

Adıyaman Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Emine OĞUR^{1*}, Aydın ÇITLAK²

¹ Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ emine3302@hotmail.com, ² acitlak@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25/11/2020)

Kabul/Accepted: 23/01/2021)

Öz: Günümüzde dünya ve ülkemiz için en büyük eksikliklerden biride enerjidir. Bu sebeple enerji en verimli biçimde kullanılmalıdır. Bu çalışmada Adıyaman Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi binasında bulunan ısıtma hattının ekserji ve enerji analizi yapılmıştır. Kazanda yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Isıtma sistemindeki sıcak su fan-coil ve klima santralleri hatlarına boylar vasıtasıyla iletilerek, istenilen mahallerin ısıtılması sağlanmıştır. Kazan Ocak ayında 75 °C de çalıştırılmıştır. Değişik zamanlarda ölçüm yapıp kazan, klima santrali ve fan-coil giriş ve çıkış su sıcaklıkları belirlenmiş, suyun termodinamik özellikleri bulunarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama sonucunda sistemde; ortalama kazan ekserji kaybı 43526,79 kW, ortalama klima santrali ekserji kaybı 2624,65 kW ve ortalama fan-coil ekserji kaybı 953,73 kW olarak bulunmuştur. Benzer şekilde kazan ekserji verimi % 75, klima santrali ekserji verimi % 88 ve fan-coil ekserji verimi % 92 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda, sistemde; kazan ortalama enerji kaybı 7116,86 kW, klima santrali ortalama enerji kaybı 2624,65 ve fan-coil ortalama enerji kaybı 945 kW olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre iyileştirme için, öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Enerji, ekserji, ısıtma, soğutma, hastane.

Energy and Exergy Analysis of Adıyaman University Research and Application Hospital Heating System

Abstract: Today, one of the biggest deficiencies for the world and our country is energy. For this reason, energy should be used in the most efficient way. In this study, the exergy and energy analysis of the heating line in the Adıyaman University Research and Application Hospital building was made. Natural gas was used as fuel in the boiler. The hot water in the heating system is transmitted to the lines of the fan-coil and air handling units via the boiler and the desired spaces are heated. The boiler was operated at 75 °C in January. Measurements were made at different times, boiler, air handling unit and fan-coil inlet and outlet water temperatures were determined, and the necessary calculations were made by finding the thermodynamic properties of the water. As a result of the calculation in the system; The average boiler exergy loss was 43526.79 kW, the average air handling unit exergy loss was 2624.65 kW and the average fan-coil exergy loss was 953.73 kW. Similarly, the exergy efficiency of the boiler was calculated as 75%, the air handling unit exergy efficiency 88% and the fan-coil exergy efficiency 92%. As a result of the calculations, in the system; boiler average energy loss 7116.86 kW, air handling unit average energy loss 2624.65 and fan-coil average energy loss 945 kW. According to the results obtained, suggestions for improvement are presented.

Key words: Energy, exergy, heating, cooling, hospital.

1. Giriş

Bir sistemin kendisi dışında etkinlik üretme yeteneğine enerji denir. Diğer bir tanımla enerji iş ve ısı verebilmektir. Enerjiler farklı biçimde sınıflandırılır. Sınıflandırma nasıl yapılırsa yapılsın enerji birbirine dönüştürülebilir. Enerjinin dönüşebilirliğinin ölçümüne ekserji denir.[2]

Ülkemizde enerji tüketiminin %20'si konut sektöründe kullanılmaktadır. Konutta kullanılan enerjinin %85'i ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır. Bu sebeple konut sektöründe kullanılan enerji, tüketilen enerji miktarı içerisinde yüksek bir orana sahiptir ve verimli bir şekilde kullanılması gerekir [3].

Sistemde kullanılan enerjinin en verimli şekilde kullanılması için, sistemin enerji giriş ve çıkış değerlerinin iyi belirlenmesi ve alınan değerler sonucunda enerji analizinin yapılması gerekir. Bu işlem enerji harcayan tüm enerji sistemlerinde yapılmalıdır. Giren enerjinin ne kadarının gerekli olan ihtiyaca göre kullanıldığı, ne kadarının da atıldığı sayısal değerler ile belirlenmelidir. Bu tür analizler enerjinin ne kadarının yararlı olarak kullanıldığı ve hangi kısımlarda iyileştirme yapılabileceğini göstermek amaçlıdır. Bunun için de kontrollerin iyi yapılması

* Sorumlu yazar: emine3302@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8020-9477, ² 0000-0002-6837-4178

gerekir. Enerji analizi termodinamiğin birinci yasasına bağlı olarak yapılır. Sistemin gerçek enerji yeteneğini belirlemek içinde termodinamiğin ikinci yasasına dayalı olan ekserji analizi yapılır [3].

Termodinamik sistemlerin enerji ve ekserji analizleri üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bir kaç;

Terhan tarafından yapılan çalışmada [7], doğalgaz yakıtlı bir kazanda baca gazındaki duyulur ve gizli enerji kayıplarının geri kazanımını araştırmış ve gizli enerjinin geri kazanımı için baca gazındaki su buharının yoğunlaşmasını incelemiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda her biri 80 m² yüzey alanına sahip 316 kalite yatay paslanmaz çelik borularından yapılmış 3 adet yoğunlaşmalı ekonomizer, yardımıyla 184 adet lojman dairesinin sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu senaryonun yaklaşık maliyeti 205 176,06 TL olup, sistemin geri ödeme süresi 3 aydır. Sistemin 20 yıllık ekonomik ömrü süresince sağlayacağı toplam tasarruf miktarı, şimdiki değer metodu kullanılarak 12 443 041,31 TL olarak bulunmuştur.

Çam tarafından yapılan çalışmada [9], Kazım Taşkent Eskişehir Şeker Fabrikasına ait şeker üretim birimlerinin verimliliğini enerji ve ekserji yöntemi ile hesaplamıştır. Çalışmada şeker üretiminde kullanılan denklemlere göre, giren ve çıkan ürünler belirlenmiş buna bağlı olarak, içerdikleri katı madde ve şeker oranları hesaplanmıştır. Şeker üretimi için gerekli olan karbondioksit ve kireç sütü miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra şerbetleri ve lapaları ısıtmak için kullanılacak brüde miktarları, her brüde çeşidi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada birinci ve ikinci kanuna göre en verimsiz ünite, buharlaştırıcı ünitesi olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte birinci ve ikinci ünite olan ham şerbet üretim ünitesi ve şerbet arıtım üniteleri düşük tersinmezlik oranları sebebi ile en verimli üniteler olarak tespit edilmiştir.

Tüfekçi tarafından yapılan çalışmada[8],Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi klima ve havalandırma projesinin ameliyathane ve yoğun bakım odalarının, VDI 2167 standartlarına göre yapılacak olsa, sistemin enerji harcamalarının ne derece değişeceği hesaplanmıştır. Yapılan araştırma sonucu incelenen sistem soğutma durumunda çalışırken en yüksek ekserji kaybı aydınlatmada, ısıtma durumunda çalışırken ise en yüksek ekserji kaybının nemli havada görüldüğü gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı ise mevcut bir mahalde doğalgaz yakan bir cihazın ekserji ve enerji analizini yaparak, bulunan sonuçlara göre sistemden mahale ne kadar ısı verildiğini hesaplamak ve sistemde oluşan tersinmezlikleri belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

Hastanenin ısıtma sisteminde bir adet iki geçişli (100 kW kapasiteli) kazan kullanılmaktadır. Şekil.1’de iki geçişli kazanların çalışma şekli görülmektedir. Kazana giren su sıcaklığı 70°C-90°C ısıtma suyu çevrim sisteminde çalışmaktadır. Kazandan çıkan sıcak su, ana ısıtma kollektörüne gitmektedir. Isıtma kollektörü pompa ve bağlantı elamanları; balans vanası, çek valf, emniyet valfi gibi ekipmanlardan oluşmaktadır.



Şekil 1.iki geçişli kazan.

Uygulama yapılan hastane binasında 7 adet 15 m³/saat debi kapasitesinde çalışan karışım havalı klima santralleri bulunmaktadır. Klima santralinin 3 adeti hijyenik klima santralidir. Klima santralleri sulu batarya sistemi ile çalışmaktadır. Klima santrali soğutucu bataryaları 3,8 m³/s debi kapasitesindedir ve santraller 500C -80 0C ısıtma suyu, 60C -9 0C soğutma suyu çevrim sistemine göre çalışmaktadır. Hastanede kullanılan fan-coil cihazları 450 adettir. Fan-coiler 30 m³/saat debisinde 4 yöne üflemlerli tavan tipi cihazlardır.

2.1. Isıtma Sistemlerinde Enerji Analizi

Kapalı sistemdeki toplam enerjinin değişimi çevresiyle ısı veya iş alışverişi sonucu değişebilir. Bunun sonucunda kapalı sistemlerdeki hal değişimi sürecinde toplam enerji, kapalı sistem içerisinde oluşan net ısı ve iş eşittir [4].

$$Q - W = \Delta E \quad (2.1)$$

Açık sistemde ise işe eşit olan ısıya ek olarak kütle giriş ve çıkış değerleri, sistemi değiştirir. Sisteme kütle girdiği zaman giren kütlelerin enerjisi arttığı için sistemin enerjisi de artar. Aynı şekilde kütle çıkışı sırasında da bir miktar enerji açığa çıktığı için, sistemin enerjisi azalır.

$$Q - E + \sum E_g - \sum E_ç = \Delta E \quad (2.2)$$

2.1.1. Kazanın Enerji Analizi

Kazanda oluşan ısı kayıplarını hesaplayabilmek için öncelikle kayıp parametrelerini bilmek gerekmektedir. Şekil 2’de Kazan tesisatına ait değişkenler verilmiştir.



Şekil 2. Kazan tesisatına ait değişkenler.

Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan enerji;

$$Q_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \times H_a \quad (2.3)$$

Kazanda meydana gelen enerji kaybı;

$$Q_{kk} = Q_{yakıt} - [\dot{m}_k \times (h_{kç} - h_{kg})] \quad (2.4)$$

2.1.2. Klima Santrali Hattının Enerji Analizi

Klima santralleri hattında istenilen hesaplamaları yapabilmek için gerekli olan değişkenler Şekil 3’de verilmiştir.

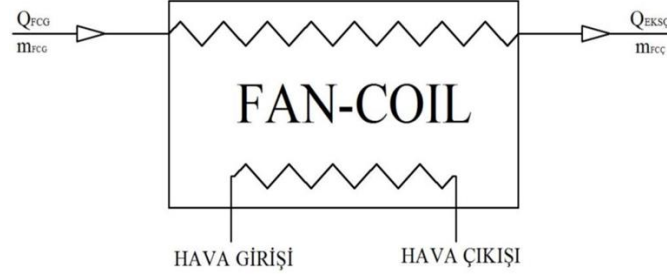


Şekil 3. Klima santrali tesisatına ait değişkenler.

$$Q_{ks} = [\dot{m}_{ks} \times (h_{ksg} - h_{ksç})] \quad (2.5)$$

2.1.3. Fan-Coil Sisteminde Enerji Analizi

Fan-Coil hattında istenilen hesaplamaları yapabilmek için gerekli olan değişkenler Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Fan-coil tesisatına ait değişkenler.

Yukarıdaki parametrelere göre fan-coil hattının enerji dengesi:

$$Q_{fc} = [\dot{m}_{fc} \times (h_{fcg} - h_{fcç})] \quad (2.6)$$

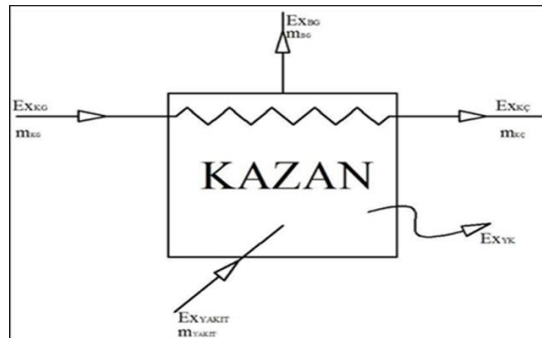
2.2. Isıtma Sistemlerinde Ekserji Analizi

Ekserji, enerjinin işe dönüşebilmesi veya iş yapma potansiyelinin sayısal incelenmesidir. Bir sistemin performansını artırmak için ekserji kayıplarının en aza indirgenmesi gerekir. Ekserji analizi ile hesaplanan ekserji verimleri gerçek sistem performansını maksimum performansla karşılaştırdığı için termodinamik kayıpların yerleri, miktarları ve nedenleri tespit edilebilir ve bulunan sonuçlara göre sistemin performansını daha verimli hale getirilmesinde kullanılabilir. Ekserji hesabı yapabilmek için, çevrenin sıcaklık, basınç ve tüm kimyasal durumlarının belirtilmesi gerekmektedir. Sistemin tersinir bir süreçte çalıştığının kabul edilmesi gereklidir [5].

Bir sistemin özgül ekserjisi:

$$E_x = (h - h_o) - T_o (S - S_o) \quad (2.7)$$

2.2.1. Kazanın Ekserji Analizi



Şekil 5. Kazan için ekserji faktörleri.

Kazanda oluşan kayıplar:

$$\sum E_{x_{giren}} = \sum E_{x_{çıkan}} + \sum E_{x_{kayıp}} \quad (2.8)$$

$$Ex_{Yakıt} + Ex_{KG} = Ex_{KÇ} + Ex_{ÇK} + Ex_{BG} + Ex_{kayıp} \quad (2.9)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{Yakıt} + Ex_{KG} - (Ex_{KÇ} + Ex_{ÇK} + Ex_{BG}) \quad (2.10)$$

Birim kütle için yakıtın ekserji değeri:

$$Ex_{yakıt} = Ha \times \Phi \quad (2.11)$$

Φ : kimyasal ekserji faktörü 1,04

Kazan giriş ve çıkış suyu ekserji hesabı:

$$Ex_{ksg} = \dot{m} \times [(h_{kg} - h_o) - T_o \times (s_{kg} - s_o)] \quad (2.12)$$

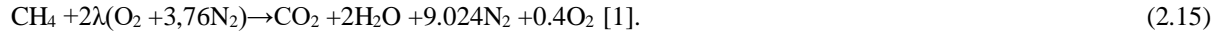
$$Ex_{kç} = \dot{m} \times [(h_{kç} - h_o) - T_o \times (s_{kç} - s_o)] \quad (2.13)$$

Kazan yüzeyinde ısı transferi ile meydana gelen kayıplar:

$$Q_y = A_y \times \alpha_y \times (T_y - T_o) \quad (2.14)$$

Baca gazı ekser hesabı:

Doğalgazın tamamen metan (CH_4) gazından oluştuğu kabul edilerek denklem kurulur.



Yanma ürünlerinin toplam kütle formülü:

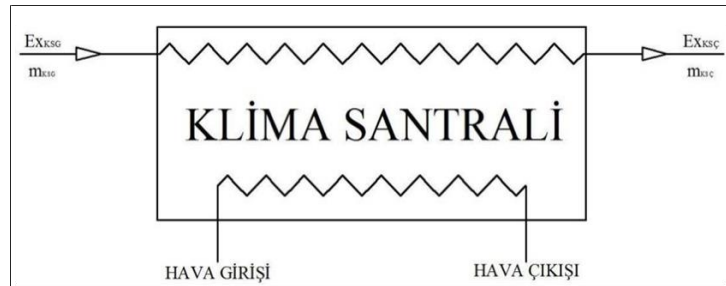
$$\dot{M}_{top} = (1. M_{CO_2}) + (2. M_{H_2O}) + (9,02 \times M_{N_2}) + (0,4. M_{O_2}) \quad (2.16)$$

Kazan için toplam ekserji kaybı:

$$Ex_{kayıp} = Ex_{yakıt} + Ex_{kgiriş} - [Ex_{yk} + Ex_{kçıkış} + Ex_{bg}] \quad (2.17)$$

2.2.2. Klima Santrali Hattında Meydana Gelen Ekserji Analizi

Klima santrali sisteminde kazana bağlı giriş- çıkış ekserji faktörleri Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Klima santrali hattına bağlı ekserji faktörleri.

Klima Santrali Girişi Suyu Ekserji Hesabı:

Sistemde suyun klima santraline girişindeki ekserji hesabı:

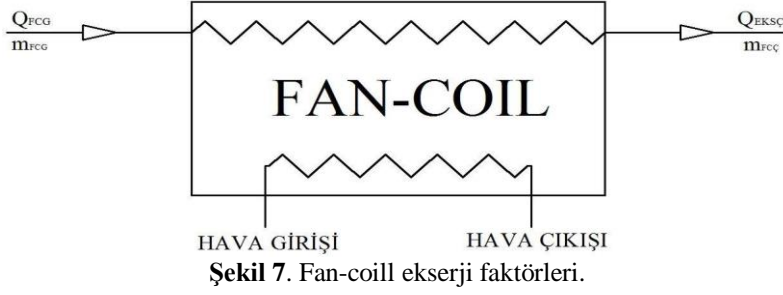
$$Ex_{ksg} = \dot{m}_{ksg} \times [(h_{ksg} - h_o) - T_o \times (s_{ksg} - s_o)] \quad (2.18)$$

Sistemde suyun klima santralinden çıkışındaki ekserji hesabı:

$$Ex_{ksç} = \dot{m}_{ks} \times [(h_{ksç} - h_o) - T_o \times (s_{ksç} - s_o)] \quad (2.19)$$

2.2.3. Fan-Coil Hattında Meydana Gelen Ekserji Kayıpları

Fan-Coil hattında meydana gelen ekserji faktörleri Şekil 7’de verilmiştir.



Yukarıdaki parametrelere göre fan coil hattının enerji dengesi [1].

Fan-Coil hattı giriş suyu ekserji kayıpları:

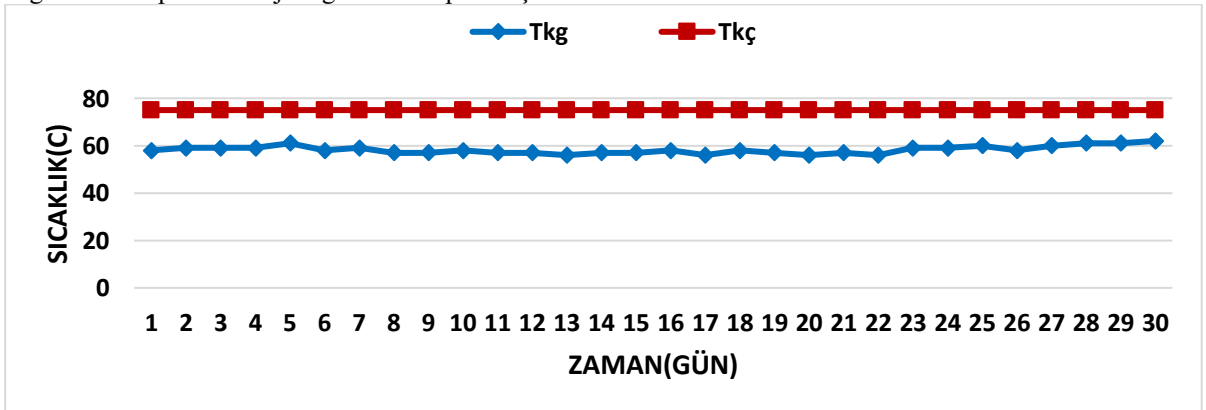
$$Ex_{fcg} = [\dot{m}_{fc} \times (h_{fcg} - h_o) - T_o \times (S_{fcg} - S_o)] \quad (2.20)$$

Fan-Coil hattı çıkış suyu ekserji kayıpları:

$$Ex_{fcc} = [\dot{m}_{fc} \times (h_{fcc} - h_o) - T_o \times (S_{fcc} - S_o)] \quad (2.21)$$

3. Sonuçlar Ve Tartışma

Bu çalışmada Adıyaman Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesinde ısıtma sisteminin ekserji ve enerji analizi hesaplanmıştır. Kazan yüzeyinde oluşan ısı transferi, yakıtın yanması ile oluşan ısı kaybı, baca gazı hesabı, mahalde suyun dolaşımından kaynaklı ekserji kayıpları, klima santrali ve fan-coil ekserji kayıpları hesaplanıp, sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Kazanın enerji ve ekserji hesaplamalarına ait suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları önemlidir. Ocak ayı günlük sıcaklık değerleri alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 1’de net görülebileceği gibi Ocak ayı kazan giriş suyu sıcaklığı 56°C ile 62°C aralığında değişmiş olup, kazan çıkış suyu sıcaklığı 75 °C olarak kazan otomasyon sisteminde ayarlanmıştır. Günlük olarak kazan giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçümü yapılmış ve alınan değerlerin termodinamik özellikleri termodinamik tablolardan elde edilmiştir. Tablo 1 de gösterilen değerlere göre bölüm 2’ de verilen formüller yardımıyla kazan enerji kaybı, kazan giriş-çıkış ekserji değerleri ve toplam ekserji değerleri hesaplanmıştır.

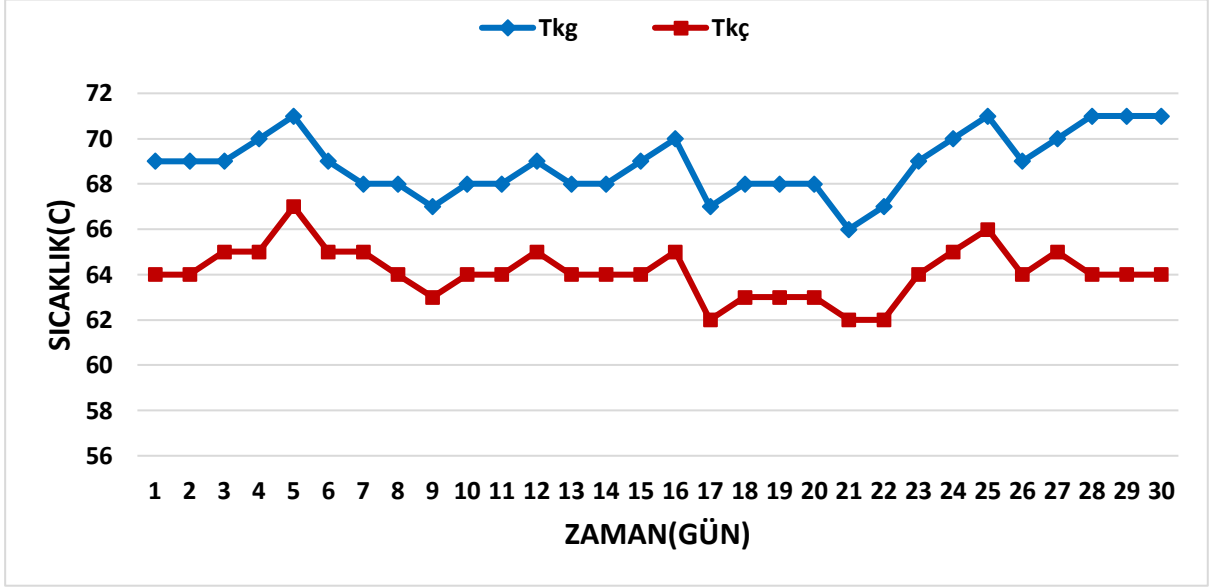


Şekil 8. Kazan su sıcaklığının zamana bağlı olarak değişim grafiği.

Tablo 1. Zamana bağlı olarak kazan su sıcaklığının termodinamik özellikleri.

Zaman (gün)	T _{hava} (°C)	T _{kg} (°C)	h _g (kJ/kg)	s _g (kJ/kgK)	T _{kç} (°C)	h _ç (kJ/kg)	s _ç (kJ/kgK)	m _{Su} (kg/s)
.Ocak	3	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
2 Ocak	6	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
3 Ocak	7	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
4 Ocak	8	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
5 Ocak	10	61	255,36	0,8260	75	314,03	1.0158	109
6 Ocak	5	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
7 Ocak	6	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
8 Ocak	4	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
9 Ocak	3	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
10 Ocak	5	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
11 Ocak	4	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
12 Ocak	6	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
13 Ocak	5	56	234,43	0,7758	75	314,03	1.0158	109
14 Ocak	4	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
15 Ocak	7	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
16 Ocak	8	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
17 Ocak	5	56	234,43	0,7758	75	314,03	1.0158	109
18 Ocak	6	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
19 Ocak	6	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
20 Ocak	6	56	234,43	0,7758	75	314,03	1.0158	109
21 Ocak	5	57	238,62	0,7720	75	314,03	1.0158	109
22 Ocak	6	56	234,43	0,7758	75	314,03	1.0158	109
23 Ocak	9	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
24 Ocak	10	59	246,99	0,7990	75	314,03	1.0158	109
25 Ocak	11	60	251,18	0,8313	75	314,03	1.0158	109
26 Ocak	9	58	242,80	0,7855	75	314,03	1.0158	109
27 Ocak	10	60	251,18	0,8415	75	314,03	1.0158	109
28 Ocak	11	61	255,36	0,8415	75	314,03	1.0158	109
29 Ocak	10	61	255,36	0,8415	75	314,03	1.0158	109
30 Ocak	10	62	259,55	0,8590	75	314,03	1.0158	109

Şekil 8 de fan-coil enerji ve ekserji hesaplamalarına ait suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi fan-coil giriş suyu sıcaklığı 66°C ile 71°C aralığında değişmiş, fan-coil çıkış sıcaklığı 62°C -67°C arasında değişmiştir.



Şekil 8. Fan-coil ocak ayı su sıcaklığının zamana bağlı olarak değişim grafiği.

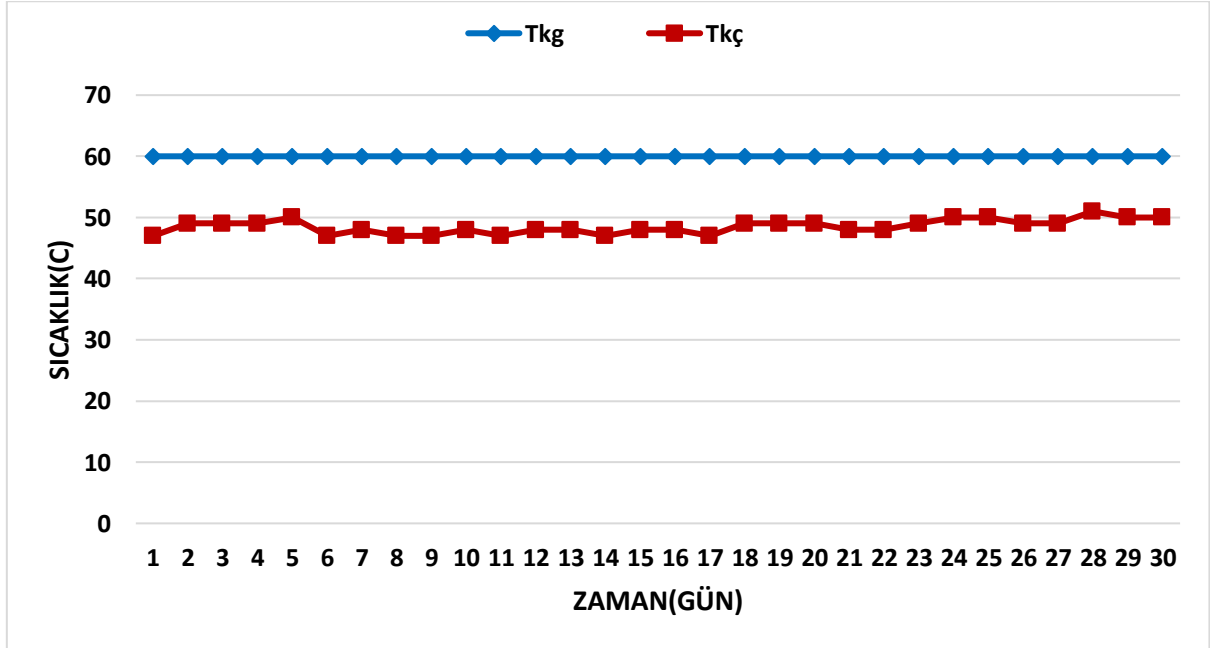
Elde edilen ölçüm sıcaklıklarına göre fan-coil hattına gidiş-dönüş suyu sıcaklığının termodinamik özellikleri bulunarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Zamana bağlı olarak fan-coil su sıcaklığının termodinamik özellikleri.

Zaman (gün)	T _{dıç} (°C)	T _{kg} (°C)	h _g (kJ/kg)	s _g (kJ/kgK)	T _{kç} (°C)	h _ç (kJ/kg)	s _ç (kJ/kgK)	m _s u ((kg/s)
1 Ocak	3	69	288,85	0,9414	64	267,92	0,8799	48
2 Ocak	6	69	288,85	0,9414	64	267,92	0,8799	48
3 Ocak	7	69	288,85	0,9414	65	272,12	0,8937	48
4 Ocak	8	70	293,07	0,9551	65	272,12	0,8937	48
5 Ocak	10	71	297,25	0,9687	67	280,48	0,9141	48
6 Ocak	5	69	288,85	0,9414	65	272,12	0,8937	48
7 Ocak	6	68	284,69	0,9278	65	272,12	0,8937	48
8 Ocak	4	68	284,69	0,9278	64	267,92	0,8799	48
9 Ocak	3	67	280,48	0,9141	63	263,73	0,8662	48
10 Ocak	5	68	284,69	0,9278	64	267,92	0,8799	48
11 Ocak	4	68	284,69	0,9278	64	267,92	0,8799	48
12 Ocak	6	69	288,85	0,9414	65	272,12	0,8937	48
13 Ocak	5	68	284,69	0,9278	64	267,92	0,8799	48
14 Ocak	4	68	284,69	0,9278	64	267,92	0,8799	48

15 Ocak	7	69	288,85	0,9414	64	267,92	0,8799	48
16 Ocak	8	70	293,07	0,9551	65	272,12	0,8937	48
17 Ocak	5	67	280,48	0,9141	62	259,55	0,8524	48
18 Ocak	6	68	284,69	0,9278	63	263,73	0,8662	48
19 Ocak	6	68	284,69	0,9278	63	263,73	0,8662	48
20 Ocak	6	68	284,69	0,9278	63	263,73	0,8662	48
21 Ocak	5	66	276,29	0,9074	62	259,55	0,8524	48
22 Ocak	6	67	280,48	0,9141	62	259,55	0,8524	48
23 Ocak	9	69	288,85	0,9414	64	267,92	0,8799	48
24 Ocak	10	70	293,07	0,9551	65	272,12	0,8937	48
25 Ocak	11	71	297,25	0,9687	66	276,29	0,9074	48
26 Ocak	9	69	288,85	0,9414	64	267,92	0,8739	48
27 Ocak	10	70	293,07	0,9551	65	272,12	0,8937	48
28 Ocak	11	71	297,27	0,9687	64	272,12	0,8739	48
29 Ocak	10	71	297,25	0,9687	64	272,12	0,8739	48
30 Ocak	10	71	297,25	0,9687	64	267,92	0,8739	48

Ocak ayında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen, klima santrali hattında gidiş - dönüş su sıcaklık değerleri grafiği Şekil 9.'da gösterilmiştir. Kazandan klima santrali hattına giren su sıcaklığı klima santrali otomasyon sistemi ile 60 °C sabit olarak ayarlanmıştır.



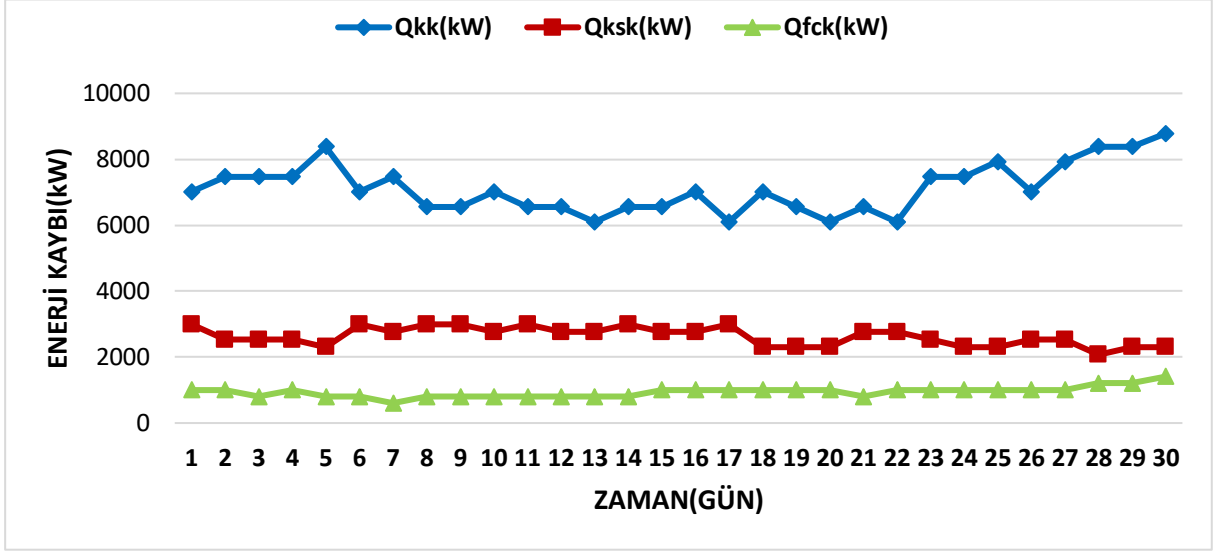
Şekil 9. Klima Santrali ocak ayı su sıcaklığının zamana bağlı olarak değişim grafiği.

Elde edilen ölçüm sıcaklıklarına göre klima santrali hattı gidiş-dönüş suyu sıcaklığının termodinamik özellikleri bulunarak Tablo 3’de verilmiştir.

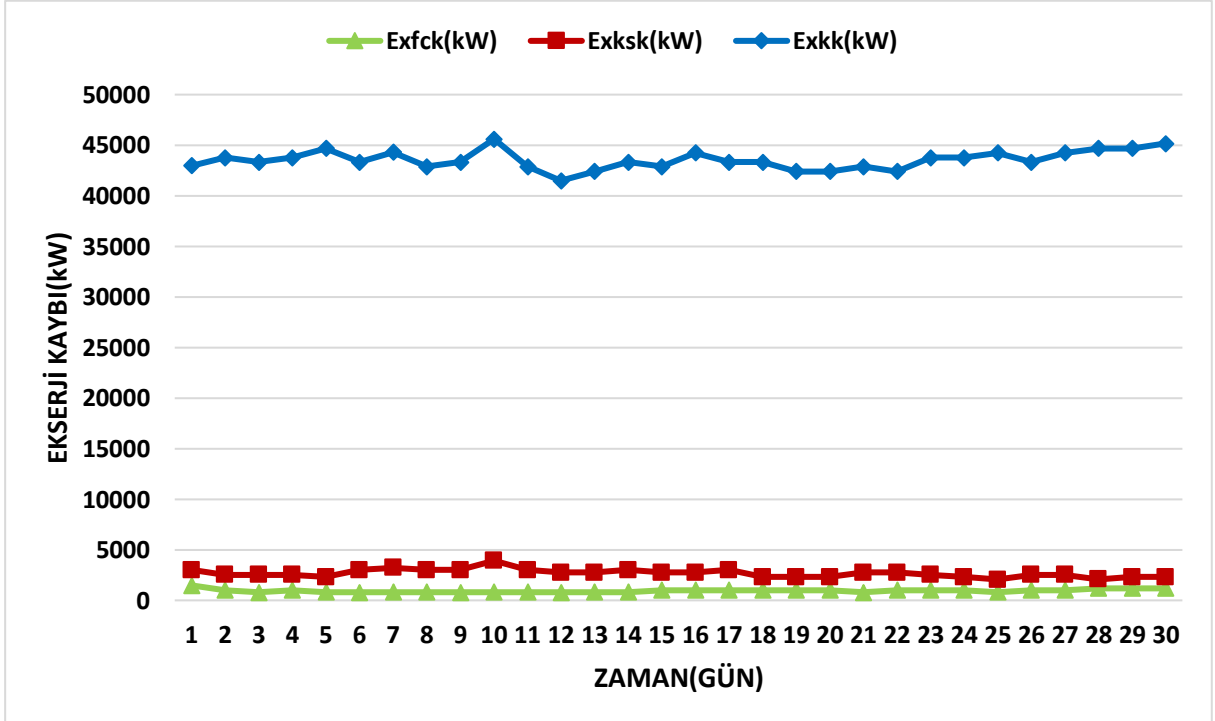
Tablo 3. Zamana bağlı olarak klima santrali su sıcaklığının termodinamik özellikleri.

Zaman (gün)	T _{hava} (°C)	T _{kg} (°C)	h _g (kJ/kg)	s _g (kJ/kgK)	T _{kç} (°C)	h _ç (kJ/kg)	s _ç (kJ/kgK)	m _s u (kg/s)
1 Ocak	3	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
2 Ocak	6	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6897	55
3 Ocak	7	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6897	55
4 Ocak	8	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6897	55
5 Ocak	10	60	251,18	0,8313	50	209,34	0,7038	55
6 Ocak	5	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
7 Ocak	6	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
8 Ocak	4	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
9 Ocak	3	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
10 Ocak	5	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
11 Ocak	4	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
12 Ocak	6	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
13 Ocak	5	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
14 Ocak	4	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
15 Ocak	7	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
16 Ocak	8	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
17 Ocak	5	60	251,18	0,8313	47	196,75	0,6615	55
18 Ocak	6	60	251,18	0,8313	49	209,34	0,6893	55
19 Ocak	6	60	251,18	0,8313	49	209,34	0,6893	55
20 Ocak	6	60	251,18	0,8313	49	209,34	0,6893	55
21 Ocak	5	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
22 Ocak	6	60	251,18	0,8313	48	200,94	0,6756	55
23 Ocak	9	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6893	55
24 Ocak	10	60	251,18	0,8313	50	209,34	0,7038	55
25 Ocak	11	60	251,18	0,8313	50	209,34	0,7038	55
26 Ocak	9	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6893	55
27 Ocak	10	60	251,18	0,8313	49	205,13	0,6893	55
28 Ocak	11	60	251,18	0,8313	51	213,50	0,7178	55
29 Ocak	10	60	251,18	0,8313	50	209,34	0,7038	55
30 Ocak	10	60	251,18	0,8313	50	209,34	0,7038	55

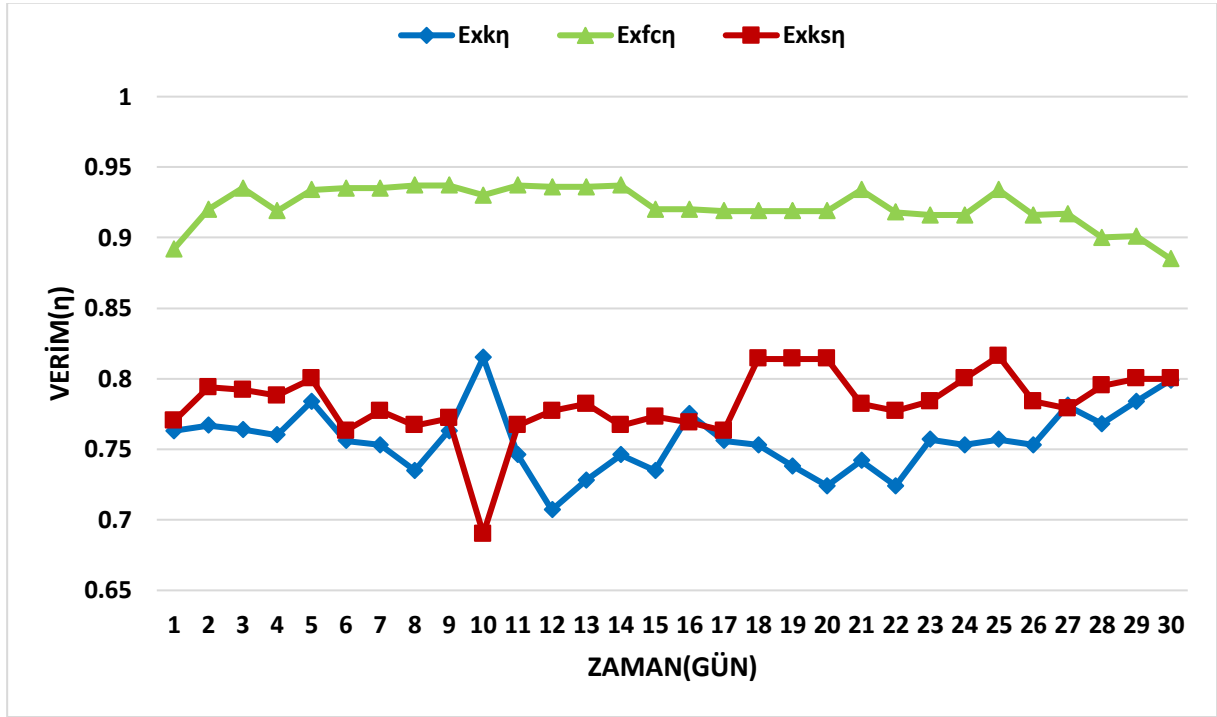
Hesaplamalar sonucunda belirli zaman aralığında klima santrali, kazan ve fan-coil enerji kaybı değişim grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere kazan enerji hesabı en yüksek 30 Ocak günü 8780,96 kW olarak hesaplanmıştır. En düşük olarak bulunan değer ise 13 Ocak günü 6099,56 kW çıkmıştır. Klima santrali enerji hesabı en yüksek 01 Ocak günü 2993,65 kW olarak bulunmuştur. En düşük olarak bulunan değer ise 28 Ocak günü 2072,4 kW çıkmıştır. Fan-coil enerji hesaplamaları sonucu en yüksek değer 30 Ocak günü 1407,84 kW, en düşük değer ise 07 Ocak günü 603,36 kW hesaplanmıştır.



Şekil 10. Kazan, klima santrali ve fan-coil enerji kaybı değişim grafiği.



Şekil 11. Klima santrali, kazan ve fan-coil ekserji kaybı değişim grafiği.



Şekil 12. Kazan, klima santrali ve fan-coil ekserji verim grafiği.

Hesaplamalar sonucunda belirli zaman aralığında klima santrali, kazan ve fan-coil ekserji kaybı değişim grafiği Şekil 11’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere toplam ekserji kaybı en yüksek 10 Ocak günü 45611,66 kW olarak hesaplanmıştır. 10 Ocak günü sisteme bağlı pompa arıza vermiştir ve sonucunda sisteme yeteri kadar su basılamamış, dolaşım suyunun basıncı ayarlanamamıştır. Sistemde yeteri kadar su dolaşımı sağlanamadığı için ısı kaybı artmıştır. En düşük olarak hesaplanan değer ise 12 Ocak günü 41489,84 kW çıkmıştır. Kazan verimi en yüksek 12 Ocak günü 0,815 olarak, en düşük ise, 10 Ocak günü 0,707 olarak hesaplanmıştır. Klima santrali toplam ekserji kaybı hesaplamalar sonucu en yüksek 10 Ocak günü 3917,53 kW olarak hesaplanmıştır. En düşük olarak hesaplanan değer ise 25 Ocak günü 2068,3 kW çıkmıştır. Santral verimi en yüksek 25 Ocak günü 0,816, en düşük ise 10 Ocak gününde 0,69 olarak hesaplanmıştır. Fan-coil toplam ekserji kaybı en yüksek 10 Ocak günü 1481,95 kW olarak hesaplanmıştır. En düşük olarak hesaplanan değer ise 12 Ocak günü 802,8 kW çıkmıştır. Fan-coil verimi en yüksek 12 Ocak günü 0,816, en düşük 10 Ocak günü 0,69 olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışmada Adıyaman Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi binasında bulunan, ısıtma hattının ekserji ve enerji analizi yapılmıştır. Ocak ayı temel alınarak günlük ölçümler sonucunda kazan, klima santrali ve fan-coil kayıpları ve verimleri bulunmuştur. Doğalgaz yakıtlı sistemde, kazanda ortalama kayıp 43526,79 kW, klima santrali ortalama kayıp 2624,65 kW, fan-coil ortalama kayıp 953,73 kW bulunmuştur. Aynı şekilde kazan ortalama verimi % 75, klima santrali ortalama verimi, % 88 fan-coil ortalama verimi % 92 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan yorum ve öneriler;

1. Kazan ekserji kaybının yüksek olması yanma sırasında oluşan kimyasal enerjinin, ısı enerjisindeki düzensizlikten kaynaklanmış olabilir.
2. Dış hava sıcaklığına bağlı olarak kazanın çıkış sıcaklığının yüksek olması kazanın ekserji verimini artırmıştır. Bu durumun literatürdeki %20-%40 arasında oluşan ekserji verimine uygun olduğu sonucuna varılmaktadır.
3. Sistemde oluşan ekserji kayıplarını önlemek için ısıtma sisteminde kullanılmayan hatların vanaları hava oluşmaması için kapatılmalıdır.

4. Sisteme bağlı kollektördeki su miktarını kontrol edecek otomasyon sistemi bulunması gerekir. Çünkü sisteme yeterli su basılmadığı zaman basınç düşer, hava oluşur ve su daha hızlı soğur. Bu durum da ısı kayıplarını artırır.
5. Kazan dairesinin ve cihazların yıllık bakımları 2 dönem halinde yapılmalıdır. Düzenli olarak baca temizliği yapılmalıdır.
6. Fan-coillerin düzenli olarak bakımları yapılmalı, filtreleri temizlenmelidir.
7. Klima Santralinde bulunan filtreler ve kayışlar kontrol edilmeli, temizlenmeli, bataryalar yıkanmalıdır.
8. Gerçek ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanırken kayıplar hesaba katılmayarak, sistemin binaya verdiği net ısı enerjisi olarak hesaplanmaktadır. Kayıp hesabı kurulu sistemin yakıt türüne bağlı olarak hesap yapılır. Hesaplanan değerler istenenden fazla çıkmıştır. Bunun sebebi ısı dış hava sıcaklığının düşük olmasından kaynaklı olabilir.
9. Herhangi bir yakıt yakılarak ısı üretimi için kullanılan kazanların dizayn edildiği yakıtla çalıştırılması esastır. Bu durumda, dönüşümün kazanın yenilenmesi ile birlikte ele alınması daha uygundur. Uygun olmayan kazanla fazla yakıt yakılarak devamlılık arz eden işletme giderlerinin artmasına ve çevre kirliliğine neden olduğu için, bu husus çok önemlidir. Dönüşüm esnasında, ister büyük ısı santrallerinde, isterse küçük apartman kazan dairelerinde olsun sistemdeki teçhizatın gerekli bakımları yapılmalıdır [2].
 - Çok yaşlı ve ekonomik ömrünü doldurmuşsa
 - Kazan tekniğine uygun olarak imal edilmemişse ve tadilatla iyileştirilemiyorsa,
 - Su yönü çok kirlenmiş ve temizlemek de mümkün değil ise,
 - Gerekli kapasite ve beklenen verim için uygun büyüklükte değilse kazanın dönüştürülmesi önerilmez.
10. 10 yaşından küçük kömürlü kazan doğalgazlı kazana dönüştürülebilir fakat verimin %65-70'lere düştüğü teknik olarak bilinmektedir [2]. Uygulama yapılan hastanede yapım aşamasında ısıtma sistemi katı yakıtlı kazana göre projelendirilmiştir. İlerleyen zamanda kazan doğalgaz yakıtlı kazana çevrilmiştir. Bu durumun sistemin kayıplarını artırdığı ve kazan veriminin düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir.
11. Hastanelere genel olarak çok fazla insan giriş ve çıkışı olmaktadır. Aynı şekilde odalarda hastaların ve yakınlarının kapı ve pencereleri sürekli açık bıraktığı görülmüştür. Bu durum ısı kaybının artmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak ısıtma sistemi mahali ayarlanan sıcaklıkta tutmak için sürekli devreye girmesi gerekir, bu durumda enerji kaybına sebep olur.
12. Uygulama yapılan hastanede bina yalıtımının yeterli olmadığı, bu durumun enerji ve ısı kaybını artırdığı görülmüştür.
13. Isıtma hattının yalıtımı düzenli olarak kontrol edilmeli, yırtık yerler yamalanmalı bakımları yapılmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Altundağ, A. "Bir Hastanede Ameliyathane Klima Santrali Isıtma Hattının Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Karabük (Haziran 2015).
- [2] Çengel, Y.A., Boles, M.A. "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik "Literatür Yayıncılık İstanbul (2007).
- [3] Tetik, T. " Doğalgaz Yakıtlı Bireysel Isıtma Sisteminin Ekserji ve Enerji Analizi" Yüksek Lisans Tezi Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Temmuz 2011).
- [4] Güngör, A. " Bir Kombine Çevrim Santralinin Ekserji Analizi " Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul (Haziran 2003).
- [5] Dinçer, İ. ve ark, Exergy; Energy Environment and Sustainable Development Elsevier, 454p (2007).
- [6] Hepbaşı, A "HVAC Sistemlerinde ekserji analizinin Gerekliliği ve Uygulamaları"6.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. İzmir (Ekim 2009).
- [7] Terhan 2015, "Doğalgaz Yakıtlı Bir Kazanda Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı ve Yoğuşma Olayının Enerji, Ekserji ve Ekonomik Yönden İncelenmesi" Doktora Tezi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum (2015).
- [8] Tüfekçi, H. "Hastanelerde Kullanılan Klima Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi" Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa (Haziran 2009).
- [9] Çam, B, "Enerji ve Ekserji Analizi ile Kazım Taşkent Şeker Fabrikası Verimliliğinin Hesaplanması " Yüksek Lisans Tezi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir (Temmuz 2011).