

# An Assessment of Energetic and Exergetic Performance Analysis of Central Heating Plant in a University Campus

Muharrem Imal  
Mechanical Engineering Department, Kahramanmaraş S.I. University  
46100, Kahramanmaraş, Turkey  
E-mail: muharremimal@ksu.edu.tr, muharremimal@gmail.com

## Abstract

Central heating and cooling plants are used in all living areas. Therefore, efficient use of energy is important. Energy and exergy analysis of the central heating plant located on the university campus was performed and the performance was evaluated. Energy and exergy analysis of the hot steam boiler and other sub-systems connected to the heating plant was performed and the results were calculated. By calculating the irreversibility, it was found that the most important exergy loss was 6067.73 kW in the boiler unit.

**Keywords:** Energy analysis, exergy analysis, steam boiler

**DOI:** 10.7176/JSTR/7-09-03

## Bir Üniversite Yerleşkesindeki Merkezi Isı Santralinin Enerjetik ve Ekserjetik Performansının Değerlendirilmesi

### Özet

Tüm yaşam alanlarında merkezi ısıtma ve soğutma santralleri kullanılmaktadır. Bu nedenle enerjinin verimli kullanılması önemlidir. Üniversite kampüsünde bulunan merkezi ısıtma santralinin enerji ve ekserji analizi yapılarak performansı değerlendirilmiştir. Kızgın buhar kazanı ve ısı tesisine bağlı diğer sistemlerin enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve sonuçları hesaplanmıştır. Tersinmezlik etkisi sonucu merkezi kazan ünitesinde en önemli ekserji kaybının 6067,73 kW olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji analizi, ekserji analizi, buhar kazanı

### 1. Giriş

Dünyada enerjiye olan ihtiyaç sürekli olarak artarken, enerjinin tasarruflu kullanımı da öne çıkmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil kaynaklı yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığı ve sanayileşmenin belirli bölgelerde yoğunlaşması çevre kirliliğini artırmaktadır. Bu durum, enerji geri kazanımına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasına yol açmaktadır. Enerjinin tasarruf yöntemlerinden birisi de ısı sistemlerinin enerji ve ekserji analizinin yapılarak performansının değerlendirilmesi ve sistemlerin verimini artırıcı iyileştirmeler yapılmasıdır.

Enerji analizi ve ekserji analizi ısı sistem uygulamalarının performansını belirlemede en etkili yoldur. Enerji analizi, sistemin nicel enerji potansiyeliyle ilgili bilgi verirken, ekserji analizi de sistemlerin nitel performanslarını hesaplamada ve enerji kayıplarının olduğu noktaları belirlemede etkili bir yöntemdir. Ekserji analizi, sistemin kullanılabilir enerji değerini hesaplamada kullanılır. Yani bir sistemde verimin artırılması için gerekli önlemlerin alınması ekserji analizinin uygulanmasını gerektirir.

Boylerin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Bir termik santralinin performansını hesaplamak için enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Bir kazan sisteminde hesaplanan enerji ve ekserji kayıplarını, yaptıkları enerji ve ekserji analizine göre ortaya koymuşlardır. Bir petrol rafinerisinde ekserji kayıplarını hesaplayarak sonuçları, daha etkili iyileştirmeler yapmak için kullanmıştır. Bir enerji

santraline enerji ve ekserji analizi uygulayarak, santraldeki ünitelerde ortaya çıkan ekserji kayıplarını hesaplamışlar ve veriminin artırılması için çözüm önermişlerdir. Bir birleşik ısı güç tesisinin ekserji analizini yaparak, buhar enjektörünün ekserji verimine etkisini hesaplamışlardır. Birleşik ısı ve güç üreten gaz türbinli kojenerasyon sistemine ekserji analizi uygulayarak performansını hesaplayan bir çalışma yayınlamışlardır. Enerji sisteminin optimum performansını hesaplamak için mühendislik ekonomisi ve ekserjinin birlikteliği ile termoekonomik analizi bir enerji tesisine uygulamıştır. Isı merkezinin bulunduğu yerleşke yaklaşık 240.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Kamu binalarının toplam ısı ihtiyacı 27.220.000 kcal/h'tır . Isıtma sisteminde doğalgazla çalışan 4 adet ve her biri 6.800.000 kcal/h kapasiteli kızgın su kazanı bulunmaktadır. Binaların ısıtma sistemi için 14 farklı noktada eşanjör ünitesi yer almaktadır. Şekil 1. 'de enerji ve ekserji analizinin uygulandığı merkezi ısı santrali görülmektedir. Isı merkezinde kazan sistemi yanında iki adet fan coil ve iki adet çiller sistemi de bulunmaktadır. Bu çalışmada, Kahramanmaraş S. İ. Üniversitesi yerleşkesinde ısı santralinin ısıtma ve soğutma sistemlerine enerji ve ekserji analizi uygulanarak elde edilen sonuçlara göre yapılan verim artırıcı çalışmalarının ardından bulunan sonuçlar ve etkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Enerji ve ekserji analizinin uygulandığı merkezi kazan sistemi



Şekil 2. Enerji ve ekserji analizinin uygulandığı ısı santrali fan coil ve çiller dağıtım sistemi

## 2. Enerji Analizi

Enerji analizi, termodinamiğin birinci yasasına göre (Eş.1.) ve sisteme enerjinin giriş ve çıkış değerleri esas alınarak yapılır. Bu analiz sisteme giren enerjinin ne kadarlık bir bölümünün istenen amaçlar için kullanılabilirliğini ve ne kadar enerjinin çevreye atıldığını nicel sonuçlar olarak vermektedir. Bu sonuçlar ile çizilen Sankey diyagramı veya Grossman diyagramı üzerinde giren ve çıkan enerji akışı gösterilir. Enerji analiz uygulamalarında enerjinin ne şekilde kullanıldığı ve hangi noktalarda verim artırıcı iyileştirmeler yapılabileceği bu diyagramlar ile belirlenir.

$$Q - W = \Delta E \quad (1)$$

Bir kontrol hacmine enerji, ısı ve iş alışverişi şeklinde giriş veya çıkış yaparken kütle girişi ve çıkışı da gerçekleşir. Kontrol hacmi içerisine kütle girişi olduğunda, sistemin toplam enerjisi artar, kontrol hacmi içerisinden bir kütle çıkışı olduğunda da, sistemin toplam enerjisi azalır. (Eş.2.)

$$\Delta E = Q - W + \Sigma E_{\dot{c}} - \Sigma E_g \quad (2)$$

$Q - W$  : Sınırlardan iş ve ısı olarak geçen toplam enerji.

$\Sigma E_g$  : Kontrol hacmine giren kütlelerin toplam enerjisi.

$\Sigma E_{\dot{c}}$  : Kontrol hacminden çıkan kütlelerin ait toplam enerjisi.

$\Delta E$  : Kontrol hacminde oluşan net enerji değişimi.

Isıtma ve soğutma sistemlerinde kontrol hacmi sınırlarından iş ve ısı olarak geçen toplam enerji miktarı entalpi değişim miktarına eşit olur.

$$Q - W = \Delta h \quad (3)$$

### 2.1 Buhar Kazanının Enerji Analizi

Kazanda oluşan ısı kayıplarını belirlemek için kazanın ısı dengesi bilinmesi gerekir. Bu değişkenler Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kazanın ısı dengesi değişkenleri

Yakıtın yanmasıyla oluşan enerji;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_y \times H_u \quad (4)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

$\dot{m}_y$  : Kullanılan yakıtın ait kütleli debisi (kg/s)

$H_u$  : Kullanılan yakıt için alt ısı değeri (kcal/h)

Kazanda oluşan enerji kaybı;

$$\dot{Q}_{KK} = \dot{Q}_y - [\dot{m}_K \times (h_{K2} - h_{K1})] \quad (5)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

$\dot{m}_K$  : Kazanda kullanılan akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h_{K2}$  : Kazanın çıkış noktasında akışkanın entalpisi (kJ/kg)

$h_{K1}$  : Kazanın giriş noktasında akışkanın entalpisi (kJ/kg)

### 2.2 Klima Santrali Enerji Analizi

Klima santrali içerisinde de sistem değişkenlerinin enerji dengesi yazılarak I. Kanun analizi yapılır. Klima santraline ait sistem değişkenleri Şekil 4. 'de verilmiştir.



Şekil 4. Klima santrali için ısıl denge değişkenleri

Klima santrali değişkenleri belirlendikten sonra Eşitlik 2. kullanılarak enerji analizi hesabı yapılır.

$$\dot{Q}_{KS} = \dot{m}_{KS} \times (h_{KS1} - h_{KS2}) \quad (6)$$

Burada;

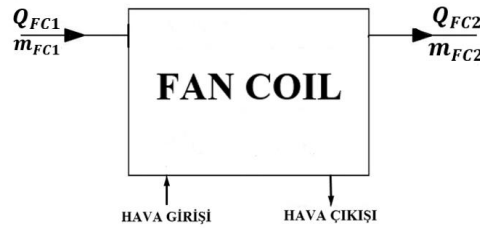
$\dot{m}_{KS}$  : Klima santralinde kullanılan akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h_{KS2}$  : Klima santrali çıkışında akışkanın entalpisi (kJ/kg)

$h_{KS1}$  : Klima santrali girişinde akışkanın entalpisi (kJ/kg)

### 2.3 Fan Coil Hattının Enerji Analizi

Fan coil hattının enerji dengesi değişkenleri Şekil 5. 'de verilmiştir.



Şekil 5. Fan-coil hattı için ısıl denge değişkenleri

Fan-coil hattına ait enerji ve kütle değişkenleri belirlendikten sonra Eşitlik 7. kullanılarak enerji analizi yapılır.

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{m}_{FC} \times (h_{FC1} - h_{FC2}) \quad (7)$$

Burada;

$\dot{m}_{FC}$  : Fan coil hattında kullanılan akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h_{FC1}$  : Fan coil hattı girişinde akışkanın entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{FC2}$  : Fan coil hattı çıkışında akışkanın entalpi değeri (kJ/kg)

### 2.4 Eşanjör Sisteminin Enerji Analizi

Eşanjör sisteminin enerji analizinde enerji dengesi değişkenleri Şekil 7. 'de verilmiştir.



Şekil 6. Eşanjör için ısıl denge değişkenleri

Belirlediğimiz değişkenleri kullanarak eşanjörde enerji analizi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$Q_{eş} = [\dot{m}_{EI} \times (h_{E1} - h_{E2})] + [\dot{m}_{EKS} \times (h_{E3} - h_{E4})] \quad (8)$$

Burada;

$\dot{m}_{EI}$  : Eşanjör ısıtma hattında akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$\dot{m}_{EKS}$  : Eşanjör kullanım suyu hattındaki akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h_{E1}$  : Eşanjör ısıtma girişinde akışkanın entalpisi (kJ/kg)

$h_{E3}$  : Eşanjör kullanım suyu girişinde akışkanın entalpisi (kJ/kg)

$h_{E2}$  : Eşanjör ısıtma çıkışında akışkanın entalpisi (kJ/kg)

$h_{E4}$  : Eşanjör kullanım suyu çıkışında akışkanın entalpisi (kJ/kg)

Sistemlerin ve sistemler üzerindeki tüm elemanların enerji değerlerini hesapladıktan sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak ısı verim değerleri hesaplanır.

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{Q}_{Çıkan}}{\sum \dot{Q}_{Giren}} \quad (9)$$

### 3. Ekserji Analizi

Ekserji tersinir bir süreç sonucunda çevre koşulları ile sistem arasında denge sağlandığında, elde edilen kullanılabilir iş miktarını ifade etmektedir. Yani, ekserji enerjinin kullanılabilen kısmı olarak açıklanır. Ekserji iş ya da iş üretebilme yeteneğidir ve ekserjinin hesaplanmasında çevre koşullarının bilinmesi gerekmektedir.

Bir sistem hal değişimleri sonunda, çevre ile termodinamik denge durumuna geldiğinde elde edilebilecek iş miktarı o maddenin ekserjisini ifade eder. Ekserji analizi kullanılarak sistemin giren enerjiye göre ne kadar verimli olduğunu anlamının yanında, sistemin kullanılabilir işini de hesaplamamız sağlanır. Bir hal değişimi esnasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma yeteneğinin azaldığını gösterir ve sistemlerin verimini artırmak için oldukça önemli bir analizdir. Buna göre, ekserji verimi toplam çıkan ekserjinin toplam giren ekserjiye oranı olarak ifade edilebilir.

$$\Psi = \frac{\sum X_{Ç}}{\sum X_{G}} \quad (10)$$

Kayıp kullanılabilir ekserji, tersinmezliğe eşittir ve ekserji dengesi,

$$\sum I = \sum X_{G} - \sum X_{Ç} \quad (11)$$

şeklinde yazılır.

#### 3.1 Buhar Kazanının Ekserji Analizi

Kazanlarda, herhangi bir yakıt yakıldığında yakıtın kimyasal enerjisi ısı enerjisi olarak ısıtma sisteminde kullanılan akışkana transfer edilir. Yanma olayı sonucunda açığa çıkan enerjinin tamamı akışkana aktarılamaz. Açığa çıkan ısının bir bölümü baca gazıyla, bir bölümü de kazan yüzeyinden çevreye atılmaktadır. Kazan verimi hesaplanırken atık ısı miktarı dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

Şekil 8.'de kazan hattının giriş-çıkış noktalarındaki ekserjik değişkenler gösterilmiştir. Şekildeki ekserji değişkenlerinin belirlenmesinden sonra ekserjik kayıplar hesaplanırsa, kazanın kayıp ekserjisi Eş. 14 ile hesaplanır.



Şekil 7. Kazanın ekserjik değişkenleri

$$\Sigma X_{giren} = \Sigma X_{çıkan} + \Sigma X_{kayıp} \quad (12)$$

$$X_Y + X_{K1} = X_{K2} + X_{K4} + X_{K3} + X_{Kayıp} \quad (13)$$

$$X_{Kayıp} = X_{Yakıt} + X_{K1} - (X_{K2} + X_{K4} + X_{K3}) \quad (14)$$

Yakıtın yanması sonucunda oluşan ekserji hesaplanırken sistemde doğalgazın yanması sırasında yakıtın metandan ( $CH_4$ ) oluştuğu kabul edilerek, yakıtın toplam ekserjisi yakıtın toplam kütlesi ile birim kütlenin ekserji değerinin çarpımı ile bulunur.

$$\Sigma X_{K4} = \dot{m}_Y \times \epsilon_{Yakıt} \quad (15)$$

Kazan yüzeylerinde gerçekleşen ekserjik kayıplar kazan yüzeyinden, kazanın bulunduğu ortama ısı geçişi sonucu meydana gelmektedir. Bu değer kazan yüzeyinden gerçekleşen kayıp olarak bilinir ve eşitlik 16. kullanılarak hesaplanır.

$$\Sigma X_{K4} = \dot{Q}_{Kayıp} \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \quad (16)$$

Eşitlikteki  $\dot{Q}_{Kayıp}$  değeri; kazanın ekserji değerinden yakıtın yanmasıyla oluşan ekserji değerinin çıkarılmasıyla elde edilmektedir ve eşitlik 17. ile bulunur

$$Q_{Kayıp} = \dot{m}_Y \times H_u - [Q_{Kazan} + (\dot{m}_{N_2} \Delta h_{N_2} + \dot{m}_{CO_2} \Delta h_{CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \Delta h_{H_2O})] \quad (17)$$

Yukarıdaki eşitlikte hesaplanan  $Q_{Kayıp}$  değeri Eşitlik 17' de kullanıldığında kazan yüzeyinden oluşan ekserjik kayıp hesaplanır.

Baca gazları için ekserji analizi hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\Sigma X_{K3} = \Sigma \dot{M}_i \times X_i \quad (18)$$

Kazan girişinde ekserjik kayıp sistemde dolaşım kazana geri dönen dönüş suyu için aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{K1} = \dot{m}_{Kazan} [(h_{K1} - h_0) - T_0 (s_{K1} - s_0)] \quad (19)$$

Kazan çıkışında ekserjik kayıp kazandan çıkıp sisteme gönderilen kazan çıkış suyu için hesabı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{K2} = \dot{m}_{Kazan} [(h_{K2} - h_0) - T_0 (s_{K2} - s_0)] \quad (20)$$

### 3.2 Klima Santrali Ekserji Analizi

Klima santral hattında oluşan ekserjik değişkenler Şekil 9. da gösterilmiştir.



Şekil 8. Klima santrali için ekserjik değişkenler

Klima santral hattının ekserjik değeri, suyun termodinamik özellikleri yardımıyla klima santrali girişi için Eşitlik 21. ile hesaplanır.

$$X_{KS1} = \dot{m}_{KS} [(h_{KS1} - h_0) - T_0 (s_{KS1} - s_0)] \quad (21)$$

Klima santrali çıkışındaki su sıcaklığı 70 °C'dir ve klima santrali girişi için eşitlik 22. ile hesaplanır.

$$X_{KS2} = \dot{m}_{KS}[(h_{KS2} - h_0) - T_0(s_{KS2} - s_0)] \quad (22)$$

Klima santrali hattında oluşan toplam ekserjik kayıp,  
Klima santrali hattındaki ekserjik değişkenler belirlendikten sonra eşitlik hesaplanır.

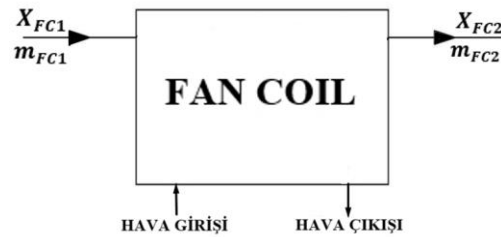
$$\Sigma X_{giren} = \Sigma X_{çıkan} + \Sigma X_{kayıp} \quad (23)$$

$$X_{KS1} = X_{KS2} + X_{kayıp} \quad (24)$$

$$X_{kayıp} = X_{KS1} - X_{KS2} \quad (25)$$

### 3.3 Fan Coil Hattının Ekserji Analizi

Aşağıdaki şematik gösterimde fan coil hattının ekserjik değişkenleri gösterilmiştir.



Şekil 9. Fan coil hattının ekserjik değişkenleri

Fan coil hattının girişinde ekserji değeri hesaplanırken fan coil hattına girişteki su sıcaklığı 70 °C' olduğundan suyun bu sıcaklıktaki termodinamiksel özellikleri ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$X_{FC1} = \dot{m}_{FC}[(h_{FC1} - h_0) - T_0(s_{FC1} - s_0)] \quad (26)$$

Fan coil hattının çıkışında ekserji değeri için su fan coil hattından 60 °C'de çıkmaktadır. Çıkış ekserji değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{FC2} = \dot{m}_{FC}[(h_{FC2} - h_0) - T_0(s_{FC2} - s_0)] \quad (27)$$

Fan coil hattının toplam ekserjik kaybı, fan coil hattı için gerekli değişkenler hesaplandıktan sonra aşağıdaki eşitlikler yardımıyla toplam ekserjik kayıp Eşitlik 30. ile hesaplanır.

$$\Sigma X_{giren} = \Sigma X_{çıkan} + \Sigma X_{kayıp} \quad (28)$$

$$X_{FC1} = X_{FC2} + X_{kayıp} \quad (29)$$

$$X_{kayıp} = X_{FC1} - X_{FC2} \quad (30)$$

### 3.4 Eşanjör Sisteminin Ekserji Analizi

Eşanjör hattı mühendislik fakültesi D ve E blokta sıcak su üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu hat ile sıcak su devresinden elde edilen ısı kazancı, soğuk suya aktarılmakta ve böylelikle kullanım sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Şehir şebekesinden 5 °C' de gelen kullanım sıcak suyu 40 °C'de kullanım alanlarına iletilmekte ve kazandan 90 °C'de çıkan eşanjör ısıtma suyu ise, 70 °C'de kazana geri dönmektedir.



Şekil 10. Eşanjör sistemi ekserjik değişkenleri

Eşanjör hattı ısıtma devresinin girişindeki ekserjik değer,  
 Eşanjör hattı ısıtma devresinin girişindeki su sıcaklığı 87,5 °C'dir ve giriş ekserji değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{EI1} = \dot{m}_{EI}[(h_{E1} - h_0) - T_0(s_{E1} - s_0)] \quad (31)$$

Eşanjör hattı ısıtma devresinin çıkışındaki ekserjik değer ise  
 Eşanjör hattı ısıtma devresinin çıkışındaki su sıcaklığı 60 °C'dir ve çıkış ekserji değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{EI2} = \dot{m}_{EI}[(h_{E2} - h_0) - T_0(s_{E2} - s_0)] \quad (32)$$

Eşanjör hattı kullanım suyu devresinin girişindeki ekserjik değer,  
 Eşanjör hattı kullanım suyu devresinin girişindeki su sıcaklığı 5 °C'dir ve giriş ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$X_{EK1} = \dot{m}_{EK}[(h_{E3} - h_0) - T_0(s_{E3} - s_0)] \quad (33)$$

Eşanjör hattı kullanım suyu devresinin çıkışındaki ekserjik değeri,  
 Eşanjör hattı kullanım suyu devresinin çıkışındaki su sıcaklığı 50 °C'dir ve çıkış ekserji değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$X_{EK2} = \dot{m}_{EK}[(h_{E4} - h_0) - T_0(s_{E4} - s_0)] \quad (34)$$

Eşanjör hattının toplam ekserjik kaybı, Eşitlik 37. yardımıyla hesaplanır.

$$\Sigma X_{giren} = \Sigma X_{çıkan} + \Sigma X_{kayıp} \quad (35)$$

$$X_{EI1} + X_{EK1} = X_{EI2} + X_{EK2} + X_{Kayıp} \quad (36)$$

$$X_{Kayıp} = X_{EI1} + X_{EK1} - (X_{EI2} + X_{EK2}) \quad (37)$$

Sistem üzerindeki tüm elemanların ekserji değerleri hesaplandıktan sonra ekserjik verim değeri Eş.38 ile hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\Sigma X_{çıkan}}{\Sigma X_{giren}} \quad (38)$$

## 7. Sonuç

Isı santralinde ısıtma tesisatlarının enerji analizleri yapıldıktan sonra detaylı sonuçlar elde edebilmek ve kayıp noktalarını belirleyebilmek için sistemin her elemanına ayrı ayrı ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler ve hesaplanan sonuçlar tablolarda belirtilmiştir. Hesaplanan enerji, entropi ve ekserji değerleri Tablo 1.1 ' de gösterilmiştir.



**Çizelge 1.1** Isıtma sistemi elemanlarının özellikleri ve noktasal ekserji miktarları

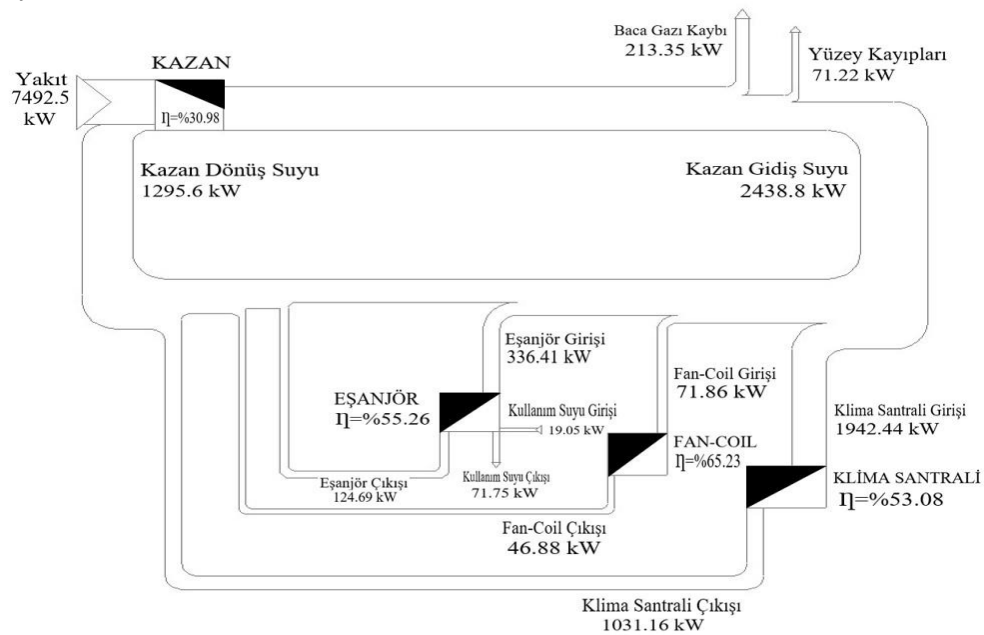
No	Açıklama	Akışkan Tipi	Sıcaklığı $T$ ( $^{\circ}C$ )	Entalpi $h$ (kJ/kg)	Entropi $s$ (kJ/kgK)	Kütleli Debi $\dot{m}$ (kg/s)	Ekserji Miktarı (kW)
1	Kazan girişi	Su	70	293.07	0.9551	80	1295.6
2	Kazan çıkışı	Su	90	377.04	1.1929	80	2438.8
3	Klima santrali giriş	Su	90	377.04	1.1929	63.75	1942.44
4	Klima santrali çıkış	Su	70	293.07	0.9551	63.75	1031.16
5	Fan coil girişi	Su	70	293.07	0.9551	4.44	71.86
6	Fan coil çıkışı	Su	60	251.17	0.8313	4.44	46.88
7	Eşanjör ısıtma girişi	Su	87,5	366.5	1.1637	11.81	336.41
8	Eşanjör ısıtma çıkışı	Su	60	251.18	0.8313	11.81	124.69
9	Eşanjör girişi	Su	5	21.02	0.0763	11.81	19.05
10	Eşanjör çıkışı	Su	50	209.34	0.7038	11.81	71.75

Tablo 1.1' de verilen ekserji miktarları kullanılarak hesaplanan ekserji kayıp değerleri gösterilmiştir. Ekserjik verim değerleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.2** Isıtma sistemindeki elemanların ekserjik kayıp ve verim değerleri

Cihaz No	Cihaz İsmi	$\Sigma X_{giren}$ (kW)	$\Sigma X_{çıkan}$ (kW)	$\Sigma X_{Kayıp}$ (kW)	Ekserjik Verim ( $\eta$ )
1	Kazan	8791.1	2723.37	6067.73	0.3097
2	Klima Santrali	1942.44	1031.16	911.28	0.5308
3	Fan Coil	71.86	46.88	24.98	0.6523
4	Eşanjör	355.46	196.44	159.02	0.5526

Elde edilen verim ve ekserjik kayıp verilerini değerlendirmek için aşağıdaki Grassman diyagramı çizilmiştir.



**Şekil 11.** KSÜ ısı santrali Grassman diyagramı

Hesap sonuçlarına göre Grassman diyagramı tüm cihazlar için ayrı ayrı kullanılabilir enerji ve tersinmezlikleri göstermektedir. Ayrıca bu diyagram kayıpların fazla olduğu yerleri belirleyerek verim artırıcı çözümlerin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde ekserji kaybının en fazla kazanda olduğu görülmektedir. Isıtma sistemlerinde ekserji verimi yüksek olan, düşük ekserji kaybı olan, ısıtma ve soğutma donanımları kullanılmalıdır.

### Kısaltma ve Semboller Listesi

#### Semboller

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrad Derece
X	: Toplam ekserji, kW
h	: Entalpi, kJ/kg
Hu	: Yakıt alt ısı değeri, kJ/kg
kW	: Kilowatt
kg	: Kilogram
$\dot{m}$	: Kütleli debi, kg/s
$\dot{M}$	: Molar kütleli debi, kg/s
Q	: Toplam enerji, kW
s	: Entropi, kJ/kg.K
T	: Sıcaklık $^{\circ}\text{C},\text{K}$
W	: İş, W, kW
$\eta$	: Verim
$\eta_I$	: Enerji verimi
$\eta_{II}$	: Ekserji verimi

#### Kısaltmalar

FC	: Fan Coil
KS	: Klima Santrali
EI	: Isıtma Esanjörü
ES	: Soğutma Esanjörü
CH	: Chiller

### 8. Kaynaklar

- Aljundi Isam H. 2009, Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. Chemical Engineering Department, Mutah University, Al-Karak, Jordan; 29: 324-28.
- Bilgen, S. 2000. "Bazı Yakıtların Kimyasal Ekserji Değerlerinin Hesaplanması," Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çomaklı, K. 2003. "Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi," Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Coşkun, A., Geredelioğlu, Ç., Bolattürk, A., Gökaslan, M. Y. 2013. "Çayırhan Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi," 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20/04/2013, İzmir.
- Dragan M, Uzunianu K, Panait T, Gelu C. 2011. The exergetic evaluation for the steam boiler, Thermal Engineering and Environment (HTE'11), Florence, Italy.
- Doldersum A. 1998, Exergy analysis proves viability of process modifications. Energy Conversion and Management ; 39 (16-18): 1781-89.
- Filiz, Ç., Uysal, C., Kılıç, E., Kurt, H. 2014. "Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi," 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 26-27/06/2014, Karabük.

- Güngör A, Karaçaylı İ, Şimşek E ve Canlı Y., 2017. "Geri Dönüş Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analizi," Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3): 19-29.
- Habib MA, Said SAM, Al Zaharana I. 1999, Thermodynamic optimization of reheat regenerative thermal-power plants. Applied Energy; 63: 17-34.
- Kopaç M, Zemher B.2004, Exergy analysis of the steam-injected gas turbine. Int. Journal of Exergy; 1 (3): 363-74.
- Kaushik, S. C., Singh, O. K. 2014. "Estimation of Chemical Exergy of Solid, Liquid and Gaseous Fuels Used in Thermal Power Plants," J Therm Anal Calorim, vol. 115, p. 903- 908.
- Mançuhan, E. 2011. "Yaş Tuğla Kurutulan Bir Tünel Kurutucuda Enerji ve Ekserji Analizi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 120, s. 35-42.
- Saidur, R., Ahamed, J. U., Masjuki H. H. 2010. "Energy, Exergy and Economic Analysis of Industrial Boilers," Energy Policy, vol. 38, p. 2188-2197.
- Sinanoğlu, U., Esen, D. Ö., Karakaş, E. 1996. "Enerji Ekonomisi Açısından Geri Kazanım Sistemleri," TMMOB 1. Enerji Sempozyumu, 12-14/11/1996, Ankara.
- Szargut, J. 2005. Exergy Method, Technical and Ecological Applications, WIT Press, Southampton, UK.
- Pak PS., Suzuki Y., 1997, Exergetic evaluation of gas turbine cogeneration systems for district heating and cooling. International Journal of Energy Research , 21: 209-20.
- Tsatsaronis G., 1993. Thermo-economic analysis and optimization of energy systems. Progress in Energy and Combustion Science, 19 (3): 227-57.
- Willems, D. 2006. "Advanced System Controls and Energy Savings for Industrial Boilers," Transactions of the Citrus Engineering Conference, Florida, vol. 52, p.11-22.