

Bir Hastanede Ameliyathane Klima Santrali Isıtma Hattının Ekserji Analizi

Ahmet ALTUNDAĞ*, Engin GEDİK, Alper ERGÜN**, Kamil ARSLAN*** ve Recep EKİCİLER*****

* Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük
e-posta: ahmet1altundag@hotmail.com

**Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük
e-posta: egedik@karabuk.edu.tr, alperergun@karabuk.edu.tr

*** Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük
e-posta: kamilarslan@karabuk.edu.tr, recepekiciler@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada İstanbul Başkent Hastanesi'ne ait bir ameliyathane odası için kullanılan klima santrali ısıtma hattının ekserji analizi yapılmıştır. Klima Santrali (hijyenik klima) 3500 m³/h debide olup ameliyathane için özel olarak tasarlanmıştır. Hastane binasını ısıtmak için doğalgaz yakıtlı kazan kullanılmaktadır. Isıtma sisteminde üretilen sıcak su, boylerler yardımıyla kullanım suyu, fan-coiller yardımıyla mahal ısıtma, klima santralleri yardımıyla da hijyenik alan ve mahal ısıtmasında kullanılmaktadır. Kazan 70/90 °C olarak çalışması planlanmıştır. Değişik zaman dilimleri için ölçümü yapılan kazan suyu giriş çıkış, klima santrali giriş çıkış su ve hava sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen termodinamik parametrelere göre seçilen tek bir ameliyathane odası için ekserji analizi hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre kazan ve klima santrali için ekserji kayıpları (yıkımları) ve ekserji verimleri sırasıyla 554.28 ve 3.11 kW, %21.92 ve %20.22 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre yapılması gereken iyileştirmeler için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, iklimlendirme, ameliyathane

Exergy Analysis Of Heating Line Of Surgery Air Handling Unit In A Hospital

Abstract

In this study, an exergy analysis of heating line of air handling unit for a surgery room in İstanbul Başkent Hospital was investigated. Air handling unit which has 3500 m³/h flow rate was designed distinctively. Natural gas fired boiler was used on the purpose of heating hospital building. Heated water by the system was used as usage water, local heating and heating hygienic rooms by means of boilers, fan coils and air handling units respectively. Boilers working conditions were 70/90 °C. Exergy analysis calculations were performed for selected single surgery room in consideration of thermodynamics parameters that depend on the measured values of inlet and outlet water temperatures of boilers, and air handling units for different time step. As a result of calculations, exergy destruction and exergy efficiencies for boilers and air handling units were computed as 554.28 and 3.11 kW, 21.92% and 20.22% respectively. Based on the obtained results some enhancements were suggested for further studies.

Keywords : Energy, exergy, air conditioning, surgery room.

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve ülkelerin sanayileşmesi ile birlikte artan enerji ihtiyacı, enerji maliyetleri ve çevre problemleri gibi sorunları da yanında getirmektedir. Bu yüzden temiz enerji kaynaklarının

Bu makaleye atıf yapmak için

Altundağ, A., Gedik, E., Ergün, A., Arslan, K., Ekiciler, R., "Bir Hastanede Ameliyathane Klima Santrali Isıtma Hattının Ekserji Analizi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 12(4) 103-114

How to cite this article

Altundağ, A., Gedik, E., Ergün, A., Arslan, K., Ekiciler, R., "Exergy Analysis Of Heating Line Of Surgery Air Handling Unit In A Hospital" Electronic Journal of Machine Technologies, 2015, 12(4) 103-114

kullanımı ve enerji sistemlerinde tasarrufa yönelik çalışmalar günümüzde önem kazanmaktadır. Enerjinin verimli kullanımı ile gerçekleştirilecek enerji tasarrufu, aynı ürünü elde etmek için gereken enerjinin azaltılması ya da aynı miktarda enerji ile daha fazla ürün elde edilmesini sağlayacaktır. Böylece gün geçtikçe azalan fosil yakıtların tüketimi düşürülecektir.

Toplam enerji tüketiminin %20'sinin konut sektöründe gerçekleştiği ülkemizde, bu enerjinin %85'i ısıtma ve sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır. Konutlarda kullanılan bu enerjinin toplam tüketim içerisinde büyük bir paya sahip olması dolayısıyla verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır [1]. Literatürde, ekserji analizi yöntemi kullanılarak konut sektöründe birçok farklı alanda çalışmalar yapılmıştır. Sakulpipatsin vd. [2] yaptıkları çalışmada binalardaki HVAC sistemlerinin ekserji analizi metodlarını sunarak enerji elde edilebilecek kısımları incelemişlerdir. Çalışma Hollanda'daki ofis binalarında düşük ve yüksek sıcaklık ısıtma-soğutma sistem ekipmanlarını içermektedir. Binaların ve HVAC sistemlerinin standart enerji yasalarını karşılamak zorunluluğu çalışmada açıklanarak toplam ekserji verimleri her iki durum için %17.5 ve % 6.81 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Marletta, [3] yaptığı çalışmada üç farklı iklimlendirme sistemi için ekserji çözümlemesi yapmıştır. Bu sistemler hava şartlandırma ünitesi tarafından beslenen tek hava kanallı, iki hava kanallı ve 'fan coil' li sistemlerdir. Hava şartlandırma ünitelerinin ekserji verimleri bu üç sistem için sırasıyla yüzde 28.4, yüzde 26.7 ve yüzde 19.5 olarak bulunmuştur. Çözümleme ayrıca en fazla ekserji kaybının soğutma ve nem alma işlemlerinde olduğunu göstermiştir. Kanoğlu vd. [4] yaptıkları çalışmada, kütle, enerji, entropi ve ekserji bilançoları veren denklemleri yazdıktan sonra, bu denklemleri temel psikrometrik işlemler olan duyulur ısıtma, soğutma-nem alma, nemlendirme ve buharlaşmalı soğutma için sadeleştirmişler, ele alınan temel işlemlerin her biri için ekserji verimini tanımlamışlardır. Çalışmada uygulama örnekleri de yer alarak ekserji çözümlemesinin önemi vurgulanmış ve bu çözümlemeden iklimlendirme sistemlerinin tasarımında nasıl yararlanılacağı açıklanmamıştır. Özgener vd. [5] yaptıkları çalışmada HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemlerinde tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimindeki payının, yaklaşık olarak % 20 olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber enerjinin ve hatta boşa giden enerjinin etkin ve verimli kullanımı, özellikle büyük önem taşıdığını söylemişlerdir. Ekserji analizini yapmanın önemini sıralamışlardır. Ekerji analizinin gerek tasarım gerekse de işletme aşamasında ele alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Gün geçtikçe artan enerji fiyatları ve ısıtma sistemlerinin yükselen maliyetleri, hastane gibi tüm insanlığa hizmet eden yerlerde konforlu ve hijyenik bir şekilde sistemin çalışmasını, aynı zamanda enerji giderlerini minimum seviyelere indirmeleri için tasarlanmış klima santrallerini ön plana çıkarmaktadır. Dünyada, artan hijyenik ısıtma ve soğutma ihtiyacını aynı anda karşılayan ve klima santrali olarak isimlendirilen cihazlar tercih edilmektedir. Enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin enerji analizini ve sistemdeki mevcut enerjiyi en verimli şekilde kullanmanın bir ölçüsü olan ekserji analizini doğru bir şekilde yapmak büyük önem taşımaktadır. İyileştirme ve verim artırımı konusunda, kütlenin korunumu, termodinamiğin I. ve II. kanunu ilkelerine dayanan ve enerji sistemlerinin tasarımı ve analizlerinde kullanılan bir yöntem olan ekserji analizi devreye girmektedir. Enerjinin kalitesini belirleyen ekserji analizi ile mevcut olan bir sistemde iyileştirmelere nereden başlanacağını ve hangi noktada en çok enerji kaybı olduğu bulunabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada; İstanbul Başkent Üniversitesi Hastanesinin klima santrali ele alınarak santral hat üzerinde bulunan kazan ve bir ameliyathane odası için ısıtma durumuna göre ekserji analizi yapılmış ve ortamdaki ekserji kayıpları incelenmiştir. Ayrıca sistemde ısıtma durumu temel alınarak kazan ve klima santrali için ekserji verimleri hesaplanarak grafikler halinde sunulmuş ve detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

2. MALZEME ve METOT

Bu çalışmada bir hastane binasına ait, ameliyathane ısıtma sisteminin ekserji analizi yapılmıştır. Hastane binası ısıtma sistemi incelendiğinde, sistemde iki adet 3 geçişli kazan kullanılmaktadır. Kazanların bir

tanesi asıl bir tanesi yedek olarak çalışmaktadır. Kazandan çıkan sıcak su ana ısıtma kolektörüne girip buradan Klima santrali, Fan Coil ve Boyler hattına dağıtılmaktadır. Analizin yapıldığı mahal için kullanılan klima santrali 3500 m³/saat debi kapasitesine sahip ve bir ameliyathane odasına hitap etmektedir. Bu nedenle hijyenik klima santrali olarak dizayn edilmiştir. Klima santralinde bulunan bataryalarından Isıtma kapasitesi 45000 kcal/h, soğutma kapasitesi ise 30000 kcal/h 'dır. Klima santrali 7/9 °C soğutma suyu çevrimine, 70/90 °C ısıtma suyu çevrimine göre çalışmaktadır.

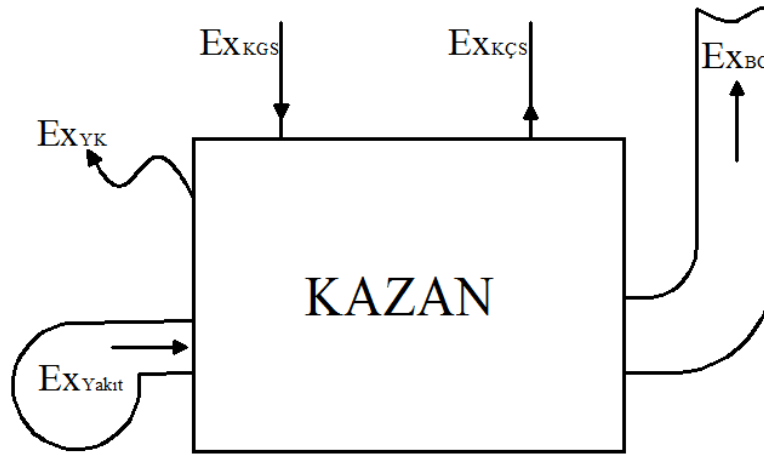
2.1 Isıtma Sisteminin Ekserji Analizi

Bir maddenin sıcaklığı (T) ve basıncındaki (P) özgül entalpisi (h) ve özgül entropisi (s) olduğunda özgül ekserjisi veya kullanılabilirliği;

$$Ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir [6].

Hastane ısıtma sistemi kazan ve klima santralinden oluştuğu için öncelikle bu ekipmanların ekserji analizleri yapılmıştır. Bilindiği gibi kazanlar, içerisinde yakılan yakıtın yanma enerjisini, sistemde iş gören akışkana aktarmak için kullanılan elemanlardır. Yanma sonucunda oluşan ısının tamamı akışkana aktarılamamaktadır. Isının bir kısmı kazanın yüzeyinden, bir kısmı ise baca gazı ile atmosfere atılmaktadır. Kullanılmayan ısının büyüklüğü kazanın verimi için çok önemli bir parametredir [7]. Bu parametreler göz önüne alınarak kazana ait ekserji faktörleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Kazan için ekserji faktörleri.

Kazan için Şekil 1'de oluşturulan ekserji faktörleri belirlendikten sonra her bir faktör için ekserji çözümleri yapılmıştır.

Yakıtın yanmasıyla oluşan ekserji;

Doğalgazın yanma denklemi oluşturulurken bütün yakıtın metandan (CH₄) oluştuğu kabul edilmiştir. Yakıtın ekserji değeri birim kütle için aşağıdaki eşitlikle bulunur [8].

$$\varepsilon_{yakıt} = H_a x \varphi \quad (2)$$

Burada φ kimyasal ekserji faktörü 1,04 alınmıştır [7,9].

Yakıtın toplam ekserji değerini bulmak için ise birim kütle için bulunan ekserji değeri toplam kütle ile çarpılır [8].

$$\sum Ex_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} x \varepsilon_{yakıt} \quad (3)$$

Kazan Giriş ve Çıkış Suyu Ekserjisi;

$$Ex_{KGS} = \dot{m}_{su} x [(h_{KGS} - h_0) - T_0 (s_{KGS} - s_0)] \quad (4)$$

$$Ex_{KÇS} = \dot{m}_{su} x [(h_{KÇS} - h_0) - T_0 (s_{KÇS} - s_0)] \quad (5)$$

Kazan Yüzeylerinden Isı Transferi İle Oluşan Kayıplar;

Kazan yüzeyinden, kazanın bulunduğu ortama bir ısı geçişi olur, bu geçiş kazan yüzeyinden gerçekleşen kayıp olarak adlandırılır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

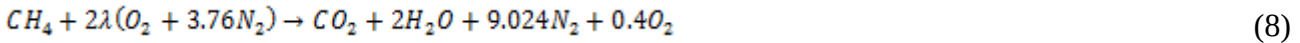
$$Ex_{YK} = Q_Y x \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right) \quad (6)$$

Burada;

$$Q_Y = A_Y x \alpha_Y x (T_Y - T_0) \quad (7)$$

Baca Gazlarının Ekserji Analizi;

Yakıtın tamamen metan (CH₄) gazından meydana geldiği kabulünden hareketle yakıtın gerçek yanma denklemi CH₄ ün yanma denklemine eşittir.



Hava fazlalık katsayısı lamda 1.2 alınmış olup mevcut kazana ait bakım kağıtlarından elde edilmiştir.

Gerçek yanma denklemi bulunduktan sonra yanma ürünlerinin toplam kütlesi hesaplanır. Yanma denkleminde de görüldüğü üzere yanma ürünleri CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ dir. Yanma ürünlerinin toplam kütlesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\dot{M}_{top.} = (1 \times M_{CO_2}) + (2 \times M_{H_2O}) + (9.024 \times M_{N_2}) + (0.4 \times M_{O_2}) \quad (9)$$

Yanma ürünlerinin toplam kütlesi bulunduktan sonra her bir yanma ürününün toplam kütle içerisindeki yüzde değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$y_i = \frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_T} \quad (10)$$

Böylece baca gazının kütledebisi bulunmuş olur. Baca gazının kütledebisi bulunduktan sonra yanma ürünlerinin bu kütle içerisindeki değerleri yüzdesel değerlerin yardımı ile hesaplanır.

$$\dot{M}_i = \dot{M}_{Bg} \times y_i \quad (11)$$

Baca gazları için yapılan işlemler ve bulunan sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Baca gazı kütleleri.

Baca gazı	M_i (g)	M_{top} (g)	$y_i = M_i / M_{top}$ (%)	$\dot{M}_{Bg}$ (kg/s)
N ₂	252.672	345.472	73.13	0.636
CO ₂	44	345.472	12.73	0.636
H ₂ O	36	345.472	10.42	0.636
O ₂	15.2	345.472	4.39	0.636

Yanma Ürünlerinin Toplam Ekserjileri;

Yanma ürünlerinin ekserjilerini hesaplayabilmek için gerekli değerler bulunduktan sonra her bir baca gazı için, termomekanik ve kimyasal ekserji değerleri bulunarak, baca gazındaki toplam ekserji kaybı hesaplanır. Baca gazı değeri kazan firmasının verileri baz alınarak tam yükte 180 °C olarak alınmıştır.

$$Ex_{bg} = \dot{m}_{bg} \left\{ \left[c_p (T_{bg} - T_0) - T_0 \ln \frac{T_{bg}}{T_0} \right] + Ex_{chemical} \right\} \quad (12)$$

$$Ex_{chemical} = R \times T_0 \left[Y_{N_2} \times \ln \frac{Y_{N_2}}{0.7567} + Y_{CO_2} \times \ln \frac{Y_{CO_2}}{0.000345} + Y_{O_2} \times \ln \frac{Y_{O_2}}{0.2035} \right] \quad (13)$$

Tam yanma olduğu için CO dikkate alınmamıştır.

Kazan İçin Toplam Ekserji Kaybı (Yıkımı);

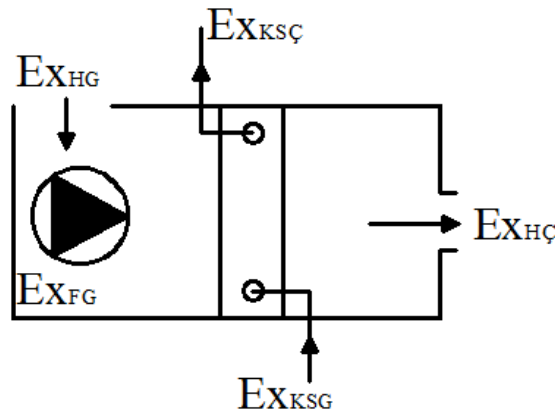
$$Ex_{DK} = Ex_{Yakıt} + Ex_{KG} - (Ex_{YK} + Ex_{KÇ} + Ex_{BG}) \quad (14)$$

eşitliği ile belirlenmiştir.

Kazanın Ekserji Verimi;

$$\eta = \frac{Ex_{su}}{Ex_{yakıt}} = \frac{Ex_{KÇ} - Ex_{KG}}{Ex_{Yakıt}} \quad (15)$$

Kazan ile ilgili ekserji hesaplamaları tamamlandıktan sonra ısıtma işlemini gerçekleştiren klima santraline ait ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 2’de klima santraline ait parametreler gösterilmiştir.



Şekil 2. Klima santrali parametreleri

2.2 Klima Santrali Giriş ve Çıkış Noktasına Ait Ekserjiler

Klima santraline giren ve çıkan suyun ekserjisi aşağıdaki eşitliklerle bulunmuştur.

$$Ex_{KSG} = \dot{m}_{su}x[(h_{KSG} - h_0) - T_0(s_{KSG} - s_0)] \quad (17)$$

$$Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{su}x[(h_{KSÇ} - h_0) - T_0(s_{KSÇ} - s_0)] \quad (18)$$

Klima santralinin hava kısmı hesaplanırken hava atmosferden çekildiği için ekserjisi 0 olarak kabul edilmiştir. Çıkış havasının ekserjisi ise aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır.

$$Ex_{HÇ} = \dot{m}_{hava}x[(h_{HÇ} - h_0) - T_0(s_{HÇ} - s_0)] \quad (19)$$

Klima santralinin fan gücü katalog değerlerinde 3kW olarak tespit edilip hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bu ifadelerin ardından, Klima santrali için toplam ekserji yıkımı ve verimi aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

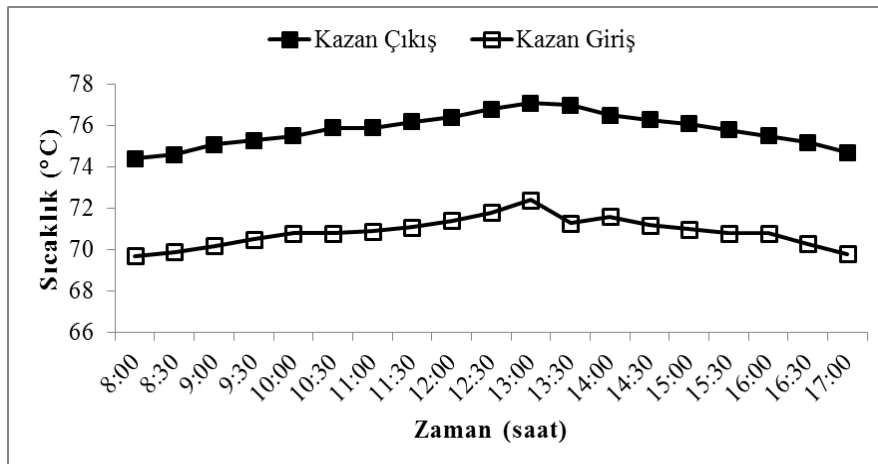
$$Ex_{DKS} = Ex_{HG} + Ex_{KSG} + Ex_{FG} - (Ex_{HÇ} + Ex_{KSÇ}) \quad (20)$$

$$\eta = \frac{Ex_{HÇ} - Ex_{HG}}{Ex_{FG}} \quad (21)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada Başkent Üniversitesi İstanbul Hastanesinde bir ameliyathane klima santrali ısıtma hattının ekserji analizi incelenmiştir. Kazan yüzey alanından, yakıtın yanmasından, baca gazından ve suyun giriş çıkışından kaynaklı ekserji kayıpları ile klima santralinin hava giriş çıkışından ve suyun giriş çıkışından kaynaklı ekserji kayıpları hesaplanarak elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 3'te zamana bağlı olarak kazan giriş ve çıkış su sıcaklıklarının değişimi görülmektedir. Kazanın ekserji hesaplamalarına temel teşkil eden giriş ve çıkış sıcaklıkları önemlidir. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi 69.7 ile 72.4 °C aralığında değişen kazan giriş suyu sıcaklığı kazan çıkışında 74.4 ve 77.1 °C aralığında değişerek çıkmıştır.



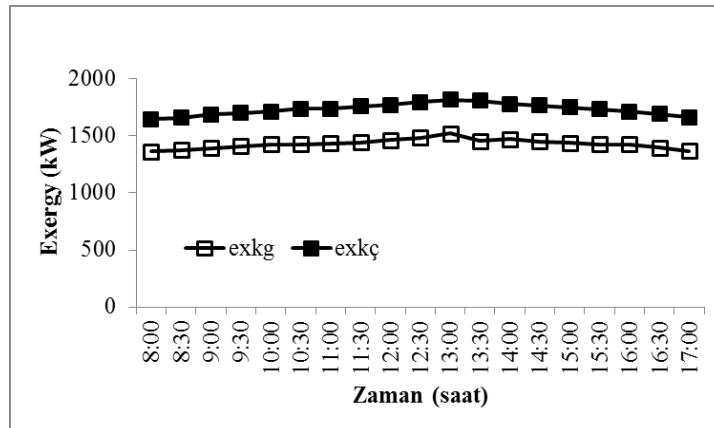
Şekil 3. Zamana bağlı kazan giriş çıkış su sıcaklık değişimleri.

Yarım saatlik yapılan ölçümler neticesinde kazan giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen entalpi ve entropi değişimleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Zamana göre kazan giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak değişen entalpi ve entropi değerleri.

Zaman (saat)	T _{dış} (°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)
8:00	8.0	69.7	292.09	0.95126	74.4	311.79	1.0083	105
8:30	8.2	69.9	292.93	0.9537	74.6	312.63	1.0107	105
9:00	8.5	70.2	294.19	0.95737	75.1	314.72	1.0168	105
9:30	9.1	70.5	295.45	0.96102	75.3	315.56	1.0192	105
10:00	10.0	70.8	296.70	0.96468	75.5	316.40	1.0216	105
10:30	11.2	70.8	296.70	0.96468	75.9	318.08	1.0264	105
11:00	12.5	70.9	297.12	0.9659	75.9	318.08	1.0264	105
11:30	14.0	71.1	297.96	0.96833	76.2	319.34	1.0300	105
12:00	14.5	71.4	299.22	0.97198	76.4	320.18	1.0324	105
12:30	14.6	71.8	300.89	0.97685	76.8	321.85	1.0372	105
13:00	14.5	72.4	303.41	0.98413	77.1	323.11	1.0408	105
13:30	14.5	71.3	298.80	0.97077	77.0	322.69	1.0396	105
14:00	14.4	71.6	300.05	0.97442	76.5	320.60	1.0336	105
14:30	14.4	71.2	298.38	0.96955	76.3	319.76	1.0312	105
15:00	14.2	71.0	297.54	0.96712	76.1	318.92	1.0288	105
15:30	12.0	70.8	296.70	0.96468	75.8	317.66	1.0252	105
16:00	11.7	70.8	296.70	0.96468	75.5	316.40	1.0216	105
16:30	10.8	70.3	294.61	0.95859	75.2	315.14	1.0180	105
17:00	10.0	69.8	292.51	0.95248	74.7	313.05	1.0119	105

Tablo 2’de gösterildiği gibi kazan giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre elde edilen entalpi ve entropi değerleri ile bir önceki bölümde verilen eşitlikler yardımıyla kazan giriş ve çıkış ekserji değerleri hesaplanarak Şekil 4’te verilmiştir.

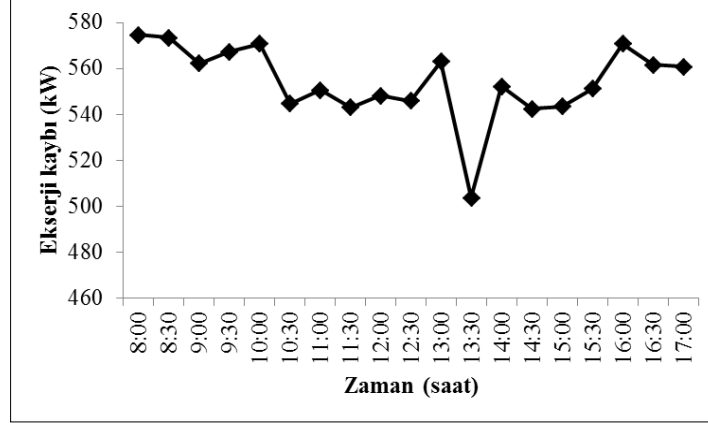


Şekil 4. Zamana bağlı kazan giriş ve çıkış ekserji değerleri.

Şekilden görülebileceği gibi zamana bağlı olarak kazan giriş ekserji değerleri 1362 ve 1521 kW aralığında değişmiş ve en yüksek ekserji değeri 1521.7 kW olarak dış hava sıcaklığının ve kazan giriş sıcaklığının sırasıyla 14.6 ve 72.4 °C ile saat 13:30 ‘daki en yüksek değerlerinde hesaplanmıştır. Benzer

şekilde kazan çıkış ekserji değerleri 1644 ile 1816 kW arasında değişmiş en yüksek kazan çıkış ekserji değeri beklenildiği gibi kazan çıkış sıcaklığının en yüksek değeri olan 77.1 °C de gerçekleşmiştir.

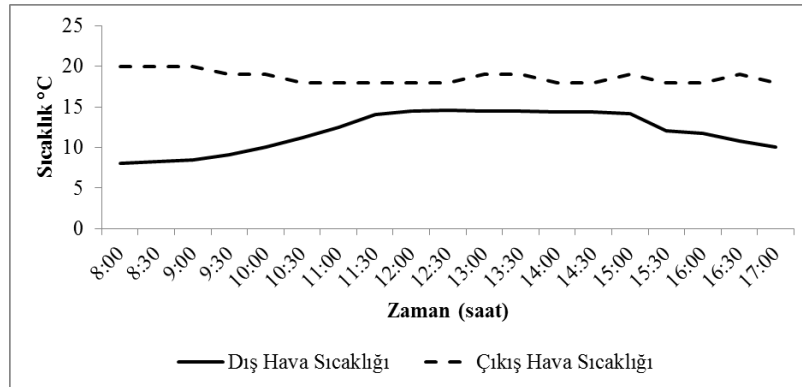
Kazan toplam ekserji yıkımı veya toplam ekserji kaybı kazan giriş ekserjisi ve yakıtın ekserji toplamı ile kazan çıkış ekserjisi, kazan yüzey kayıplarının ekserjisi ve baca gazı ekserjilerinin toplamı arasındaki farka eşittir. Yapılan hesaplamalar sonucu zamana bağlı olarak kazanın toplam ekserji kaybı Şekil 5.3 ile gösterilmektedir. Şekilde 503.7 ve 574.6 kW aralığında değişen ekserji kaybı en düşük saat 13:30 da alınan ölçüm sonuçlarına göre olurken kazanın ortalama ekserji kaybı 554.28 kW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Zamana bağlı olarak kazan toplam ekserji kaybının değişimi.

Şekil 5'te kazanın toplam ekserji kaybı, kazan giriş çıkış ekserjileri ile birlikte yakıtın ekserji değeri, kazan yüzey kayıplarından oluşan ekserji ve yanma sonucu oluşan baca gazı ekserji değerleri yardımıyla oluşturulmuştur. Bir önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde verilen eşitlikler yardımıyla yakıtın ekserji değeri 1383 kW, kazan yüzey kayıplarından oluşan ekserji kaybı 1.1475 kW ve son olarak yanma sonucu oluşan baca gazı ekserjisi de 524.39 kW olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6'da zamana bağlı olarak değişen dış hava ve klima santrali sıcaklıkları görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi dış hava sıcaklığı 8 ila 14.6 °C arasında değişirken klima santrali çıkış hava sıcaklığı 18-20° C arasında değişmiştir. Klima santrali çıkış sıcaklığı dar bir sıcaklık aralığında tutulmuş olup konfor şartları sağlanmaya çalışılmıştır.

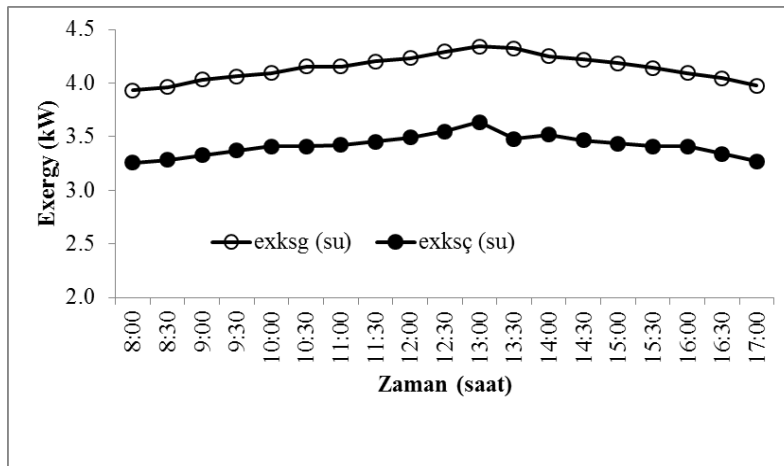


Şekil 6. Zamana bağlı olarak dış hava ve klima santrali çıkış sıcaklıklarının değişimi.

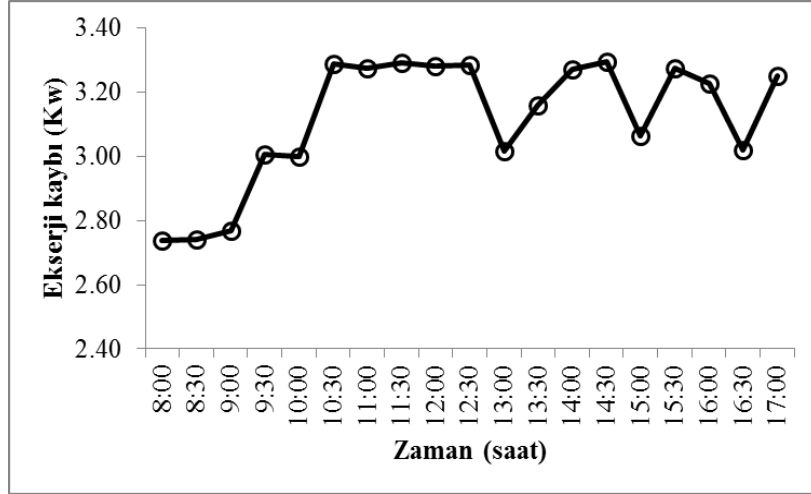
Tablo 3. Zamana bağlı olarak klima santrali çıkış havası ekserji değerleri.

Zaman (saat)	T _{dış} (°C)	T _{ksçh} (°C)	h _{ksç} (kJ/kg)	s _{ksç} (kJ/kgK)	Fan Gücü (kW)	$\dot{m}_{su-ahu}$ (kg/s)	$\dot{m}_{hava-ahu}$ (kg/s)	Ex _{ksçh} (kW)
8:00	8.0	20	293.32	1.676	3.0	0.251	1.166	0.9384551
8:30	8.2	20	293.32	1.676	3.0	0.251	1.166	0.9384551
9:00	8.5	20	293.32	1.676	3.0	0.251	1.166	0.9384551
9:30	9.1	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
10:00	10.0	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
10:30	11.2	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
11:00	12.5	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
11:30	14.0	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
12:00	14.5	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
12:30	14.6	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
13:00	14.5	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
13:30	14.5	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
14:00	14.4	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
14:30	14.4	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
15:00	14.2	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
15:30	12.0	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
16:00	11.7	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125
16:30	10.8	19	292.21	1.673	3.0	0.251	1.166	0.6871238
17:00	10.0	18	291.12	1.670	3.0	0.251	1.166	0.4591125

Yapılan yarım saatlik ölçümler neticesinde klima santrali çıkış hava sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen entalpi ve entropi değişimleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgede verilmeyen klima santrali su giriş ve çıkış sıcaklıkları için sırasıyla Çizelge 2'den kazan çıkış ve de kazan giriş sıcaklıkları olarak okunabilir. Çizelge 3'te gösterildiği gibi klima santrali çıkış sıcaklıklarına göre elde edilen entalpi ve entropi değerleri hesaplanan klima santrali giriş ve çıkış ekserji değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

**Şekil 7.** Zamana bağlı olarak klima santrali su giriş ve çıkış ekserji değişimleri.

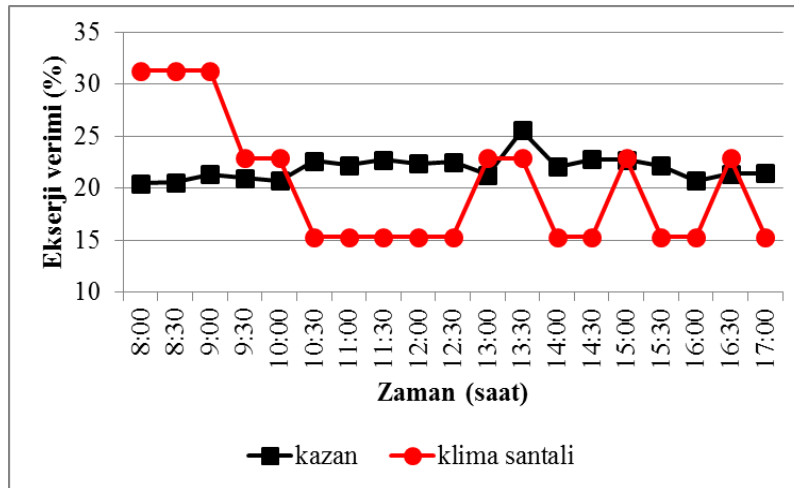
Şekil 7'den görülebileceği gibi zamana bağlı olarak klima santrali su giriş ekserji değerleri 3.93 ve 4.25 kW aralığında değişirken klima santrali su çıkış ekserji değerleri 3.27 ve 3.63 kW aralıklarında değişmiştir.



Şekil 8. Zamana bağlı olarak klima santrali toplam ekserji kaybının değişimi.

Şekil 8’de zamana bağlı olarak klima santrali toplam ekserji kayıplarının değişimi görülmektedir. Şekilde klima santralinin toplam ekserji kaybı, klima santrali su ve hava giriş ekserji değerleri ve fan gücünün toplamı ile klima santrali su ve hava çıkış ekserji değerlerinin toplamı arasındaki farka eşittir. Hesaplamalarda klima santrali giriş havasının ekserji değeri sıfır alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu toplam ekserji kaybı 2.73 ve 3.29 kW aralıklarında değişmiştir. Ortalama klima santrali toplam ekserji kaybı 3.11 kW olarak hesaplanmıştır.

Son olarak ele alınan Ameliyathane odasının kış sezonu ısıtma durumundaki kazan ve klima santrali için hesaplanan ekserji verimlerinin zamana göre değişimi Şekil 9’da verilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde %20.4 ile %25.7 arasında değişen kazan ekserji veriminin ortalama değeri %21.92 olmuştur. Benzer şekilde grafikten de görülebileceği gibi %15.3 ile %31.28 arasında değişen klima santrali ekserji veriminin ortalama değeri %20.22 olmuştur.



Şekil 9. Zamana bağlı olarak kazan ve klima santrali.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; İstanbul Başkent Üniversitesi Hastane binasında bulunan klima santrali ısıtma hattının ekserji analizi yapılmıştır. Isıtma sisteminde bulunan kazan ve klima santraline ait ekserji kayıpları ve

ekserji verimleri farklı zaman dilimlerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Doğalgaz yakıtlı kazan açık sistem olarak ele alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve yapılan bu hesaplamalar neticesinde kazan için ekserji kaybı (yıkımı) ortalama 554.28 kW olurken klima santrali için 3.11 kW olmuştur. Benzer bir biçimde kazan ekserji veriminin ortalama değeri %21.92 olurken klima santrali ekserji veriminin ortalama değeri %20.22 olmuştur.

Elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki yargılara varılabilir. Bazı yapılabilecek iyileştirmeler düşünülmüştür.

- Kazan ekserji kaybının yüksek çıkması yanma olayındaki kimyasal enerji, ısı enerjisi ve iç enerji gibi düzensizliklerin fazla olmasına bağlanabilir.
- Dış hava sıcaklığının ve kazan çıkış sıcaklığının artışı kazan ekserji verimini arttırarak literatürdeki % 20 ve % 40 arasında değişen kazan ekserji verimleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Benzer şekilde klima santrali çıkış hava sıcaklığının artışı klima santrali ekserji verimini arttırmıştır.
- Sistem üzerinde ekserji kayıplarını düşürmek için; Kazan besleme suyunun kalitesinin arttırılması, sistem üzerinde kullanılmayan hatların vanaları kapatılması zaruridir.
- Kollektördeki su miktarını kontrol edecek bir otomasyon sisteminin olması uygun olacaktır.
- Kazanın ve klima santralinin genel bakımları yapılmalı ve düzenli olarak baca temizliği yapılmalıdır.
- Klima santrali üzerinde bulunan filtrelerin temizlenmesi düzenli olarak yapılmalı ve batarya yüzeyleri her bakım sırasında kesinlikle yıkanmalıdır.
- İki batarya arasında kalan yüzeyler ihmal edilmemelidir. Bununla birlikte batarya giriş ve çıkış sıcaklıklarının kontrolü yapılan bir otomasyon sistemi ile sağlanmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Tetik, T., “Doğalgaz yakıtlı bireysel ısıtma sisteminin enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, 20-22 (2011).
2. Sakulpipatsin, P., Itard, L., Van Der Kooi, H., Boelman, E., and Lescuere, P., “An exergy application for analysis of buildings and HVAC systems”, Energy and Buildings, 42 (1): 90-99 (2010).
3. Marletta, L., “Air conditioning systems from a 2nd law perspective”, Entropy, 12 (4): 859-877 (2010).
4. Kanoğlu, M., Dinçer, İ., Rosen, M., “Exergy analysis of psychrometric processes for HVAC&R applications”, ASHRAE Transactions, 113 (2): 172-180, (2007).
5. Özgener, L., Hepbaşlı, A., Dinçer, İ., “Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: Energy Analysis”, Energy and Buildings, 38 (4): 286-292 (2006).
6. Kabul, A., Kızıllan, Ö. and Yakut, A.K., “Energy and exergy analysis of a refrigeration system with shell and tube heat exchanger using R404A”, Journal of Thermal Science and Technology, 30 (2): 85-93 (2010).
7. Çomaklı, K., Yüksek, B., “Kazanlarda ekserji analizi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 72, 33-37 (2002).

8. Çalışkan, H., Tat, E.M., Hepbaşı, A., “Performance assesment of internal combustion engine at varying dead (reference) state temperatures”, Applied Thermal Engineering, 29 (16): 3431-3436 (2009).
9. Kotas, T.J., “The exergy method of thermal plant analysis” Butter-Worths, London, (1985).