



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ VE YANMA HAVASI SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN EKSERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**ZAFER UTLU  
SERDAR TEKİN  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**





# MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ VE YANMA HAVASI SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN EKSERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Zafer UTLU  
Serdar TEKİN

## ÖZET

Merkezi ısıtma sistemlerinin termodinamik analizi ve yanma havası sıcaklık değişimlerinin ekserji verimliliğine etkisinin incelenmesi” isimli bu çalışmada temel amacı enerji ve ekserji verimi yüksek ısıtma sistemleri kurulması ve yakıt tüketiminin minimum düzeylere indirilmesidir.

Çalışma içeriğinde; termodinamiğin 1. ve 2. kanunları ile enerji, ekserji ve entropi kavramlarına dayanılarak, ısıtma kazanı, klima santrali, fancoil ve eşanjör gibi merkezi ısıtma bileşenlerinin enerji ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Merkezi ısıtma sistemi bileşenleri incelenerek enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve her birinin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Yanma havası miktarının ekserji verimliliği ve yakıt tüketimine olan etkileri incelenmiş ve bu etkiler sayısal verilerle ifade edilmiştir. Sistem üzerinde teorik iyileştirmeler tanımlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** enerji verimliliği, enerji analizi, ekserji analizi, merkezi ısıtma sistemleri, yanma havası, yakıt tüketiminin azaltılması,

## ABSTRACT

The main aim of this study, called “Thermodynamic analyse of central heating systems and examination of various parameters effect on exergy and fuel consumption”. First and second rules of thermodynamic, as well as energy, exergy entropy terms are described in the content of the thesis. Detail informations about energy and exergy calculations of central heating components, like heating boiler, air conditioning plant, fancoil and heat exchanger are presented. Energy and exergy units analysed by examining the components of central heating systems and each energy, exergy efficiency calculated. The effects of exterior temperature, amount of combustion air, combustion air temperature, hot water flowrate and return water temperature difference on exergy efficiency and fuel consumption analysed and these effects expressed by digital data. System enhanced theoretically.

**Keywords;** energy efficiency, energy analyses, exergy analyses, central heating systems, reduction of fuel consumption

## 1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık %35’i binalarda kullanılmaktadır. Binalarda kullanılan enerjinin ise yaklaşık %80’i ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve sıcak su temini için harcanmaktadır.

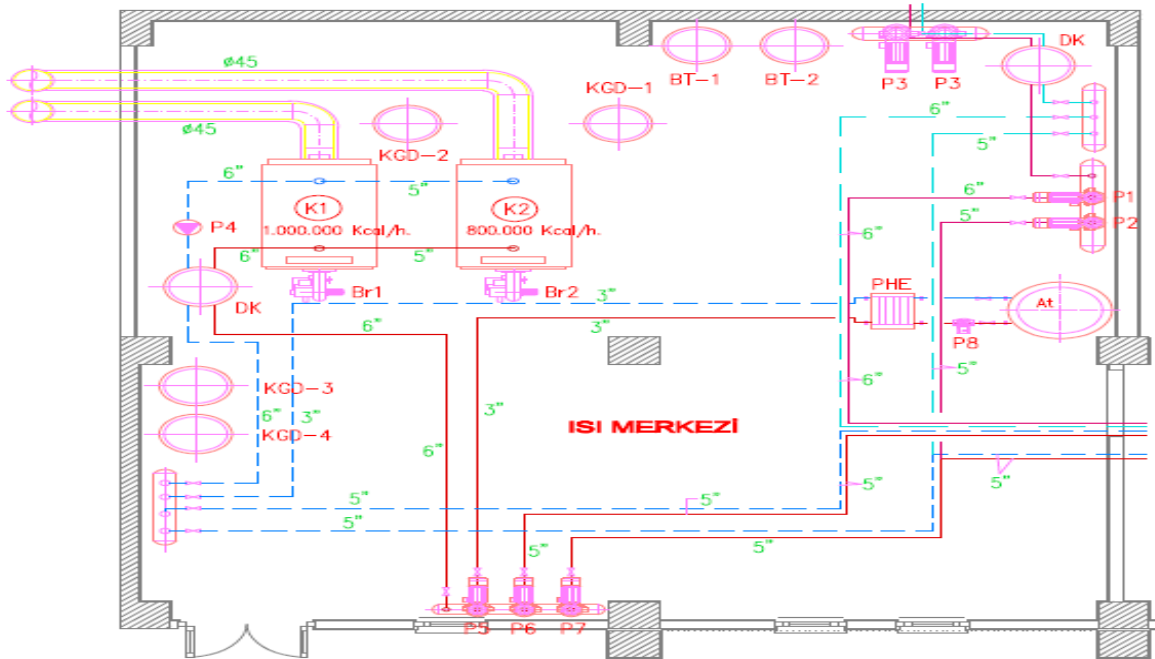
Avrupa'da konutlardaki ortalama enerji tüketimi  $100 \text{ kWh/m}^2$  dir. Türkiye de ise konutlarda ortalama enerji tüketimi  $200 \text{ kWh/m}^2$  düzeyindedir. Pasif ev bina tasarım kriterlerinde ise ortalama enerji tüketimi  $15 \text{ kWh/m}^2$  nin altında tüketilmektedir [1]. Değerler incelendiği zaman ülkemizdeki konutlarda enerji tüketimi, Avrupa'daki konutların tükettiği enerji miktarının iki katına ulaştığı görülmektedir. Bu kısa ve çarpıcı bilgi bile konutlardaki enerji tüketim durumumuzu ve bu konularda yapılacak çalışmalarda büyük bir enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğumuzu göstermektedir.

Bu durumda bile, ülkemizdeki binalarda kurulan HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) sistemlerinde yeterli analizler yapılmamaktadır. HVAC sistemlerini kurarken proje aşamasından başlayıp, inşa ve işletme sürecini de göz önüne alan ömür boyu maliyet, enerji ve ekserji analizleri yapılarak minimum enerji tüketimli sistemlerin kurulmasının önü açılmalıdır. Ayrıca, enerji, ekserji, termoekonomik ve egzergoekonomik analizler yapılarak kurulan, optimum yüksek enerji verimli HVAC sistemlerinin, ülkemizdeki binalarda enerji kullanımını %30-40 oranında azaltabileceği öngörülmektedir. Bu tasarruf potansiyeli, enerji ithalatında %72 dışa bağımlı olan ülkemizde, bu konuda daha çok ve fazla sayıda çalışma ve analizler yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır[2].

Merkezi Isıtma Sistemlerinin Termodinamik Analizi ve Çeşitli Parametrelerin Ekserji ve Yakıt Tüketimine Etkisinin İncelenmesi isimli çalışmada; Isıtma kazanı, klima santrali, fancoil ve eşanjör gibi merkezi ısıtma bileşenlerinin enerji ve ekserji hesaplamalarıyla ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur. Merkezi ısıtma sistemi bileşenleri incelenerek enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve her birinin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır.

## 2. SİSTEMİN TANITILMASI

Model bina, İstanbul Bakırköyde mevcut bir kamu binasıdır. Bina 4 katlı olup  $17.000 \text{ m}^2$  kapalı alana sahiptir. Binanın toplam ısı yükü  $1750 \text{ kW}$ ' dir. Isıtma sistemi merkezi sistem doğalgazla çalışan 2 adet ısıtma kazanı ile yapılmaktadır. Isı dağıtıcı olarak 8 adet klima santrali ve 160 adet fancoil ünitesi bulunmaktadır. Yaz soğutması hava soğutmalı chiller ünitesi ile yapılmaktadır. Fancoil hattı 2 borulu, klima santrali hatları ise 4 borulu sistem olarak tasarlanmıştır.



Şekil 1. Isı merkezi kat planı

K1: Isıtma Kazanı 1.000.000 kcal/h ; K2: Isıtma Kazanı 800.000kcal/h ; Br1: Brülör 232-1163 kW  
Br2: Brülör 377-1512 kW ; P1: Klima santrali soğutma pompası; P2: Fancoil soğutma pompası  
P3: Chiller soğutma pompası; P4: Kazan pompası; P5: Boyler pompası; P6: Klima santrali ısıtma  
pompası; P7: Fancoil ısıtma pompası; P8: Sıcak su sirkülasyon pompası; KGD1, KGD2: Kapalı  
genleşme deposu ; KGD3, KGD4: Kapalı genleşme deposu,BT1: Büzülme tankı; BT2: Büzülme tankı;  
At: Akümüstasyon tankı; PHE: Plakalı eşanjör, P9: Plakalı eşanjör sirkülasyon pompası

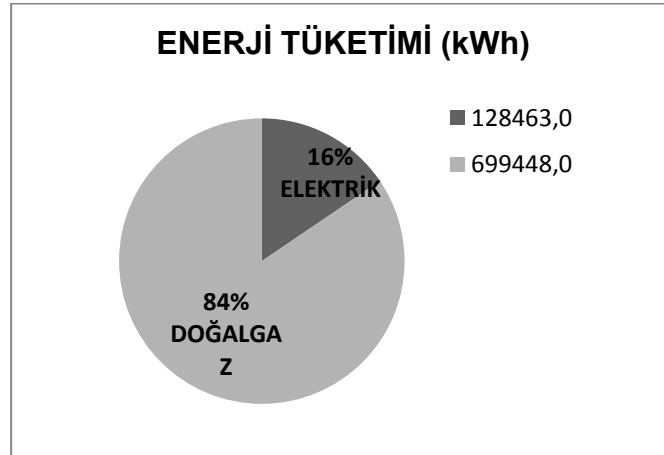
### 3. SİSTEM ANALİZİ

#### 3.1. Enerji Tüketimi

Model bina için İstanbul ili 2013 yılı Aralık-Ocak-Şubat aylarına ait olan 3 aylık dönemde kullanılan toplam enerji miktarı 827.921 kWh ve ödenen toplam enerji tüketim bedeli 117.129 TL dir. Model binanın 3 aylık enerji kullanımı m<sup>2</sup> başına 48,7 kWh/m<sup>2</sup> değerindedir. 3 aylık enerji ölçümlerini dikkate alırsak yıllık tüketim 194,8 kWh/m<sup>2</sup> değerinde olmaktadır.

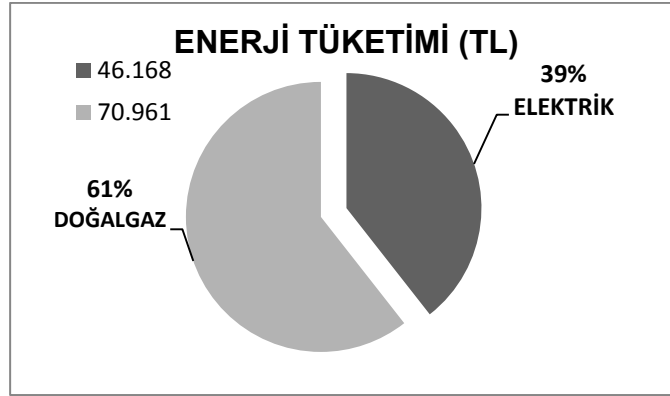
Isıtma için kullanılan toplam enerji miktarı 699.448 kWh ve ödenen bedel 70.961 TL (Doğalgaz birim fiyatı 0,10145 TL/kWh. İGDAŞ 01.03.2013 tarihi itibariyle doğalgaz perakende satış tarifesi KDV dahil birim fiyatıdır.) ve aynı dönem için elektrik enerjisi toplam tüketimi 128.473 kWh ve ödenen bedel 46.168 TL dir.(Elektrik birim fiyatı 0.360 TL/kWh. İstanbul BEDAŞ 01.03.2013 tarihi itibariyle elektrik perakende satış tarifesi KDV dahil birim fiyatıdır.)[3].

3 ay içerisinde tüketilen enerjinin **%84'ü** ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimi,kalan **%16'lık** kısmı ise elektrik enerjisi tüketimi şeklinde gerçekleşmiştir. Şekil 2' de model binanın Enerji Tüketimi (kWh) gösterilmiştir.



Şekil 2. Enerji Tüketimi (kWh)

Enerjiye ödenen bedel gözönüne alındığında yaklaşık olarak %61 doğalgaz ve %39 ise elektrik tüketimi şeklinde gerçekleşmiştir. Şekil 3' de model binanın Enerji Tüketimi (TL) gösterilmiştir.



Şekil 3. Enerji Tüketimi (TL)

### 3.2. Sistem Bileşenleri

Bir sıcak su sistemi genel olarak sıcak su kazanı, su taşıyıcı borular, ısıtıcı elemanlar, sirkülasyon pompası, genişleme kabı, otomatik kontrol cihazları ve çeşitli donatım ve ara parçalarından oluşur. Isıtıcı akışkan olarak sıcaklığı 110°C değerinin altında bulunan sıcak su kullanılır. Sıcak su kazanında üretilen sıcak su borularla ısıtılacak hacimlere yerleştirilmiş radyatör, fancoil, klima santrali ve sıcak hava apareyi gibi ısıtıcı elemanlara taşınır. Burada soğuyarak ısısını oda hacmine bırakan sıcak su, kazana geri döner. Suyun dolaşımı eski sistemlerde doğal olarak (gravite ile), yeni sistemlerde ise daha ekonomik ve konforlu olduğu için sirkülasyon pompaları ile sağlanır. Sistemde mevcut suyun ısınması sırasında artan hacim, genişleme kabı adı verilen bir depoda toplanır. Modern sistemlerde ise dış hava sıcaklığına göre çalışan elektronik panelli sistemler kullanılır. Su sıcaklığı 90/70°C yerine 70/55°C seçilerek, düşük sıcaklık ısıtması konforu sağlanabilir.

### 3.3. Model Bina Ekipman Listesi

Model binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleriyle ilgili cihaz ve ekipmanlar Tablo 1'de miktarları ve teknik özellikleriyle birlikte listelenmiştir.

Tablo 1. Model bina ekipman listesi

Ekipman	Miktar (adet)	Teknik özellikler
Isıtma Kazanı	1	1.000.000 kcal/h, Konstrüksiyon basıncı 3 bar
Isıtma Kazanı	1	800.000 kcal/h, Konstrüksiyon basıncı 3 bar
Isıtma Genişleme Tankı	2	1500 LT
Kazan Bacası	2	Ø450 Paslanmaz Çelik
Brülör	1	1163 kW
Brülör	1	1512 kW
Isıtma Boyleri	1	500 LT
Isıtma Eşanjörü	1	25.000 kcal/h, Plakalı Eşanjör, Test Basıncı 8 bar
Klima Santrali hattı ısıtma pompası	2	12,7 m <sup>3</sup> /h - Motor 2,2 kW - 1450 d/d - 11 mss
Fancoil hattı ısıtma pompası	2	10 m <sup>3</sup> /h - Motor 0,75 kW - 1450 d/d - 9 mss
Boyer ısıtma pompası	2	5 m <sup>3</sup> /h - Motor 0,37 kW - 1450 d/d - 7 mss
Radyatör ısıtma pompası	1	3,9 m <sup>3</sup> /h - Motor 2,2 Kw - 1450 d/d - 7mss
Kazan Sirkülasyon Pompası	1	33,4 m <sup>3</sup> /h - Mot1,1 kW - 1450 d/d - 5 mss
Eşanjör Sirkülasyon Pompası	1	2,3 m <sup>3</sup> /h - Motor 0,4 kW - 1450 d/d - 5mss
Klima Santrali	1	%20 - 26.500m <sup>3</sup> /h - IK123kW - SK65kW - Motor 11kW
Klima Santrali	1	%100 - 17.700m <sup>3</sup> /h - IK184kW - SK122kW - Motor 11kW



Klima Santrali	1	%100 - 6.100m <sup>3</sup> /h - IK66kW -SK40kW - Motor 3kW
Klima Santrali	1	%100 - 13.300m <sup>3</sup> /h - IK138kW -SK95kW - Motor 7,5kW
Klima Santrali	2	%100 - 7.500m <sup>3</sup> /h - IK74kW -SK50kW - Motor 4kW
Klima Santrali	1	%100 - 3.500m <sup>3</sup> /h - IK30kW -SK30kW - Motor 2,2kW
Klima Santrali	1	%100 - 4.500m <sup>3</sup> /h - IK39kW -SK30kW - Motor 2,2kW
Vantilatör	2	7500m <sup>3</sup> /h - Motor 2,2kW
Aspiratör	1	14.310m <sup>3</sup> /h - Motor 5,5kW
Aspiratör	1	4.140m <sup>3</sup> /h - Motor 1,5kW
Aspiratör	1	11.970m <sup>3</sup> /h - Motor 5,5kW
Aspiratör	1	3.150m <sup>3</sup> /h - Mot1,5kW
Aspiratör	1	4.050m <sup>3</sup> /h - Mot1,5kW
Aspiratör	1	14.000m <sup>3</sup> /h - Motor 3kW
Fancoil	40	Isıtma kapasitesi 1,9 kW
Fancoil	50	Isıtma kapasitesi 2 6 kW
Fancoil	70	Isıtma kapasitesi 3,2 kW

#### 4. SİSTEMİN BİLEŞENLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

##### 4.1. Fancoil Enerji ve Ekserji Analizi

Fancoil, su devresinden elde ettiği ısı kazancını, hava yolu ile mahalın ısıtılıp soğutulmasında kullanmaktadır. Fancoil enerji ve ekserji analizi ile verimlerinin hesaplanması aşağıdaki formüllerle açıklanmaktadır.

(T<sub>0</sub>= 0 °C ve 80-70 °C Çalışma aralığında)

Isıtma Kapasitesi=1,9 kW, h<sub>80</sub>=334,91 kJ/kg; s<sub>80</sub>=1,0753 kJ/kgK; h<sub>70</sub>=292,98 kJ/kg; s<sub>70</sub>=0,9549 kJ/kgK [4].

T<sub>0</sub>=0°C T<sub>1</sub>=20°C T<sub>r</sub>=25°C

##### 4.1.1. Fancoil Enerji Analizi

Fancoil Kütle Dengesi

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad [1]$$

Fancoil Enerji Dengesi

Giren Enerji = Çıkan Enerji (Üretilen(Faydalı) Enerji + Kayıp Enerji )

$$\dot{E}_{fcu.su.giriş} = \dot{E}_{fcu.su.çıkış} + \dot{Q}_{fcu} + \dot{E}_{fcu} \quad [2]$$

$$\dot{E}_{fcu.su.giriş} - \dot{E}_{fcu.su.çıkış} = \dot{Q}_{fcu} + \dot{E}_{fcu} \quad [3]$$

$$\Delta \dot{E}_{fcu.su} = \dot{Q}_{fcu} + \dot{E}_{fcu} \quad [4]$$

Fancoil Su Devresinden Elde Edilen Enerji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}_{fcu.su}$ )

$$\Delta \dot{E}_{fcu.su} = \dot{m}_{fcu.su} \cdot c_{su} \cdot (T_{fcu.su.giriş} - T_{fcu.su.çıkış}) \quad [5]$$

$$\Delta \dot{E}_{fcu.su} = 0,0375 \cdot 4186,8 \cdot (80-70) = 1570 \text{ W}$$

Fancoil İçerisinde Meydana Gelen Enerji Kaybının Hesaplanması ( $\dot{E}_{fcu}$ )

$$\Delta \dot{E}_{fcu.su} = \dot{Q}_{fcu} + \dot{E}_{fcu} \quad [6]$$

$$\dot{E}_{fcu} = \Delta \dot{E}_{fcu.su} - \dot{Q}_{fcu} \quad [7]$$

$$\dot{E}_{fcu}=1570-1430=140 \text{ W}$$

Fancoil Enerji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{enerji}$ )

$$\eta_{enerji} = \frac{\dot{Q}_{fcu}}{\Delta \dot{E}_{fcu.su}} \quad [8]$$

$$\eta_{enerji} = \frac{1430}{1575} = 0,91$$

#### 4.1.2. Fancoil Ekserji Analizi

Fancoil Ekserji Dengesi

$$\dot{E}x_{fcu.su.giriş} - \dot{E}x_{fcu.su.çıkış} = \dot{E}x_{fcu} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [9]$$

$$\Delta \dot{E}x_{fcu.su} = \dot{E}x_{fcu} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [10]$$

$$\Delta \dot{E}_{fcu.su} = \dot{\phi}_H = \dot{m}_{fcu.su} \cdot c_{su} \cdot (T_{fcu.su.giriş} - T_{fcu.su.çıkış}) \quad [11]$$

$$\dot{m}_{fcu.su} = \frac{1570}{4186,8 \cdot (80 - 70)} = 0,0375 \text{ kg / s}$$

Fancoil Su Devresinden Elde Edilen Ekserji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}x_{fcu.su}$ )

$$\Delta \dot{E}x_{fcu.su} = \dot{m}_{fcu.su} \cdot \left[ (h_{su.giriş} - h_{su.çıkış}) - T_o \cdot (s_{su.giriş} - s_{su.çıkış}) \right] \quad [12]$$

$$\Delta \dot{E}x_{fcu.su}=0,0375 \cdot [(334,91-292,98)-273 \cdot (1,0753-0,9549)] = 339,77 \text{ W}$$

Fancoilden Mahale Verilen Ekserji Miktarının Hesaplanması ( $\dot{E}x_{fcu}$ )

$$\dot{E}x_{fcu} = \dot{\phi}_H \cdot \left( 1 - \frac{T_o}{T_r} \right) \quad [13]$$

$$\dot{E}x_{fcu} = 1570 \cdot (1-273/298)=131,71 \text{ W}$$

Fancoil Ekserji Yıkımının Hesaplanması ( $\dot{E}x_{yıkım}$ )

$$\dot{E}x_{yıkım} = \Delta \dot{E}x_{fcu.su} - \dot{E}x_{fcu} \quad [14]$$

$$\dot{E}x_{yıkım}=339,77-131,71=208,06 \text{ W}$$

Fancoil Ekserji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{ekserji}$ )

$$\eta_{ekserji} = \frac{\dot{E}x_{fcu}}{\Delta \dot{E}x_{fcu.su}} \quad [15]$$

$$\eta_{ekserji} = \frac{131,71}{339,77} = 0,388$$



Bina içerisinde mevcut olan farklı kapasitelerdeki fancoillerin analizi yapılmış ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Fancoil üniteleri ekserji ve enerji verimleri

Fancoil Ünite	$\Delta\dot{E}_{fcu.su} = \dot{Q}_H$ (W)	$Q_{fcu}$ (W)	$\dot{m}_{fcu.su}$ (kg/s)	$\Delta\dot{E}_{x_{fcu.su}}$ (W)	$\dot{E}_{x_{fcu}}$ (W)	$\dot{E}_{x_{fcu.yıkım}}$ (W)	$\Psi_{ekserji}$	$\eta_{enerji}$
Tip1	1570	1430	0,0375	339,77	131,71	208,06	0,388	0,91
Tip2	2225	1992	0,05314	481,52	186,66	294,86	0,388	0,90
Tip3	3000	2711	0,07165	649,24	251,68	397,56	0,388	0,90

## 4.2. Eşanjör Enerji Ve Ekserji Analizi

Eşanjör, sıcak su devresinden elde ettiği ısı kazancını, soğuk suya aktararak kullanım sıcak su talebini karşılamaktadır. Eşanjör enerji ve ekserji analizi ile verimlerinin hesaplanması aşağıdaki formüllerle açıklanmaktadır.

**( $T_o = 0^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  /  $10-60^\circ\text{C}$  Çalışma Aralığında)**

Isıtma kazanından eşanjöre giren su sıcaklığı  $90^\circ\text{C}$ , dönen suyun sıcaklığı  $70^\circ\text{C}$  dir. Eşanjöre  $10^\circ\text{C}$ 'de giren soğuk su,  $60^\circ\text{C}$  kullanım sıcak suyu olarak binaya gönderilmektedir.

$$\begin{aligned} h_{90} &= 376,92 \text{ kJ/kg} & s_{90} &= 1,1925 \text{ kJ/kgK} & h_{70} &= 292,98 \text{ kJ/kg} & s_{70} &= 0,9549 \text{ kJ/kgK} \\ h_{10} &= 42,01 \text{ kJ/kg} & s_{10} &= 0,1510 \text{ kJ/kgK} & h_{60} &= 251,13 \text{ kJ/kg} & s_{60} &= 0,8312 \text{ kJ/kgK} \quad [4]. \end{aligned}$$

### 4.2.1. Eşanjör Enerji Analizi

#### Eşanjör Enerji Dengesi

Giren Enerji = Çıkan Enerji (Üretilen(Faydalı) Enerji+Kayıp Enerji)

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_4 + \dot{E}_{kayıp} \quad [16]$$

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_2 = \dot{E}_4 - \dot{E}_3 + \dot{E}_{kayıp} \quad [17]$$

$$\Delta\dot{E}_{sıcaksu} = \Delta\dot{E}_{soğuksu} + \dot{E}_{kayıp} \quad [18]$$

Eşanjör Sıcak Su Devresinden Elde Edilen Enerji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta\dot{E}_{sıcaksu}$ )

$$\Delta\dot{E}_{sıcaksu} = \dot{m}_{sıcaksu} \cdot c_{su} \cdot (T_1 - T_2) \quad [19]$$

$$\Delta\dot{E}_{sıcaksu} = 0,35 \cdot 4186,8 \cdot (90-70) = 29307,6 \text{ W}$$

Eşanjör Soğuk Su Devresine Aktarılan Enerji Miktarının Hesaplanması ( $\Delta\dot{E}_{soğuksu}$ )

$$\Delta\dot{E}_{soğuksu} = \dot{m}_{soğuksu} \cdot c_{su} \cdot (T_4 - T_3) \quad [20]$$

$$\Delta\dot{E}_{soğuksu} = 0,125 \cdot 4186,8 \cdot (60-10) = 26167,5 \text{ W}$$

Eşanjör Kayıp Enerji Miktarının Hesaplanması ( $\dot{E}_{kayıp}$ )

$$\dot{E}_{kayıp} = \Delta\dot{E}_{sıcaksu} - \Delta\dot{E}_{soğuksu} \quad [21]$$

$$\dot{E}_{kayıp} = 29307,6 - 26167,5 = 3140,10 \text{ W}$$

Eşanjör Enerji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{enerji}$ )

$$\eta_{enerji} = \frac{\Delta\dot{E}_{soğuksu}}{\Delta\dot{E}_{sıcaksu}} \quad [22]$$

$$\eta_{enerji} = \frac{26167,5}{29307,6} = 0,893$$

#### 4.2.2. Eşanjör Ekserji Analizi

Eşanjör Ekserji Dengesi

Giren Ekserji = Çıkan Ekserji + Kayıp Ekserji

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_3 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{kayıp} \quad [23]$$

$$\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 = \dot{E}x_4 - \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{kayıp} \quad [24]$$

$$\Delta \dot{E}x_{sıcaksu} = \Delta \dot{E}x_{soğuksu} + \dot{E}x_{kayıp} \quad [25]$$

Eşanjör Sıcak Su Devresinden Elde Edilen Ekserji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}x_{sıcaksu}$ )

$$\Delta \dot{E}x_{sıcaksu} = \dot{m}_{sıcaksu} \cdot [(h_1 - h_2) - T_0 \cdot (s_1 - s_2)] \quad [26]$$

$$\Delta \dot{E}x_{sıcaksu} = 0,35 \cdot [(376,92 - 292,98) - 273 \cdot (1,1925 - 0,9549)]$$

$$\Delta \dot{E}x_{sıcaksu} = 6,67632 \text{ kW} = 6676,32 \text{ W}$$

Eşanjör Soğuk Su Devresine Aktarılan Ekserji Miktarının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}x_{soğuksu}$ )

$$\Delta \dot{E}x_{soğuksu} = \dot{m}_{soğuksu} \cdot [(h_4 - h_3) - T_0 \cdot (s_4 - s_3)] \quad [27]$$

$$\Delta \dot{E}x_{soğuksu} = 0,125 \cdot [(251,13 - 42,01) - 273 \cdot (0,8312 - 0,1510)]$$

$$\Delta \dot{E}x_{soğuksu} = 2,928174 \text{ kW} = 2928,175 \text{ W}$$

Eşanjör Kayıp Ekserji Miktarının Hesaplanması ( $\dot{E}x_{kayıp}$ )

$$\dot{E}x_{kayıp} = \Delta \dot{E}x_{sıcaksu} - \Delta \dot{E}x_{soğuksu} \quad [28]$$

$$\dot{E}x_{kayıp} = 6676,32 - 2928,175 = 3748,145 \text{ W}$$

Eşanjör Ekserji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{ekserji}$ )

$$\eta_{ekserji} = \frac{\Delta \dot{E}x_{soğuksu}}{\Delta \dot{E}x_{sıcaksu}} \quad [29]$$

$$\eta_{ekserji} = \frac{2928,175}{6676,32} = 0,438$$

#### 4.3. Klima Santrali Enerji ve Ekserji Analizi

Klima santrali, fancoilde olduğu gibi su devresinden elde ettiği ısı kazancını, hava yolu ile mahalın ısıtılıp soğutulmasında kullanmaktadır. Klima santrali enerji ve ekserji analizi ile verimlerinin hesaplanması aşağıdaki formüllerle açıklanmaktadır



( $T_0=0^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  Çalışma aralığında )

$$h_{90}=376,92 \text{ kJ/kg} \quad s_{90}=1,1925 \text{ kJ/kgK} ; h_{70}=292,98 \text{ kJ/kg} \quad s_{70}=0,9549 \text{ kJ/kgK}$$

$$T_0=0^\circ\text{C} ; T_i=20^\circ\text{C} ; T_R=25^\circ\text{C} ; T_{ks.su.giriş}=90^\circ\text{C} ; T_{ks.su.çıkış}=70^\circ\text{C}$$

#### 4.3.1. Klima Santrali Enerji Analizi

##### Klima Santrali Kütle Dengesi

$$\sum_{\text{giriş}} \dot{m} = \sum_{\text{çıkış}} \dot{m} \quad [30]$$

##### Klima Santrali Enerji Dengesi

Giren Enerji=Çıkan Enerji (+Üretilen(Faydalı) Enerji+Kayıp Enerji)

$$\dot{E}_{ks.su.giriş} = \dot{E}_{ks.su.çıkış} + \dot{Q}_{ks} + \dot{E}_{ks} \quad [31]$$

$$\dot{E}_{ks.su.giriş} - \dot{E}_{ks.su.çıkış} = \dot{Q}_{ks} + \dot{E}_{ks} \quad [32]$$

$$\Delta \dot{E}_{ks.su} = \dot{Q}_{ks} + \dot{E}_{ks} \quad [33]$$

Klima Santrali Su Devresinden Elde Edilen Enerji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}_{ks.su}$ )

$$\Delta \dot{E}_{ks.su} = \dot{m}_{ks.su} \cdot c_{su} \cdot (T_{ks.su.giriş} - T_{ks.su.çıkış})$$

$$\Delta \dot{E}_{ks.su} = 3,284 \cdot 4186,8 \cdot (90-70) = 275000 \text{ W}$$

Klima santralinden mahale olan ısı transfer miktarının hesaplanması ( $\dot{Q}_{ks}$ )

$$\text{Enerji dengesi } \dot{Q}_{ks} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) \quad [34]$$

Klima santrali hava giriş noktasındaki nemli havanın kısmi basıncı;

$$P_{v1} = \phi_1 \cdot P_{g1} \quad [35]$$

$$P_{v1} = 0,30 \cdot (0,8721 \text{ kPa}) = 0,262 \text{ kPa}$$

Klima santrali hava giriş noktasındaki kuru havanın kısmi basıncı;

$$P_{a1} = P_1 - P_{v1} \quad [36]$$

$$P_{a1} = 100 - 0,262 = 99,738 \text{ kPa}$$

Kuru hava yoğunluğu;

$$v_1 = \frac{R_a \cdot T_1}{P_{a1}} \quad [37]$$

$$v_1 = \frac{(0,287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 278 \text{ K})}{99,738 \text{ kPa}} = 0,79995 \text{ m}^3 / \text{kg kuru hava}$$

Kuru hava debisi;

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} \quad [38]$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{9750 \text{ m}^3 / \text{h}}{0,79995 \text{ m}^3 / \text{kg}} = 12188,22 \text{ kg} / \text{h}$$

Giriş noktasındaki havanın nem miktarı;

$$\omega_1 = \frac{0,622 \cdot P_{v1}}{P_1 - P_{v1}} \quad [39]$$

$$\omega_1 = \frac{0,622 \cdot (0,262 \text{ kPa})}{99,738 \text{ kPa}} = 0,00163$$

$h_1$  klima santrali hava giriş noktasındaki entalpi değeri (kJ/kg)

$$h_1 = C_p \cdot T_1 + \omega_1 \cdot h_{g1} \quad [40]$$

$$h_1 = (1,0059 \text{ kJ / kg}^\circ\text{C}) \cdot (5^\circ\text{C}) + (0,00163) \cdot (2510,6 \text{ kJ / kg}) = 9,12 \text{ kJ / kg}$$

$h_2$  klima santrali hava çıkış noktasındaki entalpi değeri (kJ/kg);

$$h_2 = C_p \cdot T_2 + \omega_2 \cdot h_{g2} \quad [41]$$

$$h_2 = (1,005 \text{ kJ / kg}^\circ\text{C}) \cdot (25^\circ\text{C}) + (0,00163) \cdot (2547,2 \text{ kJ / kg}) = 29,28 \text{ kJ / kg}$$

Klima Santralinden Mahale Olan Isı Transfer Miktarı;

$$\dot{Q}_{ks} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) \quad [42]$$

$$\dot{Q}_{ks} = (12188,22 \text{ kg / h}) \cdot (29,28 \text{ kJ / kg} - 9,12 \text{ kJ / kg}) = 245711 \text{ W}$$

Klima Santrali İçerisinde Meydana Gelen Enerji Kaybının Hesaplanması ( $\dot{E}_{ks}$ )

$$\Delta \dot{E}_{ks.su} = \dot{Q}_{ks} + \dot{E}_{ks} \quad [43]$$

$$\dot{E}_{ks} = \Delta \dot{E}_{ks.su} - \dot{Q}_{ks} \quad [44]$$

$$\dot{E}_{ks} = 275000 - 245711 = 29289 \text{ W}$$

Klima Santrali Enerji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{enerji}$ )

$$\eta_{enerji} = \frac{\dot{Q}_{ks}}{\Delta \dot{E}_{ks.su}} \quad \eta_{enerji} = \frac{245711}{275000} = 0,89 \quad [45]$$

#### 4.3.2. Klima Santrali Ekserji Analizi

Klima Santrali Ekserji Dengesi

$$\dot{E}x_{ks.su.giriş} = \dot{E}x_{ks.su.çıkış} + \dot{E}x_{ks} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [46]$$

$$\dot{E}x_{ks.su.giriş} - \dot{E}x_{ks.su.çıkış} = \dot{E}x_{ks} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [47]$$

$$\Delta \dot{E}x_{ks.su} = \dot{E}x_{ks} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [48]$$

$$\Delta \dot{E}_{ks.su} = \dot{m}_{ks.su} \cdot c_{su} \cdot (T_{ks.su.giriş} - T_{ks.su.çıkış}) \quad [49]$$

$$\dot{m}_{ks.su} = \frac{275000}{4186,8 \cdot (90 - 70)} = 3,28 \text{ kg / s}$$

Klima Santrali Su Devresinden Elde Edilen Ekserji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}x_{ks.su}$ )

$$\Delta \dot{E}x_{ks.su} = \dot{m}_{ks.su} \cdot \left[ (h_{su.giriş} - h_{su.çıkış}) - T_o \cdot (s_{su.giriş} - s_{su.çıkış}) \right] \quad [50]$$

$$\Delta \dot{E}_{x_{ks.su}} = 3,28 \cdot [(376,92 - 292,98) - 273 \cdot (1,1925 - 0,9549)] = 62645,46 \text{ W}$$

Klima Santralinden Mahale Verilen Ekserji Miktarının Hesaplanması ( $\dot{E}_{x_{ks}}$ )

$$\dot{E}_{x_{ks}} = \dot{\phi}_H \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) \quad [51]$$

$$\dot{E}_{x_{ks}} = 275000 \cdot \left(1 - \frac{273}{298}\right) = 23070,47 \text{ W}$$

Klima Santrali Ekserji Yıkımının Hesaplanması ( $\dot{E}_{x_{yıkım}}$ )

$$\dot{E}_{x_{yıkım}} = \Delta \dot{E}_{x_{ks.su}} - \dot{E}_{x_{ks}} \quad [52]$$

$$\dot{E}_{x_{yıkım}} = 62645,46 - 23070,47 = 39574,99 \text{ W}$$

Klima Santrali Ekserji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{ekserji}$ )

$$\eta_{ekserji} = \frac{\dot{E}_{x_{ks}}}{\Delta \dot{E}_{x_{ks.su}}} \quad \eta_{ekserji} = \frac{23070,47}{62645,46} = 0,368 \quad [53]$$

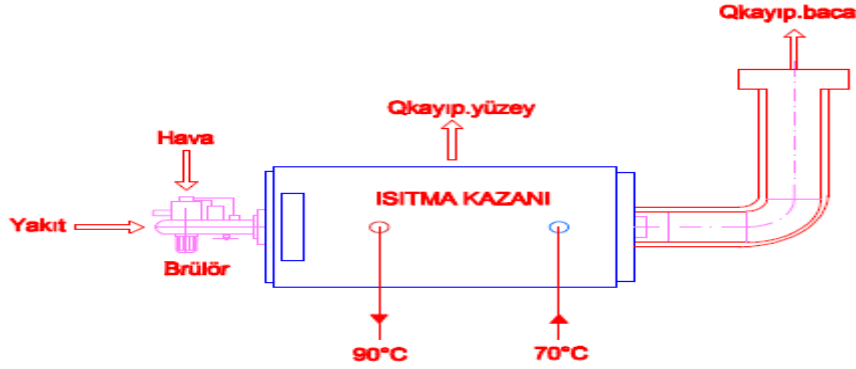
Bina içerisinde mevcut olan farklı kapasitelerdeki klima santrallerinin analizi yapılmış ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Klima santralleri ekserji ve enerji verimleri

Klima Santrali	$\Delta \dot{E}_{ks.su} = \dot{Q}_H$ (W)	$Q_{ks}$ (W)	$\dot{m}_{ks.su}$ (kg/s)	$\Delta \dot{E}_{x_{ks.su}}$ (W)	$\dot{E}_{x_{ks}}$ (W)	$\dot{E}_{x_{ks.yıkım}}$ (W)	$\eta_{ekserji}$	$\eta_{enerji}$
KS01	275000	245711	3,28	62645,46	23070,47	39574,99	0,368	0,89
KS02	250000	223030	2,99	56950,42	20973,15	35977,26	0,368	0,89
KS03	87500	76863	1,04	19932,65	7340,60	12592,04	0,368	0,88
KS04	187500	167588	2,24	42712,81	15729,87	26982,95	0,368	0,89
KS05	105000	94504	1,25	23919,17	8808,72	15110,45	0,368	0,90
KS06	105000	94504	1,25	23919,17	8808,72	15110,45	0,368	0,90
KS07	49500	44102	0,59	11276,18	4152,68	7123,50	0,368	0,89
KS08	63500	56703	0,76	14465,41	5327,18	9138,22	0,368	0,89

#### 4.4. Isıtma Kazanı Enerji Ve Ekserji Analizi

Şekil 4 de ısıtma kazanı şematik olarak gösterilmektedir. Brülör kısmında yanma sonucu reaksiyona giren yakıt hava karışımı ile elde edilen ısı enerjisi bina içerisine sıcak su olarak gönderilmektedir. Mahallerdeki ısı transferi sonucu enerjisi azalan su tekrar ısıtma kazanına dönmektedir. Yanma sonucunda oluşan ürünler, baca gazı olarak atmosfere salınmaktadır.



Şekil 4. Isıtma Kazanı şematik şekli

İncelenen ısıtma kazanında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz büyük oranda Metan ( $\text{CH}_4$ ), daha düşük oranlarda Etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), Propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), Bütan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), Azot ( $\text{N}_2$ ), Karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), Hidrojensülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ve Helyum ( $\text{He}$ ) gibi çeşitli hidrokarbonlar içermektedir. Bu bileşenlerin oranı gazın kaynağına göre farklılıklar göstermektedir [5].

Isıtma Kazanı enerji analizi için öncelikle binanın ve sistemin ısı kaybı hesapları yapılmalıdır. Yapılan ısı kaybı hesabına göre ısıtma kazanı kapasitesi tayin edilerek uygun ısıtma kazanı seçimi yapılmalıdır. Bu çalışmada dış hava sıcaklığı ( $T_0=0^\circ\text{C}$ ) için binanın ısı kaybı  $\dot{Q}_{\text{ısıtma}} = 1750 \text{ kW}$  olarak hesap edilmiştir.

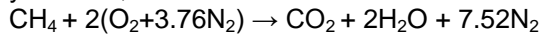
Enerji analizi gerçekleştirebilmek için gerekli olan kütle dengesi ve enerji akışı yukarıdaki kontrol hacminde gösterilmektedir. Termodinamik analizlere göre, kontrol hacmi için kütle ve enerji dengesi şu şekilde ifade edilmektedir [4].

( $T_0=0^\circ\text{C}$  ve  $90\text{-}70^\circ\text{C}$  çalışma aralığında)

$$h_{90}=376,92 \text{ kJ/kg} \quad s_{90}=1,1925 \text{ kJ/kgK} \quad h_{70}=292,98 \text{ kJ/kg} \quad s_{70}=0,9549 \text{ kJ/kgK} \quad [4].$$
$$T_0=0^\circ\text{C}; \quad T_i=20^\circ\text{C}; \quad T_R=25^\circ\text{C}; \quad T_{\text{kazan.su.giriş}}=70^\circ\text{C}; \quad T_{\text{kazan.su.çıkış}}=90^\circ\text{C}$$

#### 4.4.1. Isıtma Kazanı Enerji Analizi

Doğalgazın tamamının metandan oluştuğu kabul edilerek, doğalgaz yanma denklemi şu şekilde yazılabilir;



Tablo 4. Yanma reaksiyonuna giren ve çıkan bileşiklerin entalpi değerleri [4].

	Bileşik	$\bar{h}_f^0$ (kJ/ kmol)	$\bar{h}$ (273 K) (kJ/ kmol)	$\bar{h}$ (450 K) (kJ/ kmol)	$\bar{h}_0$ (kJ/ kmol)
Reaksiyona giren bileşikler	$\text{CH}_4$	-74850	0	-	0
	$\text{O}_2$	0	7946	-	8682
	$\text{N}_2$	0	7937	-	8669
Reaksiyondan çıkan bileşikler	$\text{CO}_2$	-393520	-	15483	9364
	$\text{H}_2\text{O}$	-241820	-	15080	9904
	$\text{N}_2$	0	-	13105	8669

$$\bar{q}_{yanma} = \sum_{reaksiyon} n_r \cdot (\bar{h}_f^0 + \bar{h} + \bar{h}_o)_{reaksiyon} - \sum_{üretilen} n_{\bar{u}} \cdot (\bar{h}_f^0 + \bar{h} + \bar{h}_o)_{üretilen} \quad [54]$$

$n_r$  : Reaksiyona giren kimyasal bileşiğin mol sayısı

$n_{\bar{u}}$  : Reaksiyondan çıkan kimyasal bileşiğin mol sayısı

$$\bar{q}_{yanma} = [1(-74850) + 2(0 + 7946 - 8682) + 7,52(0 + 7937 - 8669)] - [1(-393520 + 15483 - 9364) + 2(-241820 + 15080 - 9904) + 7,52(0 + 13105 - 8669)]$$

$$\bar{q}_{yanma} = 745503,64 \text{ kJ/kmol CH}_4$$

$M_{CH_4} = 16,043 \text{ kg/kmol}$  (1 kmol metanın kütlesi)

$$q_{yanma} = \frac{\bar{q}_{yanma}}{M_{yakıt}} \quad q_{yanma} = \frac{745503,64}{16,043} \quad q_{yanma} = 46469,09 \text{ kJ/kg} \quad [55]$$

$\dot{Q}_{yanma}$  : Yanma sırasında açığa çıkan ısı enerjisi değeri(kW);  $Q_{ısıtma}$ :1750 kW ( $T_0=0$  °C için binanın ısı kaybı)

$\eta = 0.90$  (Isıtma kazanı üretici firma katalog bilgilerine göre, kazanın yanma verimi)

$$Q_{yanma} = \frac{Q_{ısıtma}}{\eta} = \frac{1750}{0,90} = 1944,44 \text{ kW} \quad \dot{m}_{yakıt} = \frac{Q_{yanma}}{q_{yanma}} = \frac{1944,44}{4646,09} = 0,04184 \text{ kg/s} = 150,64 \text{ kg/h}$$

#### 4.4.2. Isıtma Kazanı Ekserji Analizi

$$\dot{E}x_{yakıt} = \dot{E}x_{su,çıkış} - \dot{E}x_{su,giriş} + \dot{E}x_{kaz.yüzey} + \dot{E}x_{baca} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [56]$$

$$\dot{E}x_{yakıt} = \Delta \dot{E}x_{su} + \dot{E}x_{kaz.yüzey} + \dot{E}x_{baca} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [57]$$

$$\dot{E}x_{yakıt} = \Delta \dot{E}x_{su} + \dot{I}_{tersinmezlik} \quad [58]$$

$$\Delta \dot{E}x_{su} = \dot{E}x_{su,çıkış} - \dot{E}x_{su,giriş} \quad [59]$$

Isıtma Kazanında oluşan toplam Tersinmezlik;

$$\dot{I}_{tersinmezlik} = \dot{E}x_{kaz.yüzey} + \dot{E}x_{baca} + \dot{E}x_{yıkım} \quad [60]$$

$$\dot{I}_{tersinmezlik} = \dot{E}x_{yakıt} - \Delta \dot{E}x_{su} \quad [61]$$

#### 4.4.3. Isıtma Kazanı Su Devresinden Elde Edilen Ekserji Kazancının Hesaplanması ( $\Delta \dot{E}x_{su}$ )

$$\Delta \dot{E}x_{su} = \dot{E}x_{su,çıkış} - \dot{E}x_{su,giriş} \quad [62]$$

$$\Delta \dot{E}x_{su} = \dot{m}_{su} \cdot \left[ (h_{su,çıkış} - h_{su,giriş}) - T_0 \cdot (s_{su,çıkış} - s_{su,giriş}) \right] \quad [63]$$

$\Delta \dot{E}x_{su}$  : Su devresinden elde edilen ekserji kazancı (kW)

$h_{90} = 376,92 \text{ kJ/kg}$     $h_{70} = 292,98 \text{ kJ/kg}$     $s_{90} = 1,1925 \text{ kJ/kgK}$     $s_{70} = 0,9549 \text{ kJ/kgK}$

$$\dot{m}_{su} = \frac{Q_{ısıtma}}{(h_{90} - h_{70})} = \frac{1750}{(376,92 - 292,98)} \quad [64]$$

$\dot{m}_{su} = 20,848 \text{ kg/s} = 75053,61 \text{ kg/h}$     $T_0 : 273 \text{ K}$

$$\Delta \dot{E}x_{su} = (20,848) \cdot [(376,92 - 292,98) - 273 \cdot (1,1925 - 0,9549)] \quad \Delta \dot{E}x_{su} = 397,684 \text{ kW}$$

**4.4.4 Isıtma Kazanında Meydana Gelen Tersinmezliğin Hesaplanması ( $I_{\text{tersinmezlik}}$ );**

$$I_{\text{tersinmezlik}} = \dot{E}x_{\text{yakıt}} - \Delta \dot{E}x_{\text{su}} \quad [65]$$

$$I_{\text{tersinmezlik}} = 2481,80 - 397,684 \quad I_{\text{tersinmezlik}} = 2084,11 \text{ kW}$$

**4.4.5 Isıtma Kazanı Ekserji Veriminin Hesaplanması ( $\eta_{\text{ekserji}}$ )**

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{\Delta \dot{E}x_{\text{su}}}{\dot{E}x_{\text{yakıt}}} \quad \eta_{\text{ekserji}} = \frac{\Delta \dot{E}x_{\text{su}}}{\dot{E}x_{\text{yakıt}}} = \frac{397,684}{2481,80} \quad \eta_{\text{ekserji}} = 0,16$$

**4.5. Isıtma Kazanı  $T_o = -6, -3, 0, 3, 6, 9, 12, 15^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  Çalışma Aralığındaki Termodinamik Verilerin Analizi**

Isıtma kazanı için,  $T_o = 0^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  aralığındaki hesaplamalar yukarıda detaylı şekilde gösterilmiştir.  $T_o = -6, -3, 3, 6, 9, 12, 15^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  aralığındaki hesaplamalarda benzer şekilde yapılarak Tablo 5 de gösterilmiştir.

**Tablo 5.**  $T_o = -6, -3, 0, 3, 6, 9, 12, 15^\circ\text{C}$  ve  $90-70^\circ\text{C}$  çalışma koşullarındaki termodinamik analizler

$Q_{\text{ısıtma}}$ (kW)	$Q_{\text{yanma}}$ (kW)	$q_{\text{yanma}}$ (kJ/kmol)	$T_o$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\dot{E}x_{\text{yakıt}}$ (kW)	$\Delta E_{x_{\text{su}}}$ (kW)	$\dot{m}_{\text{yakıt}}$ (kg/h)	$\dot{E}x_{\text{ters.}}$ (kW)	$\eta_{\text{ekserji}}$ %
2095	2327,78	46364,65	-6	2977,55	427,405	180,74	2550,14	0,144
1923	2136,11	46416,87	-3	2729,40	412,545	165,67	2316,86	0,151
1750	1944,44	46469,09	0	2481,80	397,684	150,64	2084,11	0,160
1578	1752,78	46520,72	3	2234,76	382,823	135,64	1851,94	0,171
1405	1561,11	46572,94	6	1988,24	367,963	120,67	1620,27	0,185
1233	1369,44	46624,69	9	1742,26	353,102	105,74	1389,16	0,203
1060	1177,78	46676,91	12	1496,80	338,242	90,84	1158,56	0,226
888	986,11	46728,53	15	1251,89	323,381	75,97	928,51	0,258

**5. SONUÇ**

“Merkezi ısıtma sistemlerinin termodinamik analizi ve yanma havası sıcaklık değişimlerinin ekserji verimliliğine etkisinin incelenmesi” isimli çalışmanın içeriğinde; Isıtma kazanı, klima santrali, fancoil ve eşanjör gibi merkezi ısıtma bileşenlerinin enerji ve ekserji hesaplamalarıyla ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur. İstanbul Bakırköy’de bulunan bir kamu binasının Merkezi ısıtma sistemi bileşenleri incelenerek enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve her birinin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığı, yanma havası sıcaklığı ve gidiş-dönüş suyu sıcaklık farkının ekserji verimliliği ve yakıt tüketimine olan etkileri incelenmiş ve bu etkiler sayısal verilerle ifade edilmiş ve sistem üzerinde teorik iyileştirmeler yapılmıştır.

Fancoil ünitesi tip1 için enerji verimi 0,91 ekserji verimi 0,388; Klima santrali 01 için enerji verimi 0,89 ekserji verimi 0,368; Isıtma kazanı enerji verimi 0,90 ekserji verimi 0,16; Eşanjör ünitesi enerji verimi 0,893 ekserji verimi 0,438 olarak hesaplanmıştır. Çeşitli değişkenler incelenerek; dış hava sıcaklığı arttıkça tersinmezlik miktarının azaldığı, ekserji veriminin arttığı ve tüketilen yakıt miktarının azaldığı görülmüştür.

$-6^\circ\text{C}$  dış hava koşullarındaki ekserji verimi 0,144 yakıt tüketimi 180,74 kg/h;  $-3^\circ\text{C}$  dış hava koşullarındaki ekserji verimi 0,151 yakıt tüketimi 165,67 kg/h ve  $0^\circ\text{C}$  dış hava koşullarındaki ekserji veriminin 0,160 yakıt tüketiminin 150,64 kg/h olduğu ve dış hava sıcaklığı arttıkça ekserji veriminin arttığı görülmüştür.



Model binanın yakıt tüketim miktarı; ısıtma kazanı 0°C ve 90-70 °C aralığında çalıştığı kabul edilerek bir aylık ısıtma sezonu için hesaplanarak Toplam Tüketilen Yakıt Miktarı 1710818,48 kWh olarak bulunmuştur. Bir sezon için tüketilen toplam yakıt bedeli 171.595,09 TL olarak hesaplanmıştır.

$T_o = 0^\circ\text{C}$  ve 90-70 °C çalışma aralığında 1 m<sup>3</sup> doğalgaz %100 taze hava ile yanma gerçekleştirdiğinde ekserji verimi 0.160 olarak gerçekleşmektedir.%90 taze hava ile yanma gerçekleştiğinde ekserji verimi 0.144 ve %80 taze hava ile yanma gerçekleştiğinde ekserji verimi 0.128 olmaktadır. Yanma havası miktarı azaldıkça ekserji verimi de azalmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **S.Tekin.**, Danışman. Doç.Dr.Zafer UTLU., Merkezi ısıtma sistemlerinin termodinamik analizi ve çeşitli parametre değişimlerinin ekserji verimliliği ve yakıt tüketimine etkisinin incelenmesi Tez Danışman: **Doç. Dr. Zafer Utlu.**,İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.,Bilim Dalı Kodu: 625.04.00.Sunuş Tarihi: 07.07.2013
- [2] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, www.enerji.gov.tr alanından
- [3] ", www.igdass.com.tr alanından
- [4] Utlu, Z. ve A. Hepbaşlı, "Parametrical Investigation of the Effect of Dead (Reference) State on Energy and Exergy Utilization Efficiencies of Residential–Commercial Sectors: A Review and An Application", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(4), 603-634 (2007).
- [5] İGDAŞ, "Gaz&Teknoloji / Doğalgaz / Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

## ÖZGEÇMİŞ

### Zafer UTLU

1966 Isparta doğumludur. Ege Üniversitesinden 1999 yılında Yüksek Lisans ve 2003 yılında Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. 2010 Yılında Makine Mühendisliği alanında Doçent olmuştur. 2010 yılından beri İstanbul Aydın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanlarının bir bölümü; Termodinamik, Isıl Sistemler, Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Termodinamik analiz, Isıl sistemlerin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizi, Biyodizel yakıt üretim sistemleri, Sıfır enerjili bina sistemleri ve Yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

### Serdar TEKİN

Lisans Eğitimini Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2014 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Bir kamu kuruluşunda yüksek mühendis olarak görev yapmaktadır.

