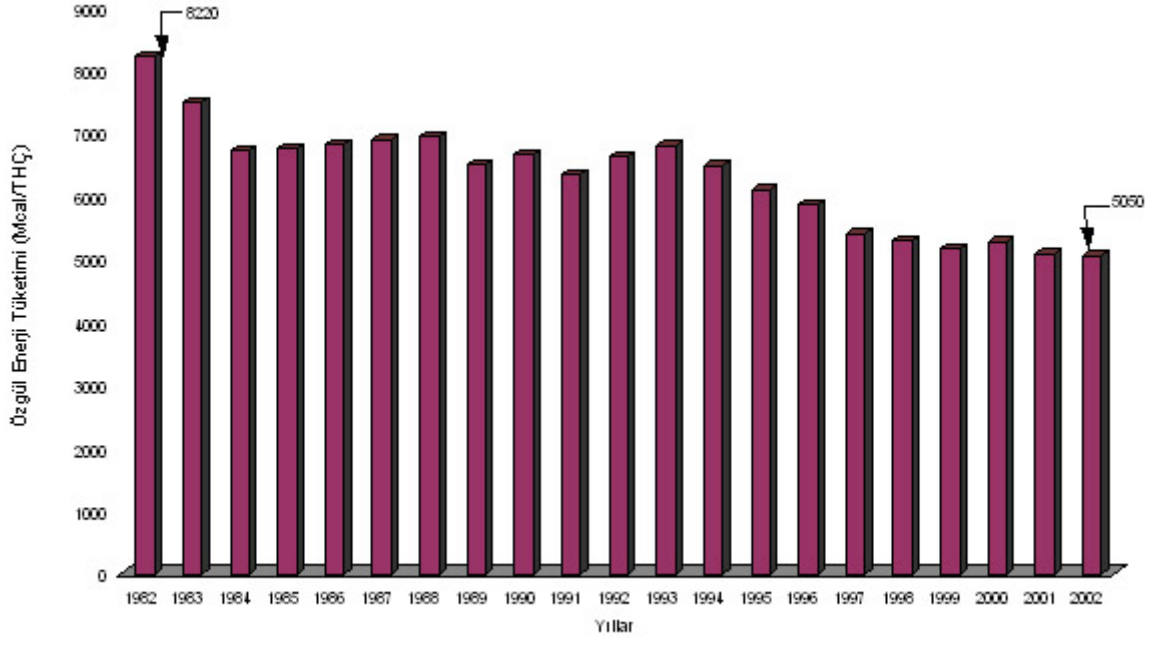
Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi tüketiminde yaklaşık %1 oranında payı bulunan ERDEMİR'in, TEİAŞ'ın Ulusal Elektrik Enerjisi Sistemi ile elektrik enerjisi bağlantı şeması Şekil 4.2'de sunulmuştur. 2001 yılında devreye alınan son tesisle ERDEMİR'in yıllık elektrik enerjisi üretim kapasitesi 1.200.000.000 kWh'e ulaşmıştır. Bu kapasite ile ERDEMİR'in yaklaşık 1.200.000.000 kWh olan toplam tüketim ihtiyacı teorik olarak sağlanmış olmaktadır. Bununla beraber ERDEMİR'in darbeleri yüklerinin karşılanması gereği ve güvenlik nedenleriyle, otoprodüktör statüde bağlı olduğu TEİAŞ Ulusal Sisteminden elektrik enerjisi satın alma mecburiyeti devam etmektedir. ERDEMİR'in elektrik enerjisi üretiminin tüketimi karşılama oranının yıllara göre değişimi, kurulu gücün gelişimine bağlı olarak Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Elektrik enerjisi kapasite ve üretimin tüketimi karşılama oranının değişimi
(Kimsesiz, 2003)

4.4 Enerji Verimliliğinin İzlenmesi

1982 yılından beri yürütülen enerji tasarrufu ve verimliliğini artırma çalışmalarında, ölçme ve izleme parametresi olarak, 1 ton ham çelik üretimi için harcanan toplam enerji miktarını gösteren Özgül Enerji Tüketim Değeri esas alınmıştır. Bu parametre; ERDEMİR'in tüm üretim hatlarında harcadığı birincil enerjilerin toplamının (Mcal veya Gjoule), Sürekli Dökümlerin çıkışındaki slab üretimi olan ham çelik miktarına (THÇ) bölünmesiyle elde edilmektedir. Tüm dünyada gelişmiş demir çelik tesislerinde benzer modeller kullanılmaktadır. Bu model ile ERDEMİR'in yaklaşık 20 yıllık enerji envanteri ve gelişim kayıtları, Yardımcı İşletmeler Baş Müdürlüğü organizasyonu içinde yer alan Enerji Yöneticiliği birimi tarafından tutulmaktadır. Bu kayıtlar ve geri besleme bilgileri, Enerji Yöneticiliği'nin liderliğinde ve tüm ünite temsilcilerinden kurulu ERDEMİR Enerji Komisyonu tarafından değerlendirilerek gerekli iyileştirme çalışmaları sürekli gündemde tutulmakta, finansman teminine bağlı olarak uygulama projeleri hayata geçirilmektedir. Modelin uygulanmaya başladığı 1982 yılından bugüne Özgül Enerji Tüketim Değerinde %39 iyileşme temin edilmiştir. Bu performansın eğilimi Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.4 Yıllara göre özgül enerji tüketimi eğilimi (Kimsesiz, 2003)

5. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

Kuvvet Santralinin ayrıntılı akış şeması Ek 1’de verilmiştir ve bu şemaya ait akım değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Kuvvet santrali akım değerleri

Akım no	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)
1a	Yüksek Fırın Gazı	13,11	298,15	1,05
1b	Kok Gazı	0,71	298,15	1,02
1c	Fuel Oil	1,67	353,15	9,01
1d	Katran	1,67	353,15	9,01
2a	Yüksek Fırın Gazı	13,11	298,15	1,05
2b	Kok Gazı	0,71	298,15	1,02
2c	Fuel Oil	1,67	353,15	9,01
2d	Katran	1,67	353,15	9,01
3a	Doğalgaz	2,10	298,15	1,05
3b	Yüksek Fırın Gazı	37,47	298,15	1,02
3c	Kok Gazı	0,65	298,15	1,15
3d	Fuel Oil	2,54	353,15	9,01
4a	Doğalgaz	2,10	298,15	1,05
4b	Yüksek Fırın Gazı	37,47	298,15	1,02
4c	Kok Gazı	0,65	298,15	1,15
4d	Fuel Oil	2,54	353,15	9,01
5a	Doğalgaz	1,69	298,15	1,04
5b	Yüksek Fırın Gazı	54,41	298,15	1,03
5c	Kok Gazı	1,25	298,15	1,08
5d	Fuel Oil	1,97	353,15	9,01
6	Doğal gaz	2,70	298,15	19,50
7	Doğal gaz	2,70	298,15	19,50
8	Hava	42,74	298,15	1,09
9	Hava	42,74	298,15	1,09
10	Hava	131,98	298,15	1,09
11	Hava	131,98	298,15	1,09
12	Hava	71,01	298,15	1,09
13a	Hava	135,83	293,15	1,01
13b	Hava	135,83	598,15	12,16
14a	Hava	135,83	293,15	1,01
14b	Hava	135,83	598,15	12,16
15a	Hava	68,00	298,15	0,99
15b	Hava	68,00	428,15	3,44
16a	Hava	70,00	298,15	0,99
16b	Hava	70,00	428,15	3,44
17a	Hava	64,00	298,15	0,99
17b	Hava	64,00	448,15	3,44
18a	Hava	52,00	298,15	0,99
18b	Hava	52,00	416,15	3,21
19	Baca gazı	58,23	473,15	1,03
20	Baca gazı	58,23	473,15	1,03
21	Baca gazı	174,74	453,15	1,03

Çizelge 5.1 Kuvvet santrali akım değerleri(devam)

Akım no	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)
22	Baca gazı	174,74	453,15	1,03
23	Baca gazı	130,33	453,15	1,03
24a	Yanma gazı	138,53	1377,15	10,00
24b	Yanma gazı	138,53	813,15	1,01
24c	Egzost gazı	138,53	387,15	1,01
25a	Yanma gazı	138,53	1377,15	10,00
25b	Yanma gazı	138,53	813,15	1,01
25c	Egzost gazı	138,53	387,15	1,01
26	Su	27,78	293,15	3,50
27	Su	27,78	293,15	4,00
28a	Su	27,78	363,15	3,50
28b	Su	27,78	363,15	3,50
29a	Su	106,94	383,15	3,50
29b	Su	106,94	383,15	56,01
30	Su	28,33	383,15	56,01
31	Su	28,33	383,15	56,01
32	Su	38,89	383,15	56,01
33	Su	38,89	383,15	56,01
34	Su	58,33	383,15	56,01
35a	Su	13,89	383,15	45,00
35b	Su	6,94	383,15	14,00
36a	Su	13,89	383,15	45,00
36b	Su	6,94	383,15	14,00
37	Buhar	28,33	716,15	45,00
38	Buhar	28,33	716,15	45,00
39	Buhar	38,89	716,15	45,00
40	Buhar	38,89	716,15	45,00
41	Buhar	58,33	718,15	45,00
42a	Buhar	13,89	716,15	45,00
42b	Buhar	13,89	603,15	14,00
43a	Buhar	18,28	714,15	45,00
43b	Buhar	18,28	312,15	0,07
43c	Su	18,28	308,15	0,07
44a	Buhar	22,22	713,70	45,00
44b	Buhar	22,22	312,15	0,07
44c	Su	22,22	308,15	0,07
45a	Buhar	27,78	713,70	45,00
45b	Buhar	27,78	312,15	0,07
45c	Su	27,78	308,15	0,07
46a	Buhar	9,72	713,70	45,00
46b	Buhar	9,72	312,15	0,07
46c	Su	9,72	308,15	0,07
47a	Buhar	20,00	713,70	45,00
47b	Buhar	10,00	603,15	14,00
47c	Buhar	10,00	312,15	0,07
47d	Su	10,00	308,15	0,07
48a	Buhar	20,00	713,70	45,00
48b	Buhar	10,00	603,15	14,00
48c	Buhar	10,00	312,15	0,07
48d	Su	10,00	308,15	0,07
49a	Buhar	61,11	713,70	45,00
49b	Buhar	36,11	603,15	14,00
49c	Buhar	25,00	312,15	0,07
49d	Su	25,00	308,15	0,07
50a	Buhar	38,89	713,70	45,00

Çizelge 5.1 Kuvvet santrali akım değerleri(devam)

Akım no	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)
50b	Buhar	38,89	312,15	0,07
50c	Su	38,89	308,15	0,07
51a	Buhar	22,22	716,15	45,00
51b	Buhar	22,22	603,15	14,00
52	Buhar	13,89	713,70	45,00
53	Buhar	13,89	713,70	45,00
54	Su	69,44	308,15	3,50
55	Buhar	6,94	603,15	14,00
56	Buhar	6,94	603,15	14,00
57a	Buhar	4,86	603,15	14,00
57b	Buhar	4,86	503,15	0,70
58a	Buhar	4,86	603,15	14,00
58b	Buhar	4,86	503,15	0,70
59	Buhar	9,72	503,15	0,70
60	Buhar	4,86	473,15	1,08
61	Buhar	36,11	603,15	14,00
62a	Tuzlu Su	1055,56	298,15	0,81
62b	Tuzlu Su	1055,56	308,15	1,75
63a	Tuzlu Su	1283,33	298,15	0,81
63b	Tuzlu Su	1283,33	308,15	1,75
64a	Tuzlu Su	833,33	298,15	0,81
64b	Tuzlu Su	833,33	308,15	1,75
65a	Tuzlu Su	561,11	298,15	0,81
65b	Tuzlu Su	561,11	308,15	1,75
66a	Tuzlu Su	577,78	298,15	0,81
66b	Tuzlu Su	577,78	308,15	1,75
67a	Tuzlu Su	577,78	298,15	0,81
67b	Tuzlu Su	577,78	308,15	1,75
68a	Tuzlu Su	1444,44	298,15	0,81
68b	Tuzlu Su	1444,44	308,15	1,75
69a	Tuzlu Su	2247,22	298,15	0,81
69b	Tuzlu Su	2247,22	308,15	1,75

Yapılan ekserji analizi hesaplamalarında standart çevre koşulları $T_0 = 25^\circ\text{C} = 298.15\text{ K}$ ve $P_0 = 1\text{ atm} = 1.01325\text{ bar}$ olarak alınmıştır. Standart kimyasal ekserji değerleri Bejan'ın standart molar kimyasal ekserji tablosunda Model II'den alınmıştır (Bejan vd.,1996). Yüksek fırın gazı, kok gazı, fuel oil, katran, doğal gaz ve havanın mol kesri ve standart molar kimyasal ekserji değerleri sırasıyla Çizelge 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Yüksek fırın gazı bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

Madde	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O _(g)
(%)	3,00	50,00	25,00	20,00	2,00
e_{km} (kJ/kmol)	331300	720	275100	19870	9500

Çizelge 5.3 Kok gazı bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

Madde	H ₂	O ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ S	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆
(%)	67,00	0,20	8,60	2,80	16,20	0,20	2,00	3,00
e_{km} (kJ/kmol)	331300	233700	275100	19870	831650	812000	1361100	2003900

Çizelge 5.4 Fuel oil bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

Madde	C	H ₂	N ₂
(%)	63,00	36,00	1,00
e_{km} (kJ/kmol)	410260	236100	720

Çizelge 5.5 Katran bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

Madde	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	H ₂ O
(%)	54,60	44,07	0,08	0,15	0,62	0,48
e_{km} (kJ/kmol)	410260	236100	233700	720	609600	9500

Çizelge 5.6 Doğal gaz bileşimi ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

Madde	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₃ H ₆
(%)	0,40	0,70	0,13	97,10	1,67
e_{km} (kJ/kmol)	233700	720	19870	831650	2003900

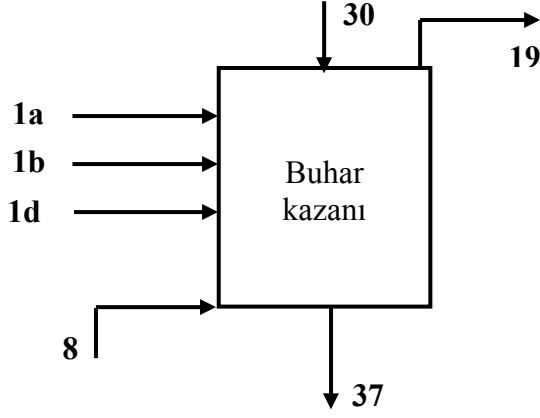
Çizelge 5.7 Havanın mol kesri ve standart molar kimyasal ekserjileri (Bejan vd.,1996)

	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O _(g)
x	0,7748	0,2059	0,0003	0,019
e_{km} (kJ/kmol)	720	3970	19870	9500

5.1 Buhar Kazanları için Yapılan Hesaplamalar

1 nolu buhar kazanına 1a, 1b ve 1c akımlarından yakıtlar girerek 8 numaralı akımdan çevre şartlarında giren kuru hava ile yanarak 19 numaralı akım ile baca gazı olarak sistemi terkederken, 30 numaralı akımla giren su sistemden 37 numaralı akım ile buhar şeklinde

ayrılır. Yakıtlarda 1c ve 1d akımlarından fuel oil veya katrandan biri tercih edilmektedir. Hesaplamalarda katran kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Buhar kazanı (1 nolu) akım şeması

Buhar kazanı için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b} + \dot{m}_{1d} + \dot{m}_8 + \dot{m}_{30} = \dot{m}_{19} + \dot{m}_{37} \quad (5.1)$$

$$E_{1a} + E_{1b} + E_{1d} + E_8 + E_{30} = E_{19} + E_{37} \quad (5.2)$$

$$\Xi_{1a} + \Xi_{1b} + \Xi_{1d} + \Xi_8 + \Xi_{30} = \Xi_{19} + \Xi_{37} \quad (5.3)$$

$$\Xi_T = \Xi_{1a} + \Xi_{1d} + \Xi_{1c} + \Xi_8 + \Xi_{30} - \Xi_{19} - \Xi_{37} \quad (5.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\Xi_{37} - \Xi_{30}}{\Xi_{1a} + \Xi_{1b} + \Xi_{1d} + \Xi_8 - \Xi_{19}} \quad (5.5)$$

$$\eta = \frac{E_{37} - E_{30}}{E_{1a} + E_{1b} + E_{1d} + E_8 - E_{19}} \quad (5.6)$$

$$G_{pot} = \Xi_T * (1 - \varepsilon) \quad (5.7)$$

Yukarıdaki 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7 denklemler ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8'de gösterilmiştir. Ayrıca 2, 3, 4 ve 5 nolu buhar kazanları için de benzer hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları sırasıyla Çizelge 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 1 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.9 2 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.10 3 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklilikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.11 4 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

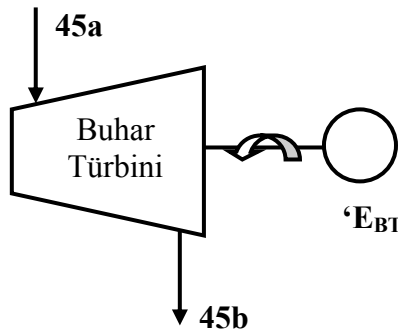
Çizelge 5.12 5 nolu buhar kazanı enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
5a	1,69	298,15	1,04	72883,09	184,33	0,14	85,30	85,44	94,39
5b	54,41	298,15	1,03	105418,96	204,10	0,09	139,01	139,10	279,74
5c	1,25	298,15	1,08	31057,20	149,87	0,51	53,22	53,73	57,50
5d	1,97	353,15	9,01	920,78	52,09	0,64	84,13	84,77	84,79
12	71,01	298,15	1,09	753,32	197,41	0,46	0,18	0,64	1,87
34	58,33	383,15	56,01	8294,35	25,51	2,50	2,91	5,41	26,86
Toplam Giren	186,66							369,09	545,15

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
23	130,33	453,15	1,03	71915,76	214,75	2,44	12,48	14,92	300,36
41	58,33	718,15	45,00	61145,09	125,39	77,21	30,76	107,97	197,99
Kayıp								246,20	46,80
Toplam Çıkan	186,66							369,09	545,15

5.2 Buhar Türbinleri için Yapılan Hesaplamalar

4 nolu buhar türbinine yüksek basınçlı buhar (45a nolu akım) girer ve düşük basınçlı buhar (45b akımı) olarak sistemden ayrılırken, jeneratörü döndür ve elektrik üretir. Çıkan düşük basınçlı buhar yoğuşturucuda tuzlu su ile yoğuşturulur ve demineralize su tesisine gönderilir. 4 nolu buhar türbininin akım şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Buhar türbini (4 nolu) akım şeması

Buhar türbini için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklıkları, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{45a} = \dot{m}_{45b} \quad (5.8)$$

$$E_{45a} = E_{45b} + E_{BT} \quad (5.9)$$

$$\Xi_{45a} = \Xi_{45b} + E_{BT} \quad (5.10)$$

$$\Xi_T = \Xi_{45a} - \Xi_{45b} - E_{BT} \quad (5.11)$$

$$\mathcal{E} = \frac{{}'E_{BT}}{\overline{\Xi}_{45a} - \overline{\Xi}_{45b}} \quad (5.12)$$

$$\eta = \frac{{}^{\prime}E_{BT}}{E_{45a} - E_{45b}} \quad (5.13)$$

$$G_{pot} = \Xi_T^* (1 - \varepsilon) \quad (5.14)$$

Yukarıdaki 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14 denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13’de verilmiştir. Ayrıca 1, 2, 3, 5, 6, 7 ve 8 nolu buhar türbinleri için de benzer hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 ve 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 4 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklilikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.14 1 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.15 2 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.16 3 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.17 5 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.18 6 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.19 7 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

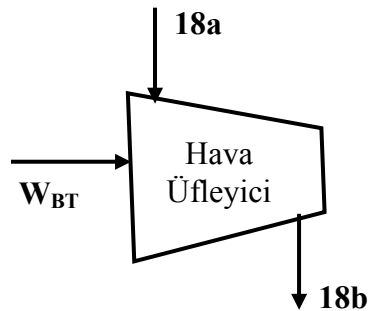
Çizelge 5.20 8 nolu buhar türbini enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
50a	38,89	713,70	45,00	60970,81	125,14	51,24	1,94	53,18	131,58
Toplam Giren	38,89							53,18	131,58

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
50b	38,89	312,15	0,07	46314,59	149,08	4,21	1,94	6,15	99,95
Elektrik üretimi								30,00	30,00
Kayıp								17,03	1,63
Toplam Çıkan	38,89							53,18	131,58

5.3 Hava Üfleyicileri için Yapılan Hesaplamalar

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi 1 nolu hava üfleyiciye 18a nolu akımdan giren hava 18b akımı ile sistemden çıkmaktadır. 1 nolu buhar türbininden elde edilen güç hava üfleyicide kullanılmaktadır.

**Şekil 5.3** Hava üfleyici (1 nolu) akım şeması

Çizelge 5.22 2 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.23 3 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

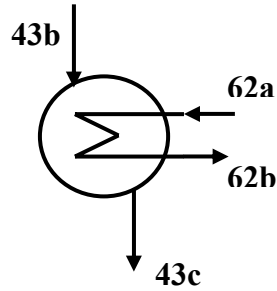
Çizelge 5.24 4 nolu hava üfleyici enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
17a	64,00	298,15	0,99	753,32	198,24	-0,14	0,16	0,03	1,68
Güç								11,00	11,00
Toplam Giren	64,00							11,03	12,68

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
17b	64,00	448,15	3,44	5217,77	199,97	8,68	0,16	8,85	11,66
Kayıp								2,18	1,02
Toplam Çıkan	64,00							11,03	12,68

5.4 Yoğuşturucular için Yapılan Hesaplamalar

Buhar türbininden çıkan buhar 43b akımı ile yoğuşturucuya girer ve 43c akımı ile çıkar. Soğutucu olarak deniz suyu kullanılır. Tuzlu su yoğuşturucuya 62a akımı ile girer ve ısınarak 62b akımı ile sistemi terkeder.

**Şekil 5.4** Yoğuşturucu (1 nolu) akım şeması

Yoğuşturucu için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.26 2 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklilikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.27 3 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.28 4 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklilikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.29 5 nolu yoğunlaştırıcının enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.30 6 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklilikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.31 7 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

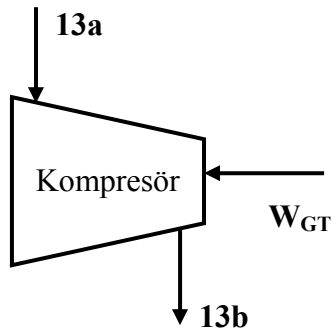
Çizelge 5.32 8 nolu yoğuşturucunun enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
50b	38,89	312,15	0,07	46314,59	149,20	4,13	1,94	6,07	99,98
69a	2247,22	298,15	0,81	1888,60	6,65	0,00	113,12	113,12	235,27
Toplam Giren	2286,11							119,19	335,25

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
50c	38,89	308,15	0,07	2645,48	9,11	0,03	1,94	1,97	5,71
69b	2247,22	308,15	1,75	2644,92	9,15	1,62	113,12	114,74	329,49
Kayıp								2,48	0,05
Toplam Çıkan	2286,11							119,19	335,25

5.5 Kompresörler için Yapılan Hesaplamalar

Kompresöre 13a akımı ile giren ve 13b akımı ile çıkan hava sıkıştırılarak yanma odasına gönderilir. Gaz türbininde elde edilen güç (W_{GT}) kompresöre iletilir.

**Şekil 5.5** Kompresör (1 nolu) akım şeması

Kompresör için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

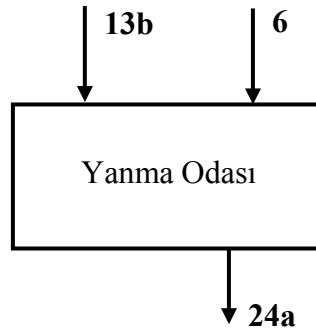
Çizelge 5.34 2 nolu kompresörün enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
14a	135,83	293,15	1,01	144,32	197,55	0,00	0,34	0,34	0,68
Güç								55,00	55,00
Toplam Giren	135,83							55,34	55,68

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
14b	135,83	608,15	12,16	9449,78	198,98	43,46	0,34	43,80	44,80
Kayıp								11,54	10,88
Toplam Çıkan	135,83							55,34	55,68

5.6 Yanma Odaları için Yapılan Hesaplamalar

6 nolu doğalgaz akımı kompresörden gelen sıkıştırılmış hava akımı (13b) ile yanar ve yanma odasından yanma gazı olarak ayrılır.

**Şekil 5.6** Yanma odası (1 nolu) akım şeması

Yanma odası için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

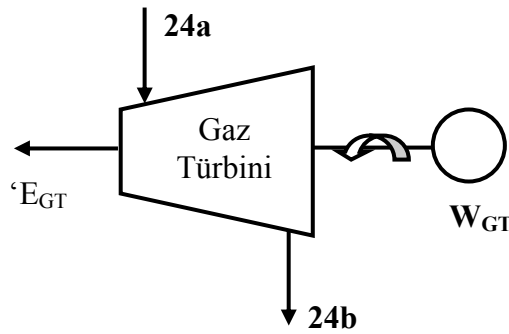
Çizelge 5.36 2 nolu yanma odasının enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
14b	135,83	608,15	12,16	9449,78	198,98	43,46	0,34	43,80	44,80
7	2,70	298,85	19,50	73121,02	164,48	1,15	136,22	137,37	161,85
Toplam Giren	138,53							181,17	206,65

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
25a	138,53	1377,15	10,00	38284,35	226,30	131,83	2,07	133,90	187,68
Kayıp								47,27	18,97
Toplam Çıkan	138,53							181,17	206,65

5.7 Gaz Türbinleri için Yapılan Hesaplamalar

1 nolu gaz türbinine 24a nolu akımdan yüksek basınçlı yanma gazı girer ve 24b akımı ile düşük basınçlı yanma gazı sistemden ayrılırken jeneratörü döndürerek elektrik üretir. Çıkan yanma gazı atık ısı kazanına gönderilmektedir. 1 nolu gaz türbinin akım şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Gaz türbini (1 nolu) akım şeması

Gaz türbini için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{24a} = \dot{m}_{24b} \quad (5.43)$$

$$E_{24a} = E_{24b} + W_{GT} + E_{GT} \quad (5.44)$$

$$\Xi_{24a} = \Xi_{24b} + W_{GT} + E_{GT} \quad (5.45)$$

$$\Xi_T = \Xi_{24a} - \Xi_{25b} - W_{GT} - E_{GT} \quad (5.46)$$

$$\varepsilon = \frac{W_{GT} + E_{GT}}{\Xi_{24a} - \Xi_{24b}} \quad (5.47)$$

$$\eta = \frac{W_{GT} + E_{GT}}{E_{24a} - E_{24b}} \quad (5.48)$$

$$G_{pot} = \Xi_T * (1 - \varepsilon) \quad (5.49)$$

Gaz türbinine giren yanma gazının mol kesri ve standart molar kimyasal ekserjileri Çizelge 5.37’de verilmiştir. Yukarıdaki 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47, 5.48 ve 5.49 denklemleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.38’de verilmiştir. Ayrıca 2 nolu gaz türbini için de benzer hesaplamalar yapılarak sonuçlar Çizelge 5.39’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.37 Yanma gazının mol kesri ve standart molar kimyasal ekserjileri

	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O _(g)
x	0,7507	0,1372	0,0314	0,0807
e_{km} (kJ/kmol)	720	3970	19870	9500

Çizelge 5.38 1 nolu gaz türbini enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

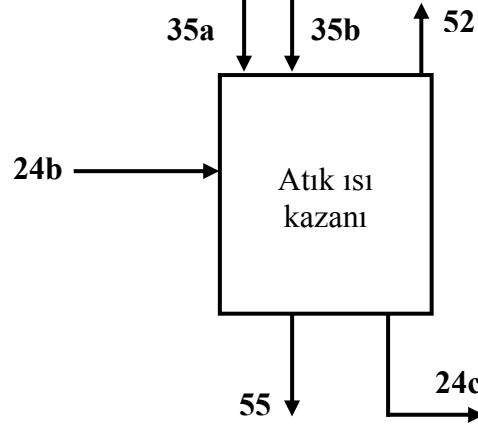
Çizelge 5.39 2 nolu gaz türbini enerji ve ekserji denklikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
25a	138,53	1377,15	10,00	38284,35	226,30	131,83	2,07	133,91	187,70
Toplam Giren	138,53							133,91	187,70

[illegible]

5.8 Atık Isı Kazanları için Yapılan Hesaplamalar

1 nolu atık ısı kazanına 24b akımı ile yanma gazı ve 35 nolu akımla su girerek 52 ve 55 nolu akımlarla buhar ve 24c akımı ile egzost gazı kazandan çıkar. Egzost gazı atık olarak dışarı verilir.



Şekil 5.8 Atık ısı kazanı (1 nolu) akım şeması

Atık ısı kazanı için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimliliği ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{24b} + \dot{m}_{35a} + \dot{m}_{35b} = \dot{m}_{24c} + \dot{m}_{52} + \dot{m}_{55} \quad (5.50)$$

$$E_{24b} + E_{35a} + E_{35b} = E_{24c} + E_{52} + E_{55} \quad (5.51)$$

$$\Xi_{24b} + \Xi_{35a} + \Xi_{35b} = \Xi_{24c} + \Xi_{52} + \Xi_{55} \quad (5.52)$$

$$\Xi_T = \Xi_{24b} + \Xi_{35a} + \Xi_{35b} - \Xi_{24c} - \Xi_{52} - \Xi_{55} \quad (5.53)$$

$$\varepsilon = \frac{\Xi_{35a} - \Xi_{52} + \Xi_{35b} - \Xi_{55}}{\Xi_{24b} - \Xi_{24c}} \quad (5.54)$$

$$\eta = \frac{E_{35a} - E_{52} + E_{35b} - E_{55}}{E_{24b} - E_{24c}} \quad (5.55)$$

$$G_{pot} = \Xi_T * (1 - \varepsilon) \quad (5.56)$$

Yukarıdaki 5.50, 5.51, 5.52, 5.53, 5.54 ve 5.55 denklemleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.40'da verilmiştir. Ayrıca 2 nolu atık ısı kazanı için de benzer hesaplamalar yapılarak sonuçlar Çizelge 5.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.40 1 nolu atık ısı kazanı enerji ve ekserji denklilikleri

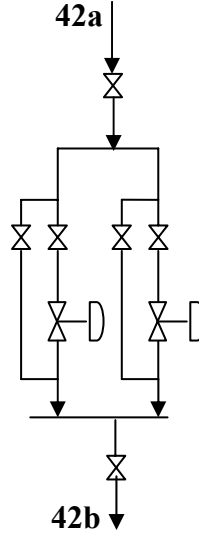
[illegible][illegible]

Çizelge 5.41 2 nolu atık ısı kazanı enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

5.9 Basınç Düşürme İstasyonları için Yapılan Hesaplamalar

1 nolu basınç düşürme istasyonuna 42a akımı ile gelen basınçlı buhar vanalarda genişleyerek düşük basınçlı buhar olarak istasyonu 42b akımı ile terk eder.



Şekil 5.9 Basınç düşürme istasyonu (1 nolu) akım şeması

Basınç düşürme istasyonu için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{42a} = \dot{m}_{42b} \quad (5.57)$$

$$E_{42a} = E_{42b} \quad (5.58)$$

$$\Xi_{42a} = \Xi_{42b} \quad (5.59)$$

$$\Xi_T = \Xi_{42a} - \Xi_{42b} \quad (5.60)$$

$$\varepsilon = \frac{\Xi_{42b}}{\Xi_{42a}} \quad (5.61)$$

$$\eta = \frac{E_{42b}}{E_{42a}} \quad (5.62)$$

$$G_{pot} = \Xi_T * (1 - \varepsilon) \quad (5.63)$$

Yukarıdaki 5.56, 5.57, 5.58, 5.59, 5.60, 5.61 ve 5.62 denklemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.42’de verilmiştir. Ayrıca 2, 3 ve 4 nolu basınç düşürme istasyonları için de benzer hesaplamalar yapılarak sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.43, 5.44 ve 5.45’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.42 1 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.43 2 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

Çizelge 5.44 3 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri

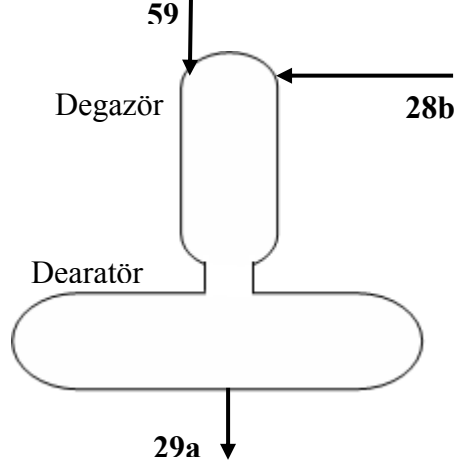
[illegible][illegible]

Çizelge 5.45 4 nolu basınç düşürme istasyonu enerji ve ekserji denklikleri

[illegible][illegible]

5.10 Degazör & Dearatör için Yapılan Hesaplamalar

Isıtma tankından çıkan su transfer pompası ile degazöre gelir. 54 numaralı akımla su ve 59 numaralı akımla buhar degazöre girer. 29a numaralı akımla su dearatörü terk eder.



Şekil 5.10 Degazör & dearatör akım şeması

Degazör & dearatör için enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir. Sırasıyla kütle, enerji ve ekserji denklilikleri, ekserji tahribi, ekserji ve enerji verimi ve geliştirme potansiyeli denklemleri gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{28b} + \dot{m}_{59} = \dot{m}_{29a} \quad (5.64)$$

$$E_{28b} + E_{59} = E_{29a} \quad (5.65)$$

$$\Xi_{28b} + \Xi_{59} = \Xi_{29a} \quad (5.66)$$

$$\Xi_T = \Xi_{28b} + \Xi_{59} - \Xi_{29a} \quad (5.67)$$

$$\varepsilon = \frac{\Xi_{29a}}{\Xi_{28b} + \Xi_{59}} \quad (5.68)$$

$$\eta = \frac{E_{29a}}{E_{28b} + E_{59}} \quad (5.69)$$

$$G_{pot} = \Xi_T * (1 - \varepsilon) \quad (5.70)$$

Yukarıdaki 5.63, 5.64, 5.65, 5.66, 5.67, 5.68 ve 5.69 denklemleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.46'da verilmiştir.

Çizelge 5.46 Degazör & dearatör enerji ve ekserji denklilikleri

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
28b	27,78	363,15	3,50	6780,08	21,45	0,72	1,39	2,11	10,45
59	9,72	503,15	0,70	52976,50	146,51	5,06	0,49	5,55	28,57
54	69,44	308,15	3,50	2654,48	9,11	0,05	3,47	3,52	10,20
Toplam Giren	106,94							11,18	49,22

Akım no	$\dot{m}$ (kg/s)	T (K)	P (bar)	H (kJ/kmol)	S (kJ/kmol.K)	Ξ_f (MW)	Ξ_{km} (MW)	Ξ (MW)	E (MW)
29a	106,94	383,15	3,50	8294,35	25,51	4,59	5,34	9,93	49,22
Kayıp								1,25	0,01
Toplam Çıkan	106,94							11,18	49,22

Birimlerin daha önce ilgili bölümlerde verilen denklemler kullanılarak hesaplanan Ξ_T , ϵ , G_{pot} ve η değerleri, Çizelge 5.47’de toplu bir şekilde verilmektedir.

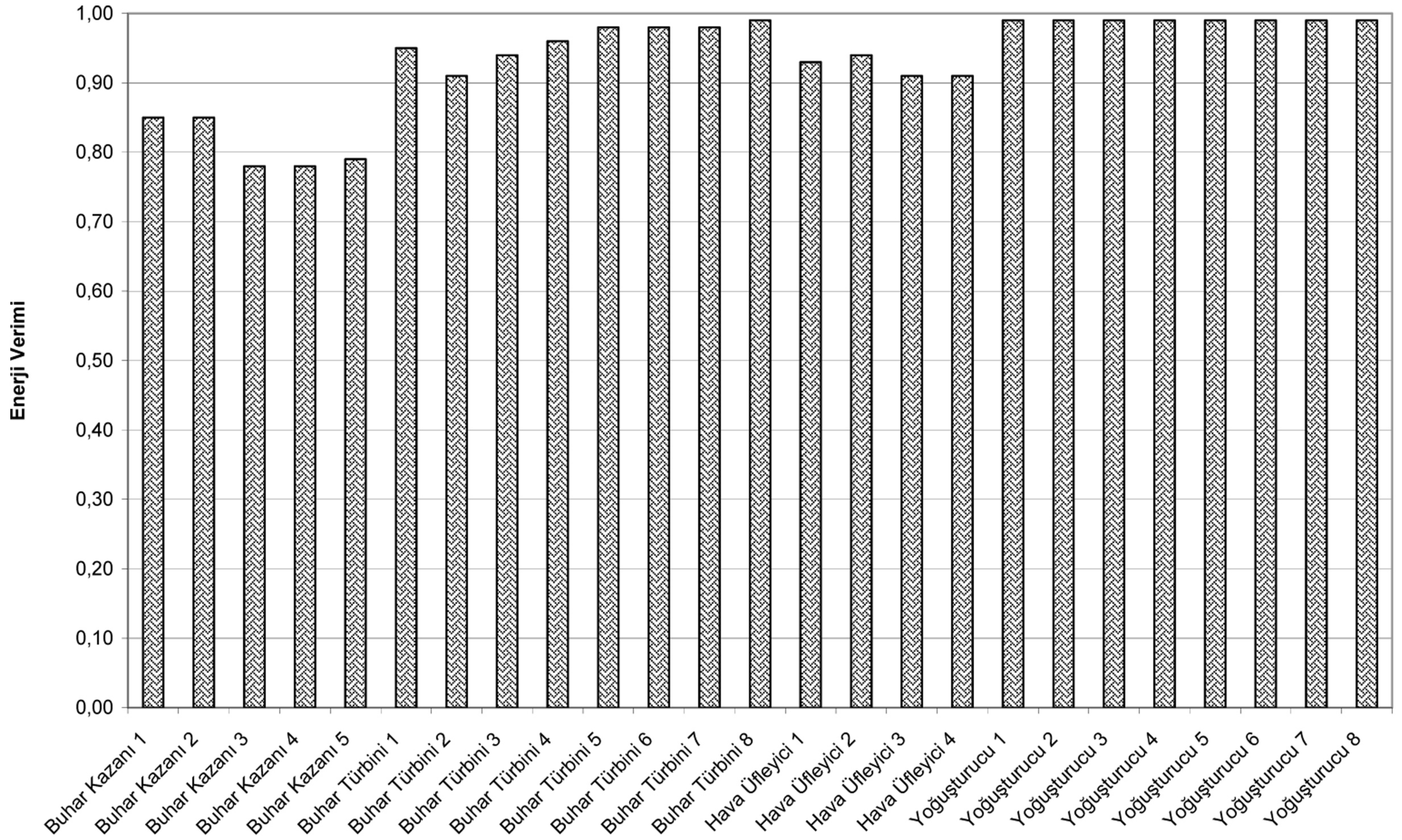
Çizelge 5.47 Her birim için hesaplanan Ξ_T , ϵ , G_{pot} ve η değerleri

Birimler	Ξ_T (MW)	ϵ	G_{pot} (MW)	η
Buhar Kazanı 1	89,57	0,29	71,56	0,85
Buhar Kazanı 2	89,57	0,29	71,56	0,85
Buhar Kazanı 3	253,21	0,21	199,44	0,78
Buhar Kazanı 4	253,21	0,21	199,44	0,78
Buhar Kazanı 5	246,20	0,29	173,80	0,79
Buhar Türbini 1	4,26	0,64	1,54	0,95
Buhar Türbini 2	10,37	0,61	4,01	0,91
Buhar Türbini 3	8,11	0,63	2,98	0,94
Buhar Türbini 4	14,59	0,57	6,34	0,96
Buhar Türbini 5	5,99	0,60	2,39	0,98
Buhar Türbini 6	5,99	0,60	2,39	0,98
Buhar Türbini 7	15,70	0,61	6,06	0,98
Buhar Türbini 8	17,03	0,64	6,17	0,99
Hava Üfleyici 1	0,49	0,93	0,04	0,93
Hava Üfleyici 2	0,83	0,92	0,07	0,94
Hava Üfleyici 3	1,09	0,89	0,12	0,91
Hava Üfleyici 4	2,18	0,80	0,43	0,91

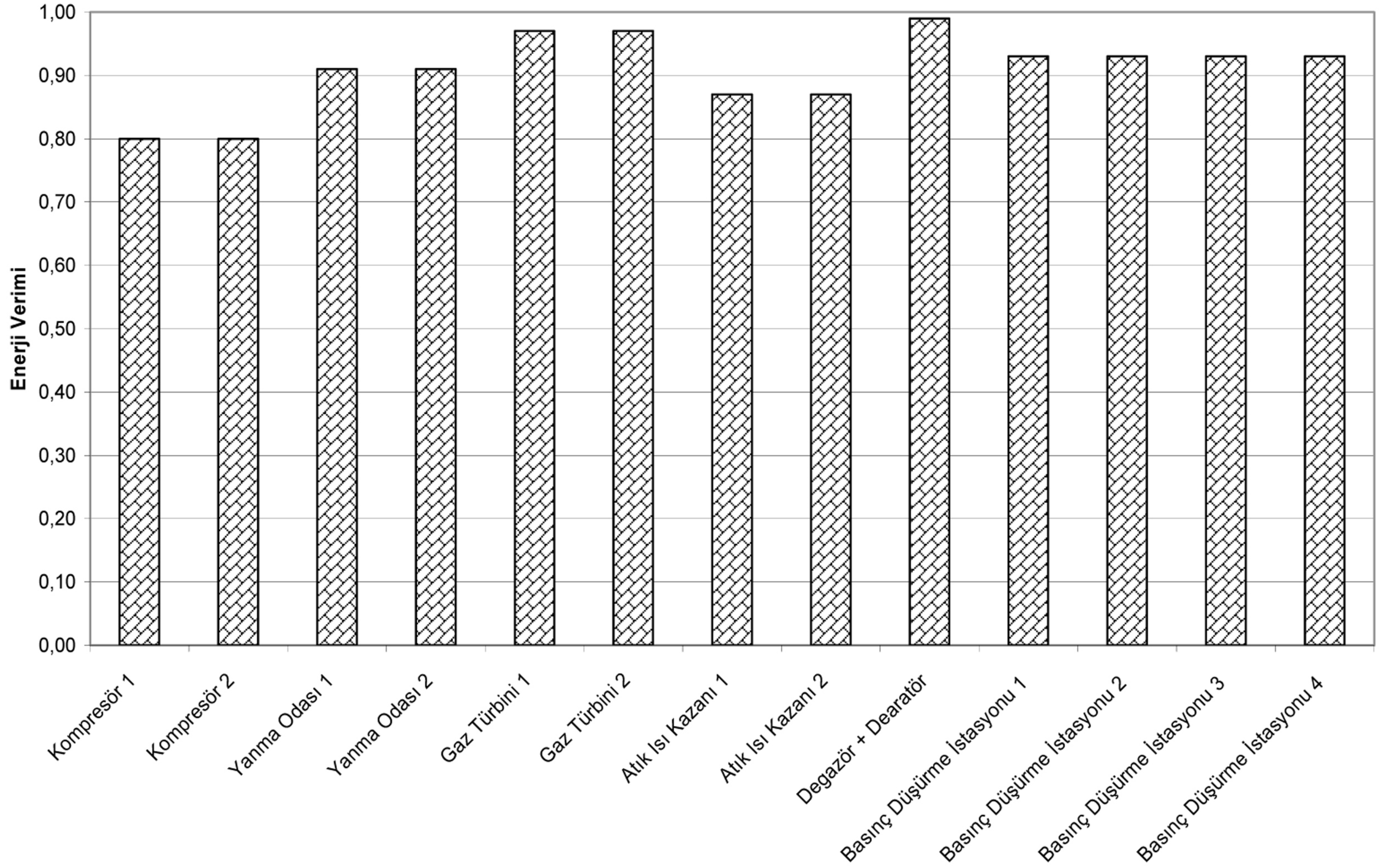
Çizelge 5.47 Her birim için hesaplanan Ξ_T , ε , G_{pot} ve η değerleri (devam)

Birimler	Ξ_T (MW)	ε	G_{pot} (MW)	η
Yoğuşturucu 1	1,17	0,39	0,71	0,99
Yoğuşturucu 2	1,42	0,39	0,86	0,99
Yoğuşturucu 3	1,76	0,40	1,06	0,99
Yoğuşturucu 4	0,62	0,39	0,38	0,99
Yoğuşturucu 5	0,64	0,39	0,39	0,99
Yoğuşturucu 6	0,64	0,39	0,39	0,99
Yoğuşturucu 7	1,60	0,39	0,97	0,99
Yoğuşturucu 8	2,48	0,39	1,50	0,99
Kompresör 1	11,54	0,79	2,42	0,80
Kompresör 2	11,54	0,79	2,42	0,80
Yanma Odası 1	47,27	0,74	12,33	0,91
Yanma Odası 2	47,27	0,74	12,33	0,91
Gaz Türbini 1	3,62	0,96	0,13	0,97
Gaz Türbini 2	3,62	0,96	0,13	0,97
Atık Isı Kazanı 1	8,60	0,74	5,88	0,87
Atık Isı Kazanı 2	8,60	0,74	5,88	0,87
Basınç Düşürme İstasyonu 1	6,51	0,79	1,39	0,93
Basınç Düşürme İstasyonu 2	4,07	0,79	0,87	0,93
Basınç Düşürme İstasyonu 3	2,47	0,53	1,16	0,93
Basınç Düşürme İstasyonu 4	2,47	0,53	1,16	0,93
Degazör & Dearatör	1,25	0,89	0,14	0,99

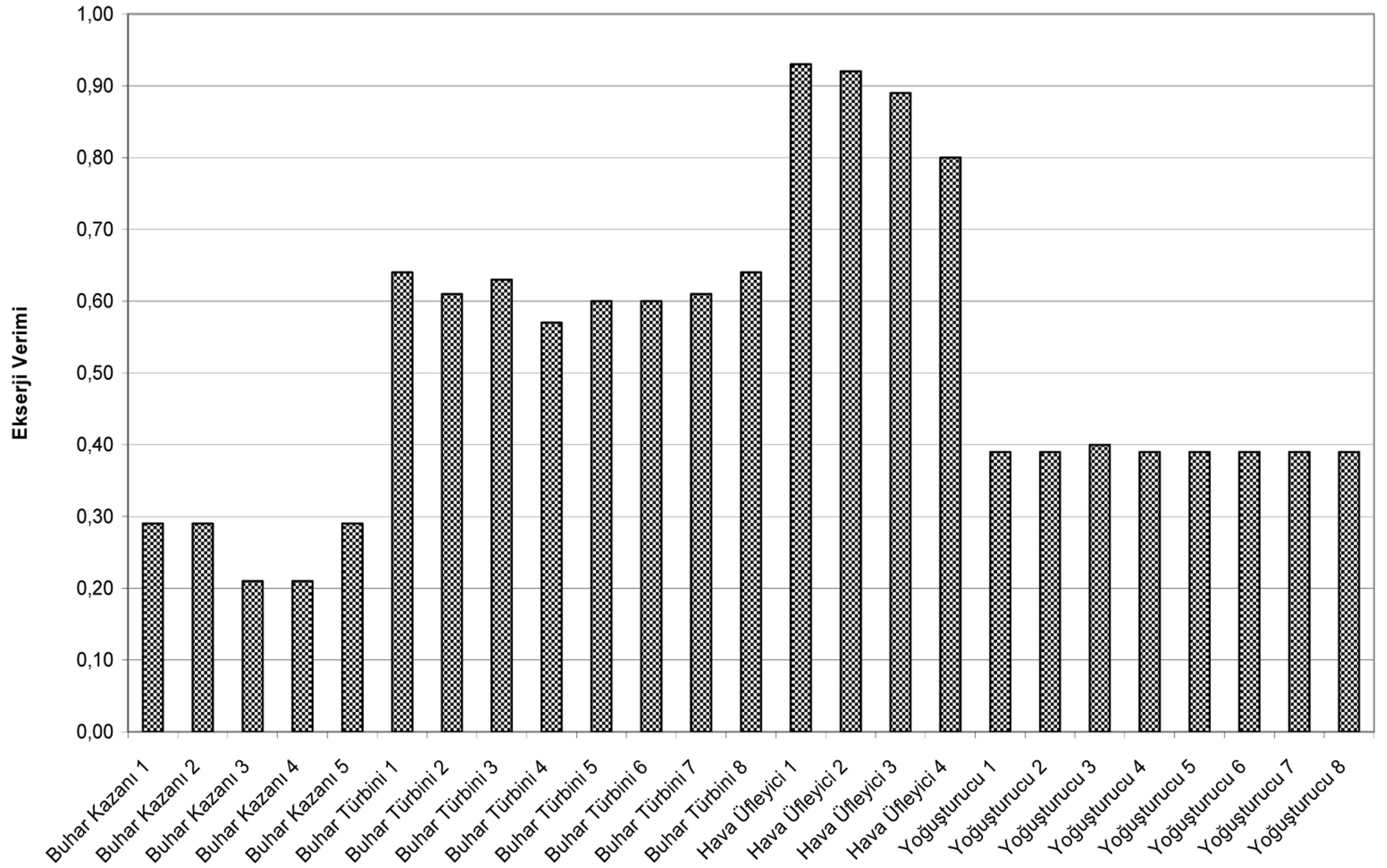
Şekil 5.11 ve 5.12’de her birim için hesaplanan enerji verimleri, Şekil 5.13 ve 5.14’te her birim için hesaplanan ekserji verimleri, Şekil 5.15 ve 5.16’da her birim için hesaplanan ekserji tahripleri ve Şekil 5.17 ve 5.18’de her birim için hesaplanan geliştirme potansiyeli sonuçları gösterilmiştir.



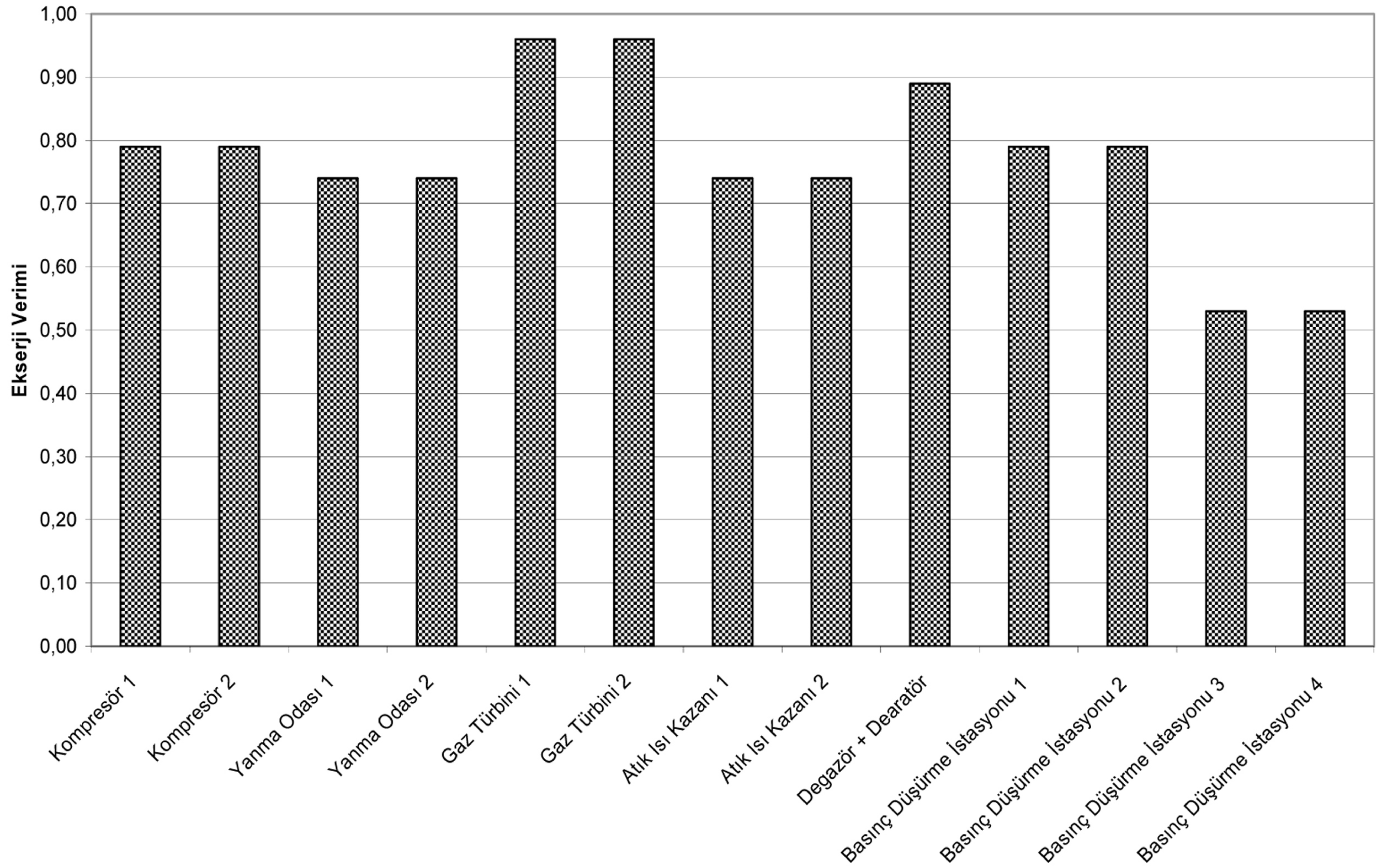
Şekil 5.11 Kuvvet santrali birimlerinin enerji verimleri – 1



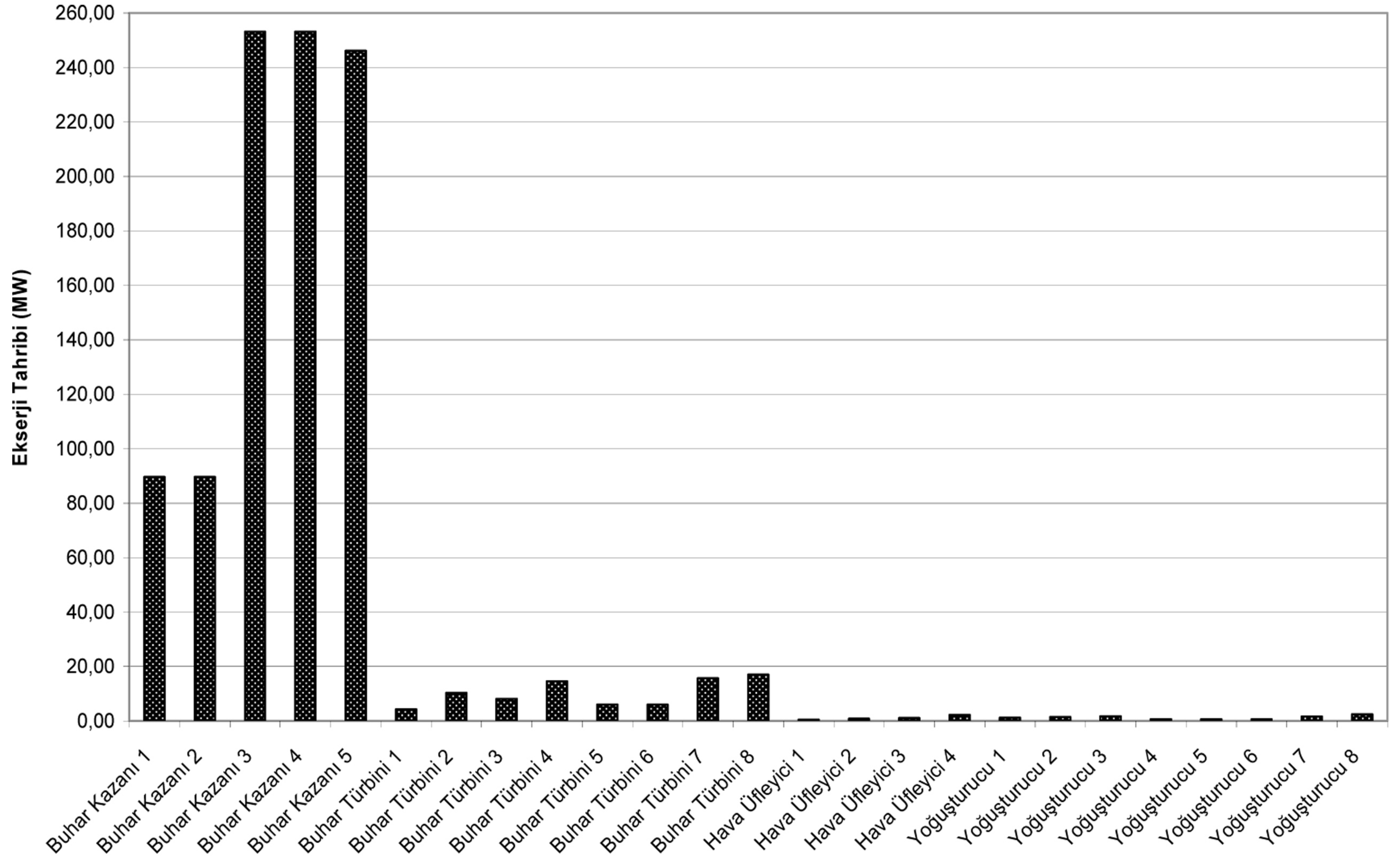
Şekil 5.12 Kuvvet santrali birimlerinin enerji verimleri – 2



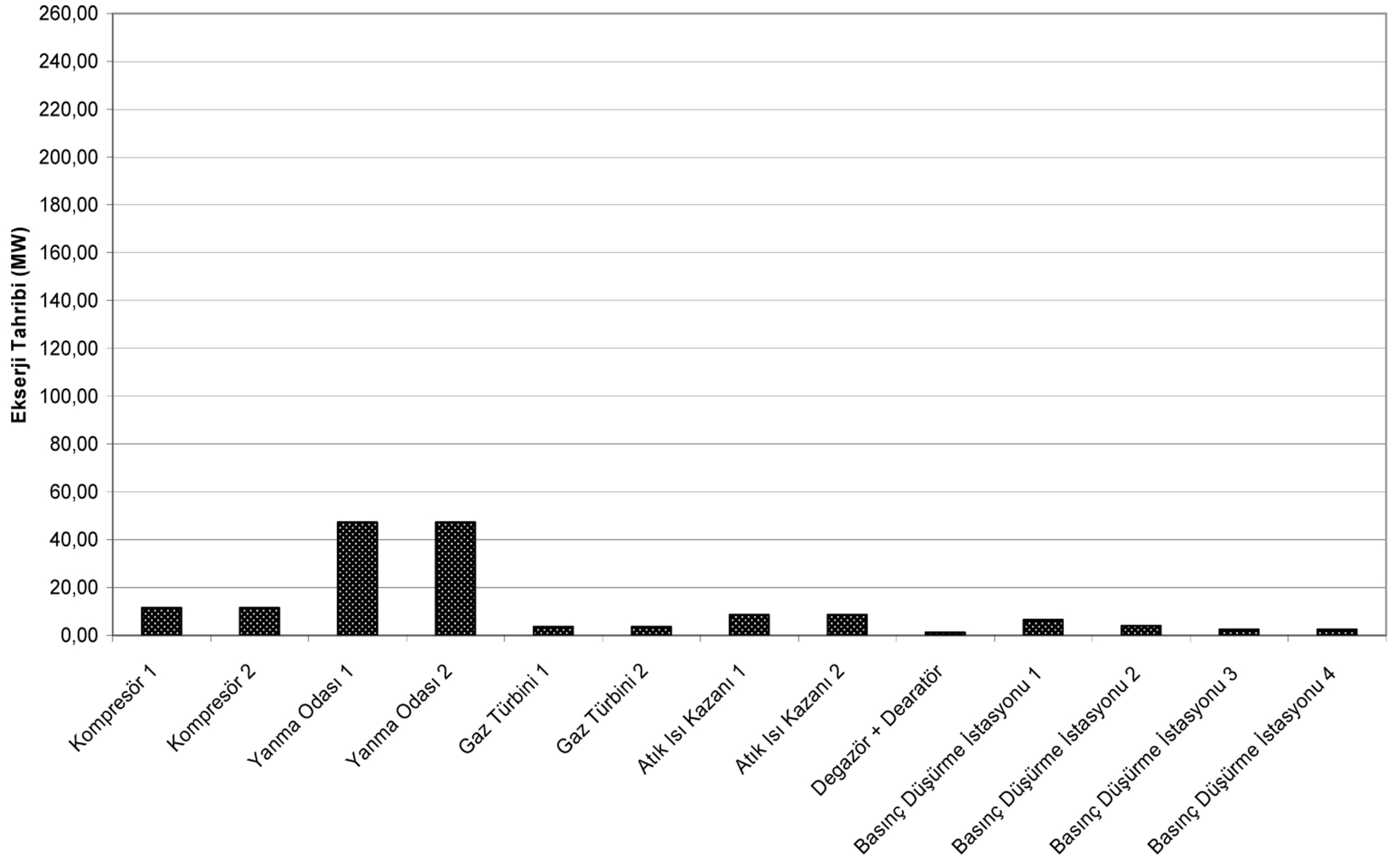
Şekil 5.13 Kuvvet santrali birimlerinin ekserji verimleri – 1



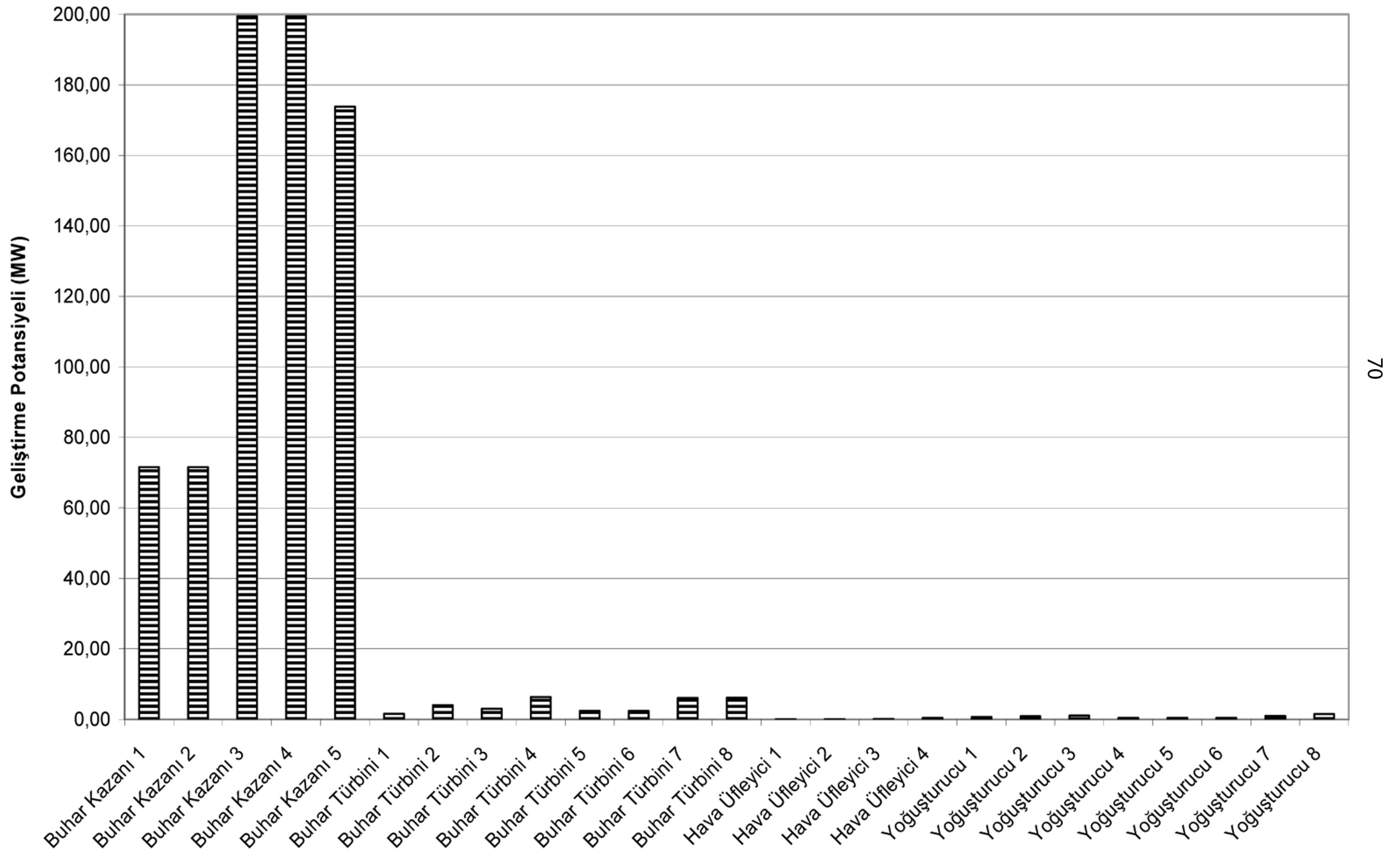
Şekil 5.14 Kuvvet santrali birimlerinin ekserji verimleri – 2



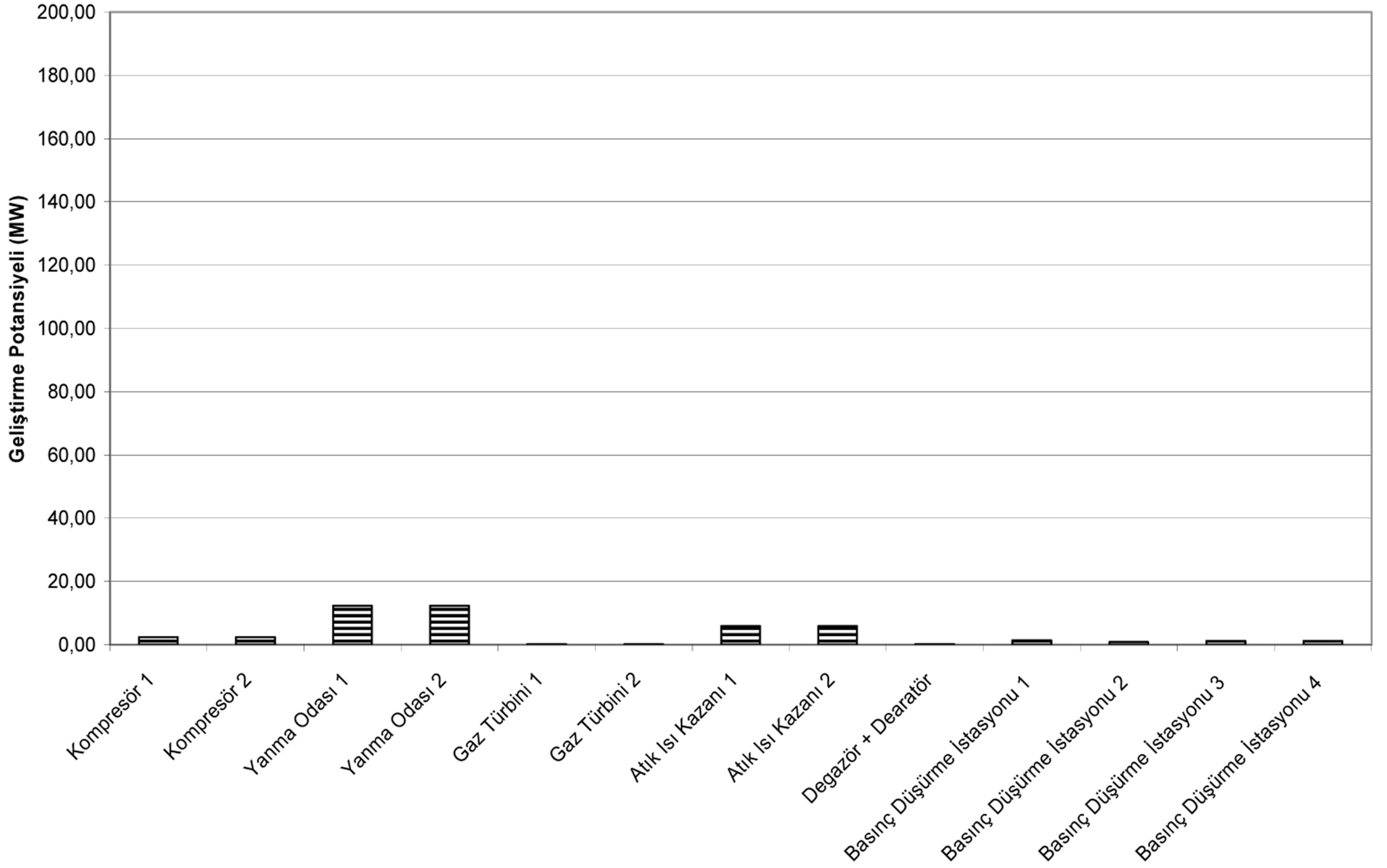
Şekil 5.15 Kuvvet santrali birimlerinin ekserji tahripleri – 1



Şekil 5.16 Kuvvet santrali birimlerinin ekserji tahripleri – 2



Şekil 5.17 Kuvvet santrali birimlerinin geliştirme potansiyelleri - 1



Şekil 5.18 Kuvvet santrali birimlerinin geliştirme potansiyelleri - 2

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu, ekserji tahripleri, ekserji ve enerji verimleri ve geliştirme potansiyeli değerleri bulunmuştur.

Yoğuşturucular ve degazör & dearatör en yüksek enerji verimine sahip birimler olarak saptanmıştır. Diğer birimler azalan enerji verimlerine göre, buhar türbinleri, gaz türbinleri, hava üfleyicileri, basınç düşürme istasyonları, yanma odaları, atık ısı kazanları, kompresörler ve buhar kazanları şeklinde sıralanmaktadır.

En yüksek ekserji verimine sahip birim gaz türbinleridir. Azalan sırayla ekserji verimi hesaplanan birimler hava üfleyicileri, degazör & dearatör, kompresörler, basınç düşürme istasyonları, yanma odaları, atık ısı kazanları, buhar türbinleri, yoğuşturucular ve buhar kazanlarıdır.

En fazla ekserji tahribi buhar kazanlarında bulunmuştur. Diğer birimler azalan ekserji tahriplerine göre, yanma odaları, kompresörler, buhar türbinleri, atık ısı kazanları, basınç düşürme istasyonları, gaz türbinleri, yoğuşturucular, hava üfleyiciler ve degazör & dearatör şeklinde sıralanmaktadır. Ekserji tahripleri, kimyasal reaksiyon, ısı aktarımı ve sürtünme gibi üç temel tersinmezlikten meydana gelir. Kimyasal reaksiyon, ekserji tahribinin en önemli kaynağıdır. Buhar kazanları ve yanma odalarında bu üç tersinmezlik de gerçekleştiğinden dolayı en fazla bu birimlerde ekserji tahribi olmaktadır. Buhar kazanı ve yanma odalarında yanma havası önceden ısıtılarak ve hava-yakıt oranı düşürülerek ekserji tahribi düşürülebilir. Ayrıca, buhar kazanlarından atılan baca gazı buhar kazanına giren suyun ısıtılmasında veya fabrika ısıtma sisteminde kullanılarak değerlendirilebilir. Buhar türbinleri, gaz türbinleri, kompresörler, hava üfleyiciler ve basınç düşürme istasyonlarında da sürtünme azaltılarak ekserji tahripleri azaltılabilir. Bu sistemin geliştirilmesi için ekserji tahriplerinin en yüksek olduğu ekipmanlara odaklanılmalıdır.

En fazla geliştirme potansiyeli buhar kazanlarında bulunmuştur. Daha sonra geliştirme potansiyelleri hesaplanan birimlerin azalan sırası yanma odaları, buhar türbinleri, atık ısı

kazanları, kompresörler, basınç düşürme istasyonları, yoğuşturucular, hava üfleyiciler, degazör&dearatör ve gaz türbinleri şeklindedir.

Toplam net güç 317 MW ve üretilen buhar miktarı 234,43 kg/s'dir. En düşük ekserji verimine %29 ve %21 değerleriyle, en yüksek ekserji tahribine ve en yüksek geliştirme potansiyeline buhar kazanları sahiptir. Kuvvet santralının ekserji tahribi 1.187,55 MW, geliştirme potansiyeli ise 800,84 MW'tır.

Kuvvet santralının ekserji analizi en kötü termodinamik performansı gösteren alt sistemlerin tanımlanmasını sağlar. Bu çeşit bir bilgi ekonomik açıdan sistemin performansının optimize edilmesine yardımcı olur. Bu analiz varolan bir sisteme uygulandığı için, yeni operasyon stratejileri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Bejan, A., Tsatsaronis, G. ve Moran, M. (1996), Thermal Design and Optimization, John Wiley and Sons, USA.

Cerci, Y. (2001), Exergy analysis of a reverse osmosis desalination plant in California, Desalination, 142: 257-266.

Çengel, A.Y. ve Boles, M.A. (1994), An Engineering Approach Thermodynamics. Mc GrawHill, USA.

Dinçer, İ., (2002), The Role of Exergy in Energy Policy Making, Energy Policy, Cilt No: 30, Sayfa:137-149.

Dincer, S. (1982), “Kimya Mühendisliğinde Denge Süreçlerinin Termodinamiği”, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 319, İstanbul.

Hepbaşlı, A., (2006), “A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future”, Renewable & Sustainable Energy Reviews.

Kapudere, İ., Mert, M.S., Karaca, F., Adanır, T. ve Bolat, E. (2007), Energy and Exergy Analyses of The Cogeneration Plant of An Iron and Steel Factory.

Kimsesiz, E., (2003), “ERDEMİR’in Enerji Yapısı ve Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Çalışmaların Tanıtımı”, 22. Enerji Tasarrufu Etkinlikleri.

Rosen, M.A. ve Dinçer, İ. (2001), Exergy as the Confluence of Energy, Environment, and Sustainable Development, Exergy – An International Journal, Cilt No: 1(1) Sayfa: 3- 13.

Szargut, J., Morris, R.D. ve Steward, R.F. (1998), Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York.

Utlı, Z. ve Hepbaşlı, A. (2004), Ülkemiz Sektörel Bazda Enerji Kullanım Verimliliğinin Değerlendirilmesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, Kütahya, Sayfa:381-387, Kütahya.

Uyar, R. (2000), “ERDEMİR Elektrik Dağıtım Yönetim Sistemi Projesi”, I. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri, Sayfa:1077-1079.

Wall, G., (1990), Exergy Conversion in the Japanese Society, Energy, Cilt No: 15(5), Sayfa:435-444.

Wall, G., (1997), Exergy, Society and Morals, Journal of Human Values, Cilt No: 3(2), Sayfa: 193-206.

[1] www.sciencedirect.com

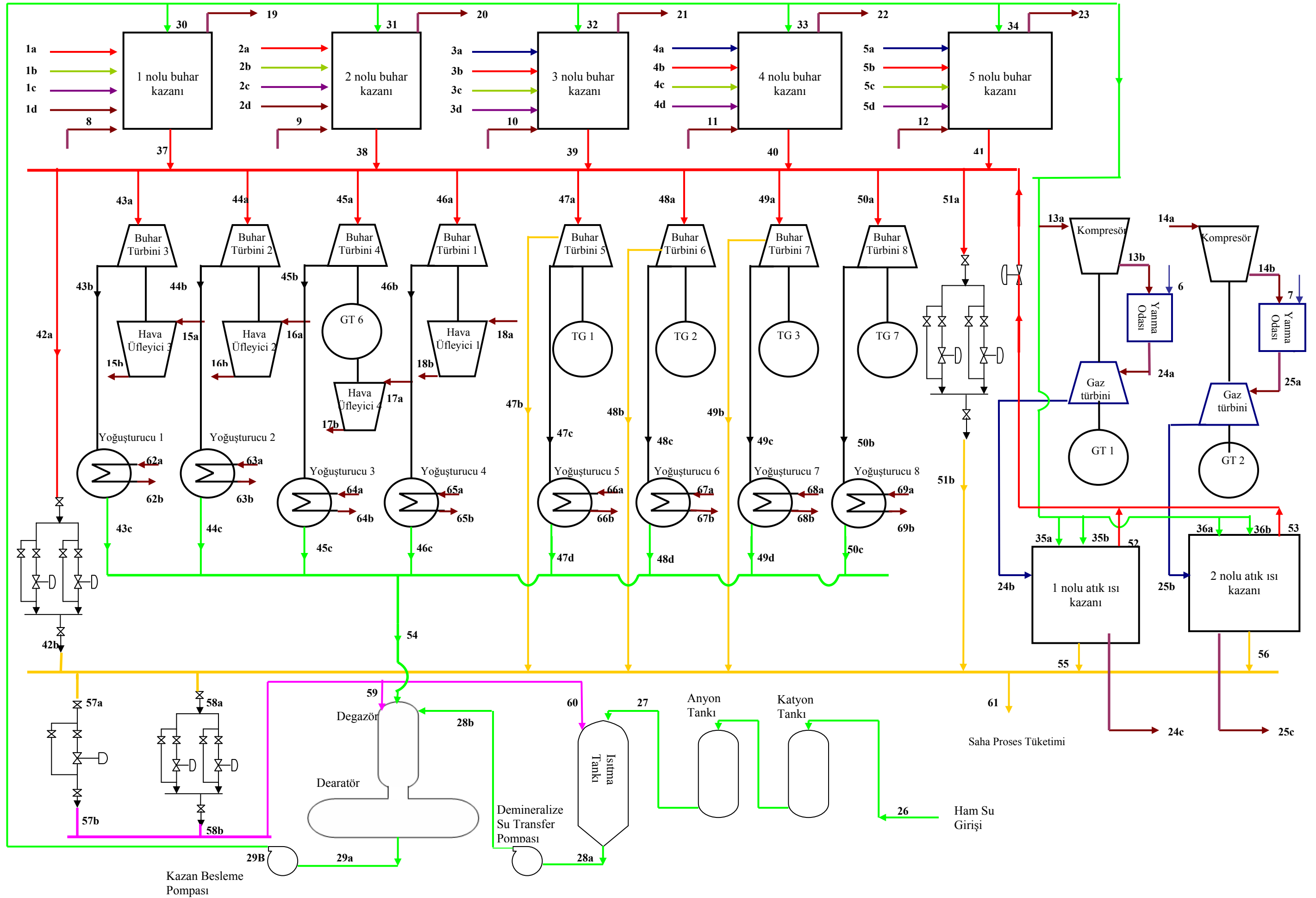
[2] <http://www.kojenerasyon.com/htmls/kojensayfa.htm>

[3] www.erdemir.com.tr

EKLER

Ek 1 Kuvvet santralinin ayrıntılı akış şeması

Ek 1 Kuvvet santralinin ayrıntılı akış şeması



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.08.1981	
Doğum yeri	Enez	
Lise	1995-1999	Babaeski Süper Lisesi
Lisans	1999-2004	Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Ana Bilim Dalı, Kimya Müh. Programı

Çalıştığı Kurumlar

2005-2006	Trakya Ev Tarhanası Hazır Çorbalar Gıda San. Tic. Ltd. Şti.
2006-.....	Mondi Packaging İstanbul Ambalaj San. ve Tic. Ltd. Şti.