



## SEYİTÖMER TERMİK SANTRALİ BİRİNCİ VE İKİNCİ YASA ÇÖZÜMLEMELERİ

.O. ARSLAN\* & R. KÖSE\*

### Özet

Toplumların gelişmişliklerinin, kişi başına tükettikleri enerji miktarlarıyla değerlendirildiği günümüzde enerji denildiğinde akla gelen ilk kavram elektrik enerjisidir. Bu bağlamda, Türkiye gelişmekte olan bir ülke olup, elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünü düşük kalorili linyitlerin kullanıldığı termik santraller vasıtasıyla karşılanmaktadır. Düşük verim ve çevresel etkiler nedeniyle linyit bazlı termik santraller günümüzde önemini hızla yitirmektedir. Enerji açısından büyük oranda dışa bağımlılığın Türkiye'yi ekonomik açıdan oldukça zora sokması ve sahip olunan zengin kömür rezervleri gibi etkenlerden dolayı, Türkiye' de termik santrallerin varlığı zorunlu bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada, linyit yakıtlı Seyitömer termik santraline ait enerji ve ekserji analizleri yapılarak, santraldeki kayıplar ve yerleri tespit edilmiş, verimliliğin artırılması hususunda yapılması gerekenler üzerinde durulmuştur.

### 1. Giriş

Özellikle, 1970'li yıllardan sonra, enerjinin verimli kullanımını üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmış, çeşitli enerji dönüşümlerini içeren süreçlerde verimliliğin artırılmasının yanı sıra, aynı amaçlara yönelik yeni süreçlerin değerlendirilmesi ve mevcut süreçler ile karşılaştırılması da önem kazanmıştır[1,2]. Asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi ve küresel iklim değişikliği gibi çevresel kaygılardan dolayı 1980'lerde enerji-çevre ilişkisi oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji kullanımı ve çevre arasındaki bağlantı daha fazla tanınmıştır. O zamandan bu yana, bu bağlantı arasındaki dikkat artmış, enerji üretimi, dönüşümü, taşınması ve kullanımının dünya çevresini etkilediği açıkça anlaşılmış ve çevresel etkilerin ısı, kimyasal ve nükleer emisyonlarla ilişkili olduğu fark edilmiştir[2].

Yaşam standartlarını geliştirmek ve insanoğlunun yiyecek, su ve barınma ihtiyaçlarını karşılamak için enerjiye ihtiyaç duyulur. Birleşmiş milletler, enerji sektörünün, çevresel olarak güvenli ve yüksek enerji verimliliğine sahip olması yönünde atmosferik koruma stratejilerine doğru yönlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir[3]. Enerji ve çevre arasındaki yakın ilişkiyi ilgilendiren çalışmaların 1970 ve 1980'ler de ortaya çıkmasına rağmen, yoğun çalışmaların sayısı son birkaç yıl içerisinde artmaya başlamıştır [2,4-9]. Şekil 1.2'de görüldüğü üzere ekserji, enerji, çevre ve sürdürülebilir geleceğin bir karışımı olarak düşünülebilir[2,5-7]. Toplumda çevresel etkilerin büyük bir bölümünün enerji-kaynak kullanımı ile ilgili

**Anahtar Kelimeler:** Ekserji, Enerji, Termik Santral.

olmasından enerji kullanımının çevresel yönü oldukça derin olarak düşünülmüştür. İdeal olarak, sürdürülebilir gelişimi arayan bir toplum çevresel etkileri olmayan enerji kaynaklarını kullanırlar. Böyle bir durum ancak atık enerjinin minimal olması durumunda söz konusudur. Nispeten, tüm enerji kaynaklarının çevresel etkileri vardır. Enerji verimliliğinin artışı gelişimi daha da sürdürülebilir kılabılır.



Şekil 1.2. Ekserji analiziyle örtülü dallar arası etkileşim üçgeni[2].

Bu bağlamda, enerji ve ekserji metotları ısıl proseslerde kullanılan doğruluğu kanıtlanmış metotlardır. Termodinamiğin birinci yasa analizi ısı ve iş arasındaki farkın önemsemeyen tüketilen enerji miktarını hesaplayan bir analizdir. Mühendislik sistemlerinin dizayn ve analizlerinde sadece birinci kanun yeterli değildir [10]. İkinci yasa olarak bilinen ekserji metodu ile termodinamikte önemli bir yeri olan tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji kayıpları hesaplanabilir[11]. Ekserji ortam şartlarında kayıpları azaltarak bir sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iş miktarı olarak tanımlanır[12]. Cornelissen[13] tarafından yapılan çalışmada, sürdürülebilir bir gelişim elde etmek için önemli bir elemanın ikinci yasa (ekserji) analizi olduğu belirtilmiştir. Çünkü, ekserji çevre halinden sistem haline gidişin bir ölçüsüdür[4].

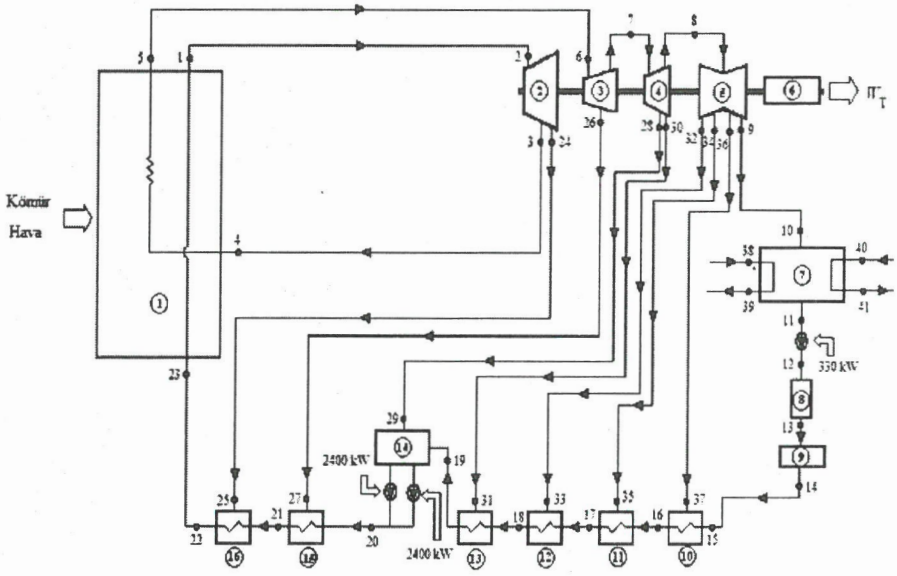
Ekserji transferi ve dönüşümüne ait araştırmaların amaçlarından biri, prosesin tersinmezliğinin şeklini ve önemli olduğu yerleri bulabilmek için entropi üretimi ve ekserji yıkımının (kayıplarının) hesaplanmasıdır. Ekserji kayıpları, diğer tarafta, ideallikten sapmanın nicel bir ölçümünü sağlar. Ek olarak, ekserji kayıpları konumları, kayıp sebepleri ve tipi veya verimsizliği ayırarak daha açık teşhis olanağı sunar[14,15]. Sonuç olarak, bir proses için enerji veriminin incelenmesinin yanında ekserjik verimin de incelenmesinin gerekliliği doğrulanmış bir gerçektir.

## 2. MATERYAL

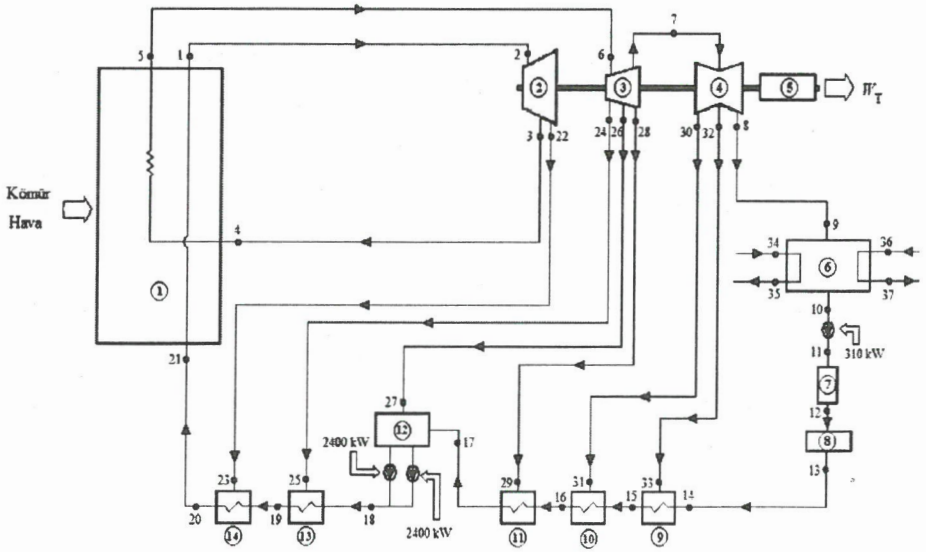
Kütahya'nın 28 km kuzeybatısındaki Seyitömer bölgesinde TKİ tesisleri ile entegre olarak her biri 150 MW ve toplam 600 MW gücünde dört (4) ünite halinde inşaa edilen santralin I. Ünitesi 1973, II. Ünitesi 1974, III. Ünitesi 1977 ve IV. Ünitesi 1989 yılında üretim faaliyetine geçmiştir. Santral her geçen gün artan elektrik enerjisinin karşılanmasına katkıda bulunması ve Seyitömer havzasında istihsal edilen ticari değeri bulunmayan düşük kaliteli linyit rezervlerinin değerlendirilmesi amacıyla tesis edilmiştir. Ölçüm için santralin II. ve IV. Üniteleri seçilmiştir. Her bir ünite için farklı günlerde ölçümler alınmış, gün içerisinde beş ölçüm alınarak analizler bu ölçümlerin ortalamaları esas alınarak yapılmıştır. Santralin II. ünitesinde 41 adet, IV. ünitesinde ise 37 adet düğüm noktası belirlenmiş ve ölçümler bu

noktalarda gerçekleştirilmiştir. Santralin II. ve IV. Ünitelerine ait akış diyagramları sırasıyla Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de görülmektedir. Her bir ünite için farklı günlerde ölçümler alınmış, gün içerisinde beş ölçüm alınarak analizler bu ölçümlerin ortalamaları esas alınarak yapılmıştır. Santralin II. ünitesinde 41 adet, IV. ünitesinde ise 37 adet düğüm noktası belirlenmiş ve ölçümler bu noktalarda gerçekleştirilmiştir. Santralin II. ve IV. Ünitelerine ait akış diyagramları sırasıyla Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de görülmektedir. Üniteler her biri 150 MW gücünde birer adet türbin grubu, birer adet buhar kazanı, birer adet kondanser, ve ısıtıcı gruplarından ve yardımcı grup olarak adlandırılan glend kondanser ve ejektörden oluşmaktadır. Türbin grubu 2. ünite, alçak basınç, orta basınç, ara orta basınç ve yüksek basınç türbininden, 4. ünite ise alçak basınç, orta basınç ve yüksek basınç türbininden oluşmaktadır. Isıtıcı grupları 2. ünite, 4 adet alçak basınç (ABSI), 2 adet yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı (YBSI) ve degazör, 4. ünite 3 adet alçak basınç, 2 adet yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı ve degazör bileşenlerinden oluşmaktadır. Atık ısının geri kazanımı ve yanma veriminin artırılması amacıyla yakma havasının baca gazları ile ısıtıldığı bir ısı eşanjörü (LUVO) de her ünite mevcut. Tesisin termodinamik analizinde türbinler ve pompalar ayrı ayrı tek bir grup olarak analize dahil edilmiştir. Bu çalışmada, kazan besleme suyu pompaları eş karakterli pompalar olduğundan tek bir pompa gibi göz önüne alınmış, boru demetleri ise kayıpların en fazla olabileceği hatlar olarak seçilmiş, diğer hatlar ihmal edilmiştir. Sistemdeki çevrim ara buhar almalı ve tekrar kızdırmalı Rankine çevrimidir. Yakıt olarak kullanılan pülverize kömür kazanda taze hava ile birlikte yakılmaktadır. Yakıtın yanmasıyla elde edilen kimyasal enerji ısıtıcı yüzeyler vasıtasıyla çevrimde dolaşan suya verilmekte ve buhar elde edilmektedir. Elde edilen buhar türbin grubuna gönderilerek sahip olduğu enerji mekanik enerjiye ve ardından jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Belirlenen düğüm noktalarında yapılan ölçümler; sıcaklık ve baca gazı ölçümlerdir. Sıcaklık ölçümlerinde NiCr-Ni yüzey probuna sahip, -50/1000 °C aralığında ölçüm yapabilen % 0,1 hassasiyetli Testo 925 markalı dijital termometre kullanılmış, ulaşılamayan noktalardaki sıcaklık ölçümleri ise -30/900 °C arasında % 0.75 hassasiyetle ölçüm yapabilen Testo 860-T1 markalı kızılötesi (IR) termometre ile gerçekleştirilmiştir. Basınç ölçümleri, belirlenen düğüm noktalarında santralin kurulum aşamasında yerleştirilmiş, bakım ve kalibrasyonları düzenli olarak gerçekleştirilen mekanik yaylı basınç ölçerler vasıtasıyla tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Seyitömer termik santrali II. ünite akış diyagramı.



Şekil 2.2. Seyitömer termik santrali IV. ünite akış diyagramı.



Baca gazı ölçümleri, kuru baca gazındaki CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> miktarlarını ölçen MRU 95/3 baca gazı analizörü ile gerçekleştirilmiş, debileri ise santral baca gazı tahliye fanlarının standart değerleri olarak hesaplara dahil edilmiştir. Elde edilen ölçüm ve laboratuvar sonuçları Çizelge 2.1, 2.2 ve 2.3'de verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Baca gazı analiz sonuçları ve yakıt ile ilgili laboratuvar analiz değerleri[16].

Parametreler	Birim	Ünite II			Ünite IV		
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
Baca Gazı Sıcaklığı	(°C)	254	307	306	290	291	279
O <sub>2</sub>	(%)	13,3	6,5	6,2	16,2	7,4	7,8
CO	mg/m <sup>3</sup>	27	50	65	17	61	48
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	3494	6432	5603	2253	6140	4757
NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	801	1464	1264	285	624	510
CO <sub>2</sub>	(%)	7	12,5	13,3	4,3	12,2	11,9
CO <sub>2</sub> maksimum	(%)	19.1			19.1		
Yakıttaki Nem	(%)	32.1	32.1	33.5	28.8	31.5	31.9
Yakıt Debisi	kg/s	60	67.2	67.8	58.3	57.2	51.1
Yakıt Alt Isıl Değeri	kJ/kg	7373	7566	7176	7076	7216	7147
Yakma Havası Debisi	m <sup>3</sup> /s	146.4			100.6		
Yakma Havası Sıcaklığı	(°C)	237			237		
Baca Gazı Debisi	m <sup>3</sup> /s	155			101.4		

**Çizelge 2.2.** Seyitömer termik santrali II. ünite ölçüm verileri[16].

Nokta No	1. Ölçüm			2. Ölçüm			3. Ölçüm		
	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)
1	540	136.3	111.1	535	134.4	122.2	537	135.3	125.0
2	537	131.4	111.1	530	129.4	122.2	534	130.4	125.0
3	382	35.3	98.6	378	36.8	108.4	386	38.2	110.9
4	380	33.1	98.6	376	34.8	108.4	384	36.3	110.9
5	540	32.4	98.6	535	34.8	108.4	537	36.3	110.9
6	539	32.4	98.6	530	34.8	108.4	534	36.3	110.9
7	325	8.1	94.6	317	8.6	104.0	320	9.4	106.4
8	240	2.5	86.3	235	2.4	95.0	237	2.4	97.2
9	57	0.1	76.8	52	0.1	84.6	55	0.1	86.5
10	57	0.1	76.8	52	0.1	84.6	55	0.1	86.5
11	46	0.1	76.8	45	0.1	84.6	45	0.1	86.5
12	46	15.7	76.8	45	16.7	84.6	45	16.7	86.5
13	44	15.2	76.8	43	16.2	84.6	43	16.2	86.5
14	44	14.7	76.8	43	16.2	84.6	43	16.2	86.5
15	44	14.7	76.8	43	15.7	84.6	43	15.7	86.5
16	59	12.7	79.6	59	12.7	87.7	60	12.7	89.7
17	75	11.8	82.0	71	11.8	90.3	72	11.3	92.4
18	101	11.3	86.3	98	10.8	95.0	99	10.8	97.2
19	128	10.8	90.5	122	10.3	99.5	124	10.3	101.8
20	146	140.6	94.6	140	166.7	104.0	142	167.2	106.4
21	169	140.6	98.6	165	166.7	108.4	167	167.2	110.9
22	230	140.6	111.1	225	166.7	122.2	228	167.2	125.0
23	228	137.3	111.1	224	135.3	122.2	225	137.3	125.0
24	382	35.3	12.5	383	35.3	13.8	386	35.3	14.1
25	380	32.9	12.5	383	32.8	13.8	384	32.8	14.1
26	410	13.7	4.0	430	14.2	4.4	441	15.2	4.5
27	410	13.7	4.0	430	14.2	4.4	441	15.2	4.5
28	320	6.5	4.1	351	5.9	4.5	344	6.0	4.6
29	320	6.5	4.1	351	5.9	4.5	344	6.0	4.6
30	232	2.5	4.2	205	2.4	4.5	200	2.4	4.6
31	232	2.5	4.2	205	2.4	4.5	200	2.4	4.6
32	155	0.5	4.3	148	0.6	4.7	146	0.6	4.8
33	155	0.5	4.3	148	0.6	4.7	146	0.6	4.8
34	77	0.4	2.4	75	0.3	2.6	79	0.3	2.7
35	77	0.4	2.4	75	0.3	2.6	79	0.3	2.7
36	66	0.2	2.8	64	0.2	3.1	71	0.3	3.2
37	66	0.2	2.8	64	0.2	3.1	71	0.3	3.2
38	25	1.6	3194.4	25	1.6	3194.4	25	1.6	3194.4
39	31	1.2	3194.4	31	1.2	3194.4	31	1.2	3194.4
40	25	1.6	3194.4	25	1.6	3194.4	25	1.6	3194.4
41	31	1.2	3194.4	31	1.2	3194.4	31	1.2	3194.4
W <sub>T</sub>	105 MW			116 MW			120MW		

**Çizelge 2.3.** Seyitömer termik santrali IV. ünite ölçüm verileri[16].

Nokta No	1. Ölçüm			2. Ölçüm			3. Ölçüm		
	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)	Sıcaklık T(°C)	Basınç P(bar)	Debi m(kg/s)
1	538	137.29	131.9	535	137.29	131.9	540	141.21	111.1
2	535	135.33	131.9	533	135.33	131.9	535	139.25	111.1
3	350	34.32	120.5	350	34.32	120.5	332	29.91	101.3
4	349	33.83	120.5	349	33.83	120.5	330	29.42	101.3
5	538	34.81	120.5	535	34.32	120.5	539	29.42	101.3
6	537	33.34	120.5	533	33.83	120.5	538	28.93	101.3
7	232	2.16	100.4	230	2.16	100.4	230	1.77	84.3
8	42	0.06	91.8	42	0.05	91.8	39	0.05	77.3
9	41	0.06	91.8	41	0.05	91.8	38	0.05	77.3
10	41	0.10	91.8	41	0.10	91.8	38	0.10	77.3
11	41	13.73	91.8	41	14.71	91.8	38	14.22	77.3
12	40	13.24	91.8	40	14.22	91.8	37	13.73	77.3
13	40	13.24	91.8	40	14.22	91.8	37	13.73	77.3
14	40	12.75	91.8	40	13.73	91.8	37	12.75	77.3
15	60	12.26	95.6	63	13.24	95.6	58	12.26	80.3
16	81	11.77	100.4	81	12.75	100.4	76	11.77	84.3
17	115	11.77	106.4	115	12.75	106.4	110	11.77	89.4
18	139	169.65	112.5	140	164.74	112.5	133	166.71	94.5
19	179	168.67	120.5	180	163.76	120.5	175	165.23	101.3
20	223	168.18	131.9	226	163.27	131.9	222	164.74	111.1
21	221	166.71	131.9	223	162.78	131.9	221	164.25	111.1
22	373	34.32	11.4	373	34.32	11.4	360	29.91	9.8
23	370	33.83	11.4	371	33.83	11.4	358	29.42	9.8
24	436	14.71	8.0	431	14.71	8.0	435	13.24	6.8
25	434	14.22	8.0	428	14.22	8.0	433	12.75	6.8
26	320	7.00	6.1	320	7.00	6.1	316	5.50	5.1
27	319	6.50	6.1	319	6.50	6.1	320	5.00	5.1
28	223	2.16	6.0	220	2.21	6.0	225	1.77	5.1
29	222	2.16	6.0	219	2.21	6.0	224	1.77	5.1
30	153	0.22	4.8	150	0.21	4.8	155	0.10	4.1
31	152	0.22	4.8	149	0.21	4.8	154	0.10	4.1
32	75	0.30	3.8	80	0.40	3.8	77	0.30	2.9
33	75	0.30	3.8	80	0.40	3.8	77	0.30	2.9
34	28	1.77	3263.9	27	1.37	3263.9	27	1.37	3263.9
35	35	1.37	3263.9	35	1.77	3263.9	31	1.77	3263.9
36	27	1.77	3263.9	28	1.37	3263.9	26	1.37	3263.9
37	32	1.37	3263.9	33	1.77	3263.9	31	1.77	3263.9
W <sub>T</sub>	136 MW			137 MW			118 MW		



### 3. METOT

Ekserji analizi, kütlelerin korunumu ve enerjinin korunumu (Birinci yasa) kanunlarını termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kullanan bir metottür. Genelde, daha hassas verimlilikler, ekserji veriminin ideale daha yakın olmasından dolayı, enerji analizinden çok ekserji analiziyle değerlendirilirler[2]. Ekserji analizi için, referans çevrenin veya referans halin tamamen tanımlanması gereklidir. Bu da, en yaygın haliyle, referans çevrenin sıcaklık, basınç, ve kimyasal kompozisyonunun tanımlanmasıyla yapılır. Buna göre, ekserji analizi sonuçları tanımlanan referans çevreye bağlıdır[2,17-21]. Çalışma için referans çevre şartları Çizelge 3.1' de verilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Referans çevre tanımlaması[21].

Madde	Formül	Mol Kesri
Oksijen	O <sub>2</sub>	0,2035
Karbon monoksit	CO	0,000007
Kükürt dioksit	SO <sub>2</sub>	0,000002
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	0,00033
Su buharı	H <sub>2</sub> O <sub>(buhar)</sub>	0,0315
Azot	N <sub>2</sub>	0,7557
Diğer	-	0,009

Çevre sıcaklığı; T<sub>0</sub>=25 °C ve çevre basıncı; P<sub>0</sub>=1 atm olarak seçilmiştir.

Bir akışın enerjisi;

$$E_i = m_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right)$$

(3.1)

ile verilir. Yükseklik (z<sub>i</sub>) ve hız (V<sub>i</sub>) bileşenlerinin etkisinin çok az olması nedeniyle buhar akışında genellikle ihmal edilirler. Buna göre akış enerjisi;

$$E_i = m_i h_i$$

(3.2)

eşitliği ile verilir.

Bir yanma prosesinde, yakıtın enerjisi yanma sonu ürünlerinde suyun buhar fazında olması durumunda[22];

$$E_{yakıt} = m_{yakıt} AID_{yakıt}$$

(3.3)

eşitliği ile verilir. Burada, AID yakıtın alt ısı değeridir ve bomba kalorimetresi adı verilen cihazlarla ölçülür. Yanma prosesi sonucu, T sıcaklığındaki baca gazlarının i. bileşeni çevre sıcaklığına kadar soğuduğu göz önüne alınırsa ortama aktaracağı enerji;

$$E_{bg,i} = n_i (\bar{h}_{T,i} - \bar{h}_{298,i})$$

(3.4a)



ile verilir. Bu durumda baca gazlarının toplam enerjisi;

$$E_{bg} = \sum n_i (\bar{h}_{T,i} - \bar{h}_{298,i}) \quad (3.4b)$$

Akış halindeki bir maddenin  $Ex$  ile gösterilen ekserjisi, kinetik ekserji, potansiyel ekserji, fiziksel ekserji ve kimyasal ekserji olmak üzere başlıca dört temel bileşenden oluşur[23]. Fiziksel ekserji, akış halindeki bir madde çevre ile sadece termal etkileşim içeren tersinir fiziksel prosesler ile başlangıç şartlarından,  $P_0$  ve  $T_0$  ile belirli çevre şartlarına getirildiği zaman elde edilebilen maksimum iş miktarına eşittir. Kapalı bir sistemin özgül fiziksel ekserjisi[23];

$$Ex^{fiz} = m[(h - h_0) - T_0 (s - s_0)] \quad (3.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. Fiziksel, Potansiyel ve kinetik ekserjilerin toplamı termomekanik ekserji olarak adlandırılır.

Bir gaz karışımı için ise;

$$Ex^{kim} = -R T_0 \sum x_k \ln \frac{x_k^e}{x_k} \quad (3.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada,  $x_k$ ; karışım içerisindeki  $k$  gazının mol kesrini,  $R$  everensel gaz sabitini,  $\&$  birim zamandaki madde akışının mol cinsinden değerini ve  $e$  üst indisi referans çevreyi betimlemektedir.

Sürekli akışlı açık sistemler için enerji dengesi termodinamiğin 1. yasası gereğince;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum m_c \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) - \sum m_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (3.7)$$

eşitliği ile ifade edilir. Kinetik ve potansiyel enerjilerin değişmediği kabulüyle bu eşitlik;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum m_c h_c - \sum m_g h_g \quad (3.8)$$

halini alır[24].

Enerji korunum kanuna tabi olarak yoktan var edilemez ve de var olan enerji yok edilemez. Tersinmezliklere bağlı olarak proses süresince ekserji tüketilir, ve bu nedenle ekserji korunumsuzluk yasasına tabidir. Buna göre sürekli akışlı açık bir sistem için ekserji denge denklemi;

$$0 = \sum_j \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \dot{Q}_j - \dot{W} + \sum_g \dot{m}_g e_g + \sum_c \dot{m}_c e_c - \dot{E}_D \quad (3.9)$$

eşitliği ile verilir.

#### 4. SONUÇLAR

Enerji balansları sistemi oluşturan her bileşen için uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmektedir. Ekserji balanslarının her bileşen için uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.3 ve 4.4' de verilmektedir.

Enerji ve ekserji kayıp oranlarını gösteren grafikler Şekil 4.1-4'de verilmektedir. Enerji ve ekserji kayıpları açısından her iki ünite için, kazanın ilk sırayı aldığı, bunu türbin grubu ve kondanserin takip ettiği görülür. Buna göre, öncelikle ele alınması gereken noktalar bu bileşenlerdir. Bu bileşenlerin enerji ve ekserji verimlerine ait grafikler Şekil 4.5-8' de görülmektedir.

Çizelge 4.1. II. Ünite 1. yasa çözümü sonuçları.

Bileşen No	Bileşen Adı	T <sub>yüzeysel</sub> (°C)	Q̇ (kW)		
			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	Kazan	70	-	-131225.4	-105299.1
2	Yüksek Basınç Türbini	75	-8482.3	-6343.1	-4305.1
3	Ara Orta Basınç Türbini				
4	Orta Basınç Türbini				
5	Alçak Basınç Türbini				
7	Kondanser	43	-24916.4	-43638.7	-48714.7
8	Ejektör	35	-637.4	-706.4	-722.3
9	Glend Kondanser	45	0.0	0.0	0.0
10	I Nolu ABSI	35	-1861.5	-1722.6	-1525.1
11	II Nolu ABSI	35	-303.4	-1720.2	-1849.3
12	III Nolu ABSI	40	-1208.0	-874.5	-834.0
13	IV Nolu ABSI	40	-178.1	-975.9	-515.6
14	Degazör	40	-2387.4	-2866.5	-3181.8
15	I Nolu YBSI	50	-886.2	-397.2	-453.5
16	II Nolu YBSI	60	-956.8	-1871.9	-1214.2
Borular	Ana buhar hattı	48	-603.1	-2252.6	-1176.1
	Ara buhar hattı	45	-8.	0.0	-8.5
	Besleme suyu buhar hattı	38	-1035.6	-677.0	-1825.0
	Toplam	-	-1647.5	-2929.6	-3009.6

\*Negatif (-) işaretler transferin sistemden dış ortama gerçekleştiğini belirtmektedir.

**Çizelge 4.2.** IV. Ünite 1. yasa çözümü sonuçları.

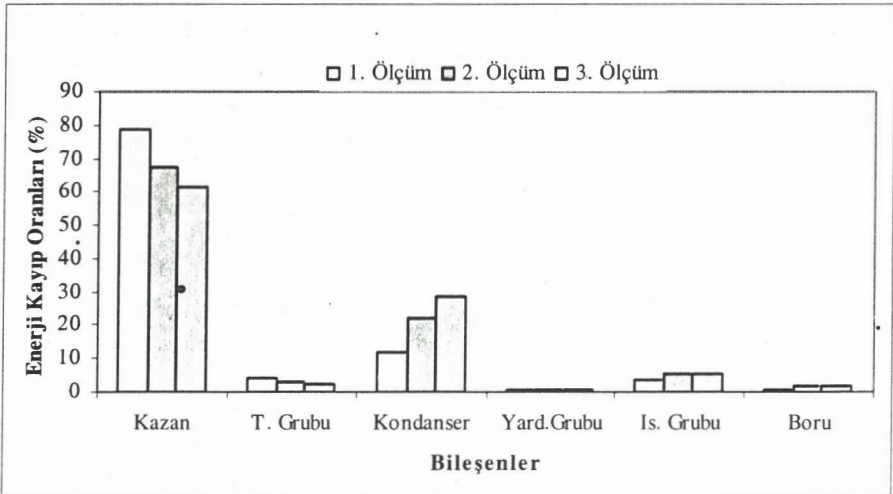
Bileşen No	Bileşen Adı	T <sub>yüzye</sub> (°C)	Q̇ (kW)		
			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	Kazan	60	-17697.5	-11120.2	-21289.1
2	Yüksek Basınç Türbini	70	-8254.6	-5511.5	-7499.9
3	Orta Basınç Türbini				
4	Alçak Basınç Türbini				
6	Kondanser	30	-57149.7	-43441.3	-63699.0
7	Ejektör	30	-379.0	-379.0	-325.8
8	Glend Kondanser	40	0.0	0.0	0.0
9	I Nolu ABSI	30	-1470.9	-291.7	-314.6
10	II Nolu ABSI	30	-3415.4	-4591.2	-4053.6
11	III Nolu ABSI	45	-190.8	-154.2	-351.5
12	Degazör	50	-3200.3	-2736.0	-3285.2
13	I Nolu YBSI	50	-2239.3	-1079.8	-463.5
14	II Nolu YBSI	50	-624.7	-350.8	-400.9
Borular	Ana buhar hattı	50	-1129.1	-1157.3	-1844.9
	Ara buhar hattı	40	-98.6	-115.6	-83.0
	Besleme suyu hattı	35	-1200.7	-1807.6	-511.1
	Toplam	-	-2428.3	-3080.5	-2439.0

**Çizelge 4.3.** II. Ünite 2. yasa çözümü sonuçları.

Bileşen No	Bileşen Adı	T <sub>yüzye</sub> (°C)	Q̇ <sub>D</sub> (kW)		
			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	Kazan	70	249089.9	246086.5	230432.2
2	Yüksek Basınç Türbini	75	37611.6	39499.9	39250.8
3	Ara Orta Basınç Türbini				
4	Orta Basınç Türbini				
5	Alçak Basınç Türbini				
7	Kondanser	43	8847.5	10021.7	10394.4
8	Ejektör	35	12.5	17.6	18.5
9	Glend Kondanser	45	0.0	0.0	0.0
10	I Nolu ABSI	35	144.4	142.0	309.0
11	II Nolu ABSI	35	102.3	159.3	149.7
12	III Nolu ABSI	40	31.1	81.6	105.5
13	IV Nolu ABSI	40	341.6	504.4	338.4
14	Degazör	40	56.7	82.6	160.8
15	I Nolu YBSI	50	940.3	992.5	1053.0
16	II Nolu YBSI	60	2731.6	2474.9	2145.5
KTP	Kondanser Tahliye Pompası	40	209.0	188.2	185.0
KBP	Kazan Besleme Suyu Pompaları	73	3399.9	2959.7	2910.3
Borular	Ana buhar hattı	48	1484.6	2555.9	1988.7
	Ara buhar hattı	45	109.9	0.0	129.1
	Besleme suyu hattı	38	383.0	517.6	929.2
	Toplam	-	1977.5	3073.5	3047.0

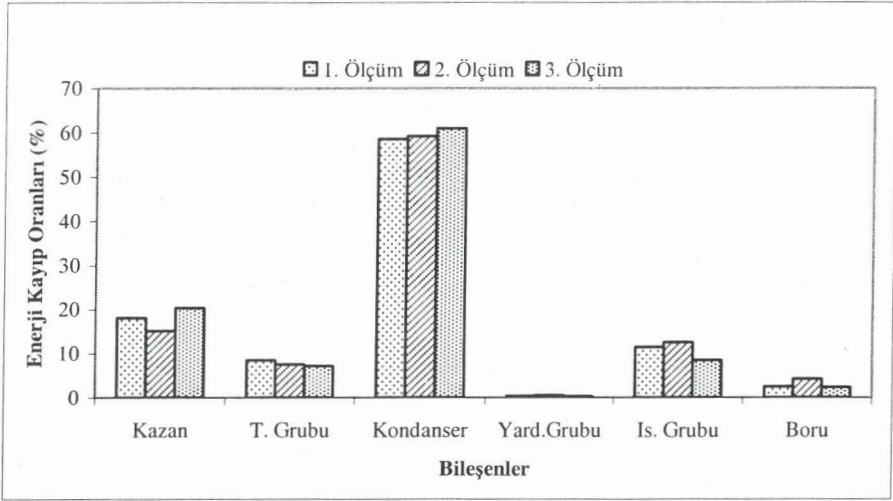
**Çizelge 4.4.** IV. Ünite 2. yasa çözümü sonuçları.

Bileşen No	Bileşen Adı	T <sub>yüzyey</sub> (°C)	E <sub>x</sub> D (kW)		
			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	Kazan	60	190408.1	168888.8	155218.0
2	Yüksek Basınç	70	41932.1	40717.4	36216.7
3	Türbini				
4	Alçak Basınç Türbini				
	Türbin Grubu				
6	Kondanser	30	7678.7	7424.5	5403.9
7	Ejektör	30	11.8	11.8	11.2
8	Glend Kondanser	40	0.0	0.0	0.0
9	I Nolu ABSI	30	417.3	301.7	11.4
10	II Nolu ABSI	30	10.7	93.6	247.2
11	III Nolu ABSI	45	861.5	848.9	739.4
12	Degazör	50	194.1	134.5	171.9
13	I Nolu YBSI	50	3523.2	1746.9	1479.1
14	II Nolu YBSI	50	135.6	877.4	1149.1
KTP	Kondanser Tahliye Pompası	30	183.6	174.5	199.8
KBP	Kazan Besleme Suyu Pompaları	100	2772.6	2833.8	3128.6
Borular	Ana buhar hattı	50	1680.0	1193.4	1396.8
	Ara buhar hattı	40	152.3	390.6	154.5
	Besleme suyu hattı	35	457.9	683.4	196.5
	Toplam	-	2290.2	2267.3	1747.9

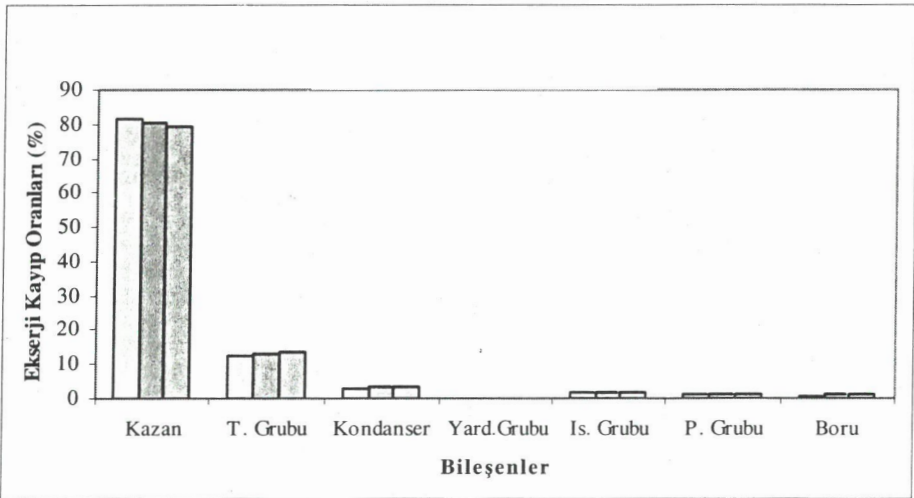


**Şekil 4.1.** Ünite II bileşenleri enerji kayıp oranları.

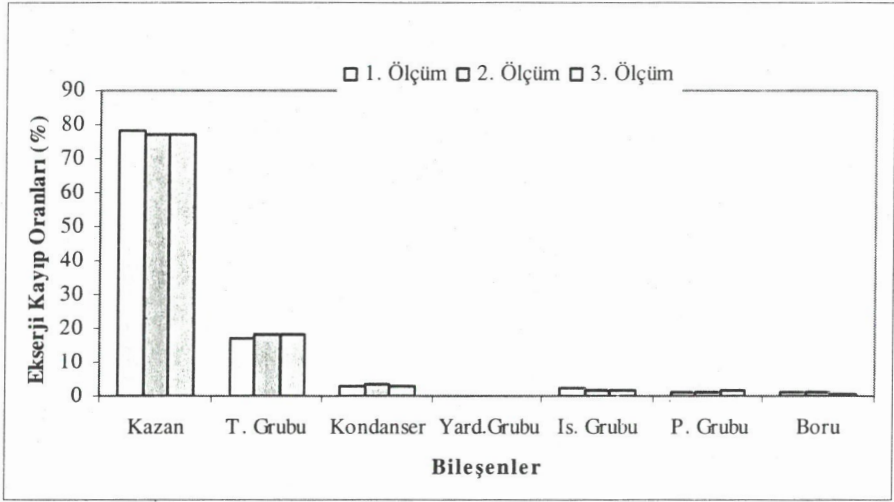




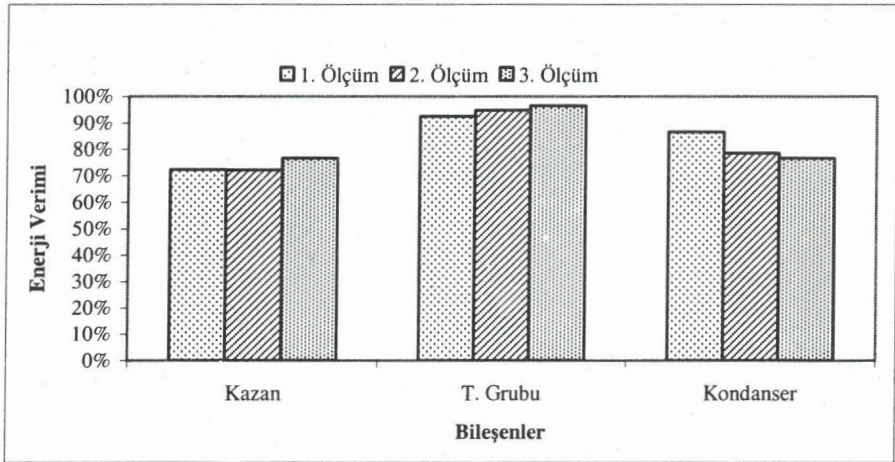
Şekil 4.2. Ünite IV bileşenleri enerji kayıp oranları.



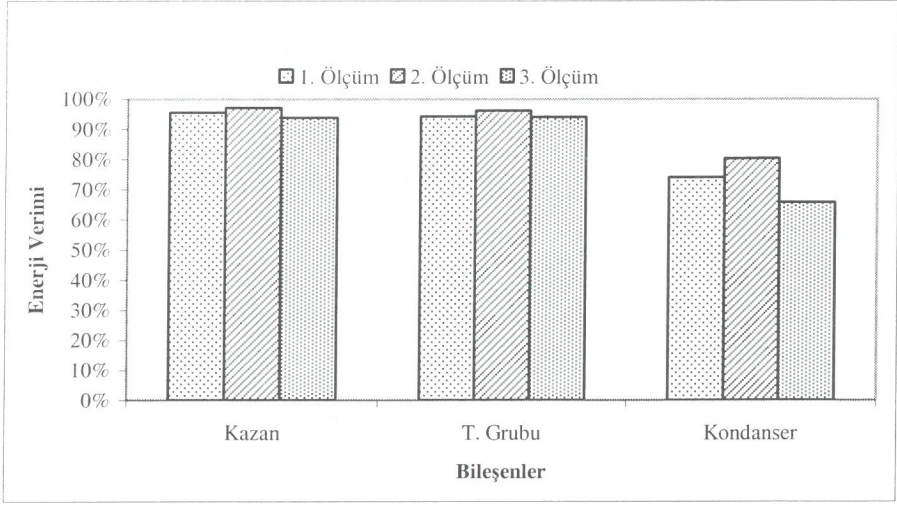
Şekil 4.3. Ünite II bileşenleri ekserji kayıp oranları.



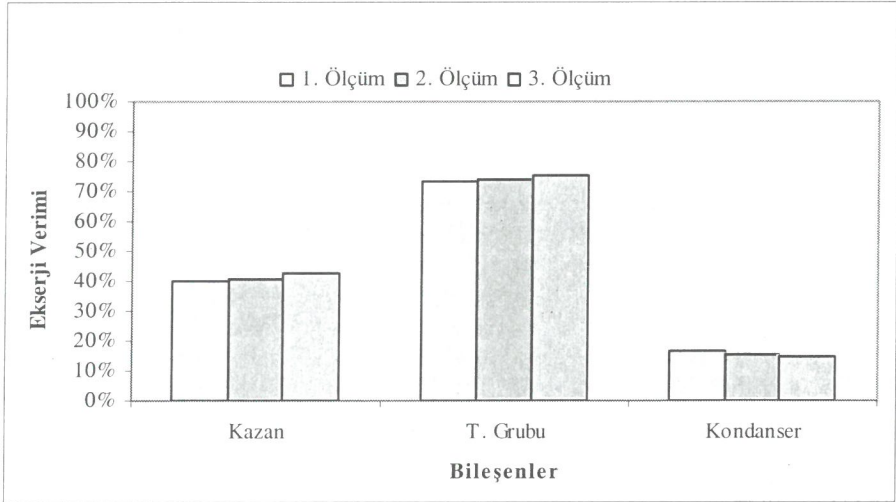
Şekil 4.4. Ünite IV bileşenleri ekserji kayıp oranları.



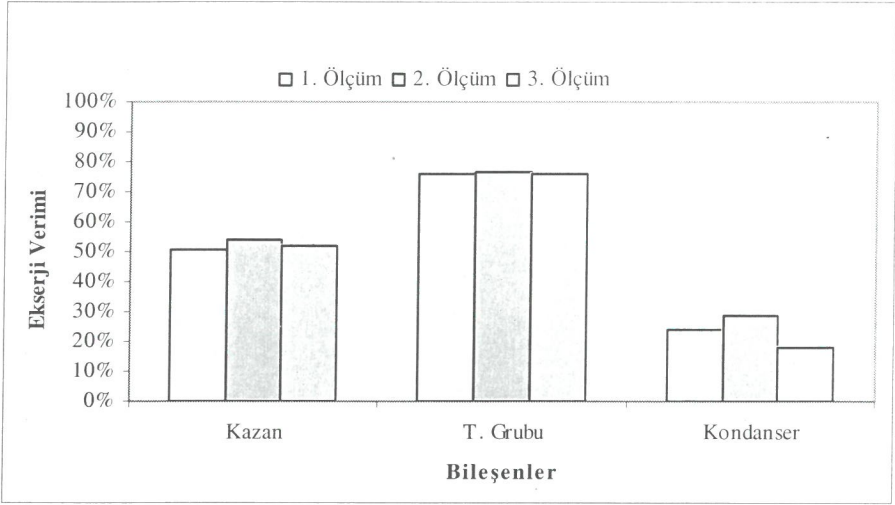
Şekil 4.5. Ünite II bileşenlerine ait enerji verimleri.



Şekil 4.6. Ünite IV bileşenlerine ait enerji verimleri.



Şekil 4.7. Ünite II bileşenlerine ait ekserji verimleri.



Şekil 4.8. Ünite IV bileşenlerine ait ekserji verimleri.

## 5. ÖNERİLER

Çevrimin olmazsa olmazları arasında yer alan kondanser için farklı bir durum söz konusudur. Kayıpların çok yüksek olduğu bu bileşende, soğutma suyuna verilen enerji ilk bakışta bir kayıp olarak görünse de, pompalara gelen akışın sıvı fazda olması zorunluluğu nedeniyle gerçekte bir kayıp değil zorunluluktur. Ancak, son yıllarda oldukça yaygınlaşan kojenere sistem gibi bir çözümle bu zorunlu kayıp yerini kazanca bırakabilir. Ayrıca, kondanserde soğutma amacıyla kullanılan su debisinin optimize edilmesi gerek enerji gerekse ekserji açısından büyük kazançlar sağlayacaktır.

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ve çevreyi daha az kirleten, doğal gaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır. Kütahya'daki hava kirliliğine tek alternatif olarak düşünülen doğal gaz, dışa bağımlılık açısından ikinci planda kalmadığı. Ayrıca, Seyitömer havzasındaki düşük kaliteli linyitlerin değerlendirilmesi amacıyla kurulmuş olan termik santralin doğal gaz santraline dönüşümü de oldukça maliyetlidir. Türkiye'nin ekonomik açıdan tüm milli kaynaklarını değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik açısından ise bu kaynakları en verimli şekilde kullanması zorunludur.

Yakma havasının gerektiğinden fazla veya eksik olması durumunda yanma veriminin, buna bağlı olarak kazan ve santral veriminin düşeceği açıktır. Bu nedenle optimum bir yanma sağlanması açısından taze hava fanları tekrar gözden geçirilmeli



ve otomatik kontrol tekniği düşünölmelidir. Türbin grubundan alınan ara buharın optimizasyonu yapılarak türbin dolayısıyla santral verimi arttırılabilir.

Kurulumu otuz senelik bir geçmişe dayanan Seyitömer termik santralının genel bir revizyonunun yapılması ve yeni teknolojilerle donatılması analiz neticesine göre gayet açıktır. Santralda, Seyitömer kömürlerine uygun yakma teknolojilerinin kullanılmasına özen gösterilmelidir. Toz kömür yakma tekniği yerine yüksek ısı transfer katsayısına sahip akışkan yataкта yakma sistemine geçilmeli ve santralda zenginleştirilmiş, kükürdü düşük kömür kullanılmalıdır[25].

## KAYNAKÇA

- [1] Arıkol, M., 1985, Ekserji analizine giriş, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Proje Çalışması, TÜBİTAK, Proje No: 0630048401, 34 s.
- [2] Rosen, M.A. and Dincer, I., 2001, Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development, Exergy an International Journal, 1, 3-13.
- [3] Yin, J., Shi, L., Zhu, M. and Han, L., 2000, Performance analysis of an AHT with different working fluid combinations, 67, 281-292.
- [4] Szargut, J., 1980, International progress in second law analysis, Energy, 5, 709-718.
- [5] Crane, P., Scott, D.S. and Rosen, M.A., 1992, Comparison of exergy of emissions from two energy conversion technologies, considering potential for environmental impact, International Journal Hydrogen Energy, 17, 345-350.
- [6] Rosen, M. A. and Dincer, I., 1997, On exergy and environmental impact, International Journal of Energy Research, 21, 643-654.
- [7] Dincer, I., 1998, Thermodynamics, exergy and environmental impact, in: Proceedings of the ISTP-11, The Eleventh International Symposium on Transport Phenomena, 121-125.
- [8] Sciubba, E., 1999, Exergy as a direct measure of environmental impact, in: Proceedings of the ASME Advanced Energy Systems Division, AES, 39, 573-581.
- [9] Ayres, R.U., Ayres, L.W. and Martinas, K., 1998, Exergy, waste accounting and life-cycle analysis, Energy, 23, 355-363.
- [10] Talbi, M.M. and Agnew, B., 2000, Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids, Applied Thermal Engineering, 20, 619-630.

- [11] Sözen, A., 2003, Effect of irreversibilities on performance of an absorption heat transformer used to increase solar pond's temperature, 29, 501-515.
- [12] Ahachad, M. and Charia, M., 1994, AHT applications to absorption refrigerating machine, in: Proceeding of the International Absorption Heat Pump Conference, ASME, 101-107.
- [13] Cornelissen, R.L., 1997, Thermodynamics and sustainable development, Ph.D. Thesis, University of Twente, 170 p.
- [14] Rosen, M.A., 2002, Clarifying thermodynamic efficiencies and losses via exergy, Exergy an International Journal, 2, 3-5.
- [15] Zheng, D., Uchiyama, Y. and Ishida, M., 1986, Energy-utilization diagram for two types of LNG power-generation systems, Energy, 11, 631-639.
- [16] Arslan O., 2005, Seyitömer termik santralı birinci ve ikinci yasa çözümlenmeleri, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [17] Can, A., 2004, Termik aktivasyonda ekserji ve entropinin rolü, 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt 2, 1047-1055.
- [18] Kameyama, H., Yoshida, K., Yamauchi, S. and Fueki, K., 1982, Evaluation of reference exergies for the elements, Applied Energy, 11, 733-755.
- [19] Szargut, J., 1989, Chemical exergies of the elements, Applied Energy, 32, 269-286.
- [20] Gallo, W.L.R. and Milanez, L.F., 1990, Choise of a reference stat efor exergitic analysis, Energy, 113-121.
- [21] Ahrendts, J., 1980, Reference states, Energy, 5, 667-677.
- [22] Kolip, A., Öztürk, T.Ö., Köse, R., Akçıl, M., 1998, Çimento üretim prosesi için kütle ve enerji denkliklerinin bilgisayar yardımıyla hesaplanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 1, 1-11.

- [23] Bejan, A. Tsatsaronis, G. ve Moran, M., 1996, Thermal design & optimization, John Wiley & Sons Inc., 542 p.
- [24] Çengel, A.Y., Boles, A.M., 1996, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill-Literatür ortak yayını, Çeviri: Taner Derbentli, 796.
- [25] Köse, R., 1997, Ülkemizdeki termik santraller ve getirdiği çevre sorunları, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Cilt V, 17-25, Ankara.

## THE FIRST AND SECOND LAW ANALYSIS OF SEYITOMER COAL - FIRED POWER PLANT

O. ARSLAN\* & R. KÖSE\*

*Abstract.* In the 21<sup>st</sup> century, energy is the most important concept which determines the development of nations, based on consumption per person. The electrical energy is the first concept when we talk about energy. In this case, Turkey is a developing country and meets its electrical energy need by coal-fired power plants which use low caloried lignites. Since these plants have environmental impacts and low efficiencies, they lose their importance. It is a necessity to use coal-fired power plants for electricity production why Turkey has rich coal and lignite reserves and why it is dependent on to foreign nations. In this study, energy and exergy analysis have been applied to Seyitomer coal-fired power plant which use low caloried Seyitömer lignites to determine the losses and to determine the places where losses occur. The requirements have also argued to increase the efficiency of power plant.

**Key Words:** Energy, Exergy, Coal-Fired Power Plant, Seyitomer.

\*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, Türkiye. oarслан@dumlupinar.edu.tr, rkose@dumlupinar.edu.tr