

Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazında kullanılan parametrelerin hata analizleri

Nadir İLTEN¹, Mehmet MUSLU², İsmail CANER^{1,*}

¹Balikesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

²Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 27.01.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 14.07.2018

Özet

Bütün ölçüm aletleri ve ölçümler yapılan testlere bağlı olarak değişik özellikler göstermekle beraber genel anlamda hepsinin belirli özellikleri vardır. Yapılan hataların başında yanlış seçilen ölçüm aletleri, bu ölçü aletlerinin kalibrasyonları, çevre ve deney şartları, kişisel hatalar vb. şeklinde sıralanmakla beraber, bu hatalar doğru metot ve programla en aza indirilebilir. Yapılan çalışmada ısı pompası destekli ısı geri kazanım cihazının deneysel çalışmaları incelenmiş ve oluşan hataların sistem üzerine etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelime: Hata analizi, ısı pompası, ısı geri kazanımı.

Error rates of parameters used in heat pumps supported heat recovery

Abstract

All measuring instruments and measurements, depending on the specific characteristics of all the tests are in general although with varying features. At the beginning of the errors made, mis-selected measuring instruments, calibrations of these measuring instruments, environmental and test conditions, personal mistakes, these mistakes can be deducted with the right method and program. In the study, error rates of parameters used in heat pumps supported heat recovery were examined and the effect of these errors on the system was researched.

Keywords: Error analysis, heat pump, heat recovery system.

Nadir İLTEN, nilten@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4009-5078>

Mehmet MUSLU, mehmetmsl.bau@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5614-4562>

*İsmail CANER, ismail@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1232-649X>

1. Giriş

Isı geri kazanımının yaygın kullanılan tanımlarından biri, enerjinin (ısı/kütle), yüksek sıcaklıktaki bir hava akışından daha düşük sıcaklıktaki diğer bir hava akışına aktararak geri kazandırılması işlemidir [1]. Isı geri kazanımı gerçekleştiren bir sistemin uygulamada verimli ve ekonomik olması beklenir [2]. Havalandırma sistemleri için Avrupa Birliği ülkelerinde enerji tasarrufu açısından gerekliliği iyice anlaşılan ısı geri kazanım sistemleri ülkemizde de önem kazanmaya başlamıştır. 500 m³/saat veya daha fazla havalandırma debisine sahip olan havalandırma sistemi içeren yeni yapılacak binalarda ısı geri kazanım sistemi kullanılması zorunlu tutulmuştur [3].

Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası kullanılan bir ısı geri kazanım cihazının hata analizleri yapılmıştır. Bilindiği gibi hava her yerde bulunabildiği, ısı pompalarında kullanımı kolay ve ekonomik olduğu için en çok kullanılan ısı kaynağıdır [4]. Ancak ısı kaynağı olarak havanın en büyük dezavantajı kararlı bir sıcaklığa sahip olmaması ve hava sıcaklığının kış ayların - da özellikle karasal iklimlerde çok düşmesidir. Hatta hava sıcaklığı gün içinde bile değişkenlik gösterebilmektedir. Dış hava sıcaklığının düşmesi ısı pompasının kapasite ve performansını düşürmektedir [5-6].

Yapılan çalışmalarda alınan veriler kadar önemli bir hususta bu verilerin doğruluğudur. Bu doğruluğu etkileyen unsurlardan en önemlisi, deneyler sırasında meydana gelen ölçüm hatalarıdır. Yapılan deneylerde standartlara uygun bir deney düzeneği kurulmasına rağmen hatalar meydana gelebilir. Bunlar iki farklı sebepten ötürü oluşur. Bu sebepler ölçüm aletlerinden kaynaklanan ve deneyi yapan kişilerden kaynaklanan hatalardır. Bu hatalardan kişisel olanları deneyimli kişiler tarafından deneylerin yapılması ile giderilir. Lakin deney seti ve ölçü aletlerinden kaynaklanan hataların giderilmesi kişisel hataların giderilmesinden daha zordur. Bunun sebebi, hatanın doğrudan doğruya deneyde kullanılan araç-gereçlerin yapısal hatalarından kaynaklanıyor olmasındandır [7].

Deneysel hataları gruplara ayırmak gerekirse 3 gruptan söz edilebilir:

- Dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hataları birinci grup hatalar olarak görebiliriz. Bu grup hatalarda yanlış ölçme cihazı seçimi veya dizaynın yanlış bir biçimde yapılmasından ortaya çıkan hatalar incelenmektedir. Fakat bu hatalar genellikle deneyi yapan kişinin kendisinden kaynaklanan hatalar olduğundan, tecrübeli kişiler tarafından deneyin yapılması bu hataların önüne geçer.
- Sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalar ise ikinci grup hatalar arasında yer almaktadır. Bu tarz hatalar ise deney sırasında sürekli ve belirli sıklıklarda oluşan hatalardır. Bu tarz hataların başlıca sebeplerine değinilmek gerekirse, kullanılan cihazların yanlış kalibrasyonu veya deney yapılan ortamda dış koşullardan etkileniyor olması, deney koşullarını sınırlandırması veya gerçek değerleri tam yansıtamamasından kaynaklanan hatalar ve cihaz hassasiyetinin tam olarak yapılamıyor olmasından kaynaklanır.
- Üçüncü grup hatalara geldiğimizde bu hatalar ise rastgele hatalardandır. Bu hatalar deneyler sırasında kontrol olanağı olmayan, öngörülemeyen durumlardan kaynaklanan hatalardır. Bu hatalar diğer hatalar gibi önceden önlemini alabileceğimiz hatalar değildir. Zira ne zaman ortaya çıkacağı veya kaçmayacağını kestirmemiz mümkün değildir.

Bu şekilde hataları gruplandırmak mümkündür [8].

Yapılacak olan bir hata analizi uygulamasında sadece deneysel olarak elde edilen verilerin yorumlanmasında değil, aynı zamanda bu deneysel çalışmada kullanılacak olan materyal ve metodun belirlenmesinde de önemli rol oynamaktadır [9]. Deneysel çalışma esnasında ölçülecek olan değerlerin ve ölçüm araçlarının seçilmesinden önce bu çalışmanın yapılması, sistem için en uygun sonuçların elde edilmesine ve sistemde bulunacak olan hataların minimum seviyeye indirilmesini sağlayacaktır.

Literatür araştırılması yapıldığında birçok deneysel çalışmaya rastlanmaktadır. Fakat bu deneysel çalışmalarda hata analizi bölümüne çok fazla rastlanmamakla beraber, bu bölümün önemi çok fazla vurgulanmamıştır [10]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise hata analizi bölümüne verilen önem artmakta ve bu bağlamda yapılan çalışmalara eklenmektedir. Özellikle deneysel verilerin ve ölçüm aletlerinin fazla olduğu çalışmalarda, yapılacak hata oranının artması, bu çalışmanın sonuçlarını nasıl etkileyeceği, gibi sorulara verilecek olan cevabın doğruluğu açısından hata analizi deneysel çalışmaların vazgeçilmez bir unsuru olarak göze çarpmaktadır.

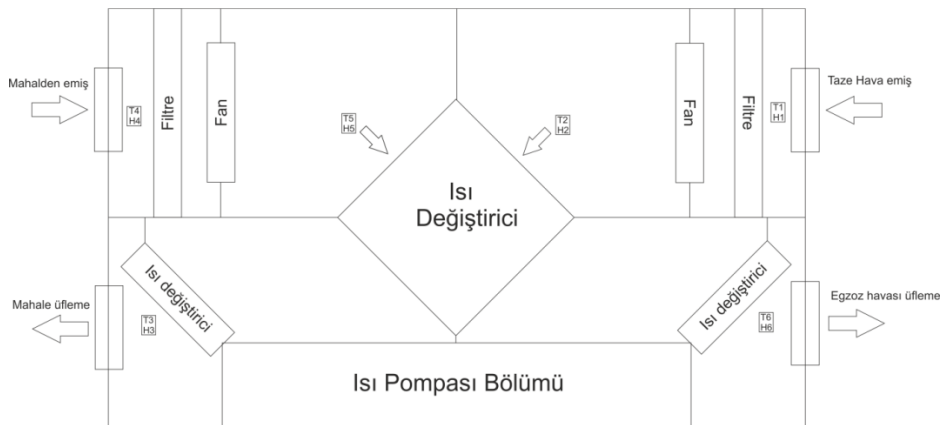
2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Cihaz taze ve egzoz havalarının devir daimini sağlayan fanlara sahip olup, ısıtma veya soğutma işlemi ısı pompası (havadan havaya) ile sağlanan paket bir ısı geri kazanım cihazıdır. (taze ve egzoz hava kanalları sistem içerisine monte edilmeye uygun). Cihazda bulunan ısı pompası sisteminde 2 kg R-22 soğutucu akışkanı bulunmaktadır. Yaz ve kış konumunda çalışmasına olanak sağlamaktadır. Isı pompası üzerinde 1780 Watt gücünde scroll kompresör kullanılmıştır.

Test sırasında sadece sistem üzerinde bulunan fanlar çalıştırılmış ve fan debisi sabit olup ortalama $650 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak ayarlanmıştır. Testlerin yapılması esnasında, yaz koşullarında dış hava sıcaklığı ortalama 28°C , iç ortamdaki emilen hava ise 25°C 'den başlayarak 20°C 'ye kadar düşürülerek, kış koşullarında ise dış hava sıcaklığı ortalama $14,5^\circ\text{C}$, iç ortamdaki emilen hava ise 20°C 'den başlayarak 25°C 'ye kadar yükseltilerek sistem performansı incelenmiştir.

Yapılacak olan örnek çalışmanın şematik gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Cihazın devre şeması.

Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazında yapılan ölçümler sırasında hava debisi, sıcaklık, nem gibi parametrelerin ölçümü sırasında sabit hatalardan, imalat hatalarından veya rastgele (dış ortam, çevresel etkiler, anlık değişimler gibi) hatalardan kaynaklanan hatalar ölçüm değerlerini etkilediği tahmin edilmiştir. Bu sebeplerden ötürü ısı pompası destekli ısı geri kazanım cihazımızda toplam hataların hesaplanması gerekmektedir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Hata analizi genel formülasyon

Bir parametrenin değerlerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı aşağıda verilen denklem ile yapılabilir. Bu denklem farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği şu şekilde ifade edilir [11]:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_n \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_n \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Burada R: x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerinin verilen bir fonksiyonudur. W_1, W_2, \dots, W_n ise bağımsız değişkenlerin belirsizlikleridir [11].

2.2.2 Deneysel verilerin hesaplanmasında kullanılan formülasyonlar

Kanal içerisindeki havanın kütleli debisi:

$$\dot{m} = u \cdot A \cdot \rho \text{ [kg/sn]} \quad (2)$$

Yoğunlaştırıcı (kondenser) kapasitesi:

$$\dot{Q}_k = \dot{m}(h_3 - h_2) \text{ [kW]} \quad (3)$$

Kompresör gücü:

$$\dot{W}_c = V_m \cdot I_m \cdot \cos \phi \text{ Watt (Dijital olarak cihaz üzerinden okunmuştur.)}$$

Isıtma tesir katsayısı (COP):

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{W}_c} \quad (4)$$

Isıtma (kış) konumunda reküperatör etkinlik değeri:

$$\varepsilon_y = \frac{t_2 - t_1}{t_4 - t_1} \quad (5)$$

Isıtma (kış) konumunda toplam (ısı pompası+reküperatör) etkinlik değeri:

$$\varepsilon_{yt} = \frac{t_3 - t_1}{t_4 - t_1} \quad (6)$$

2.3. Hata analizi hesaplamaları

2.3.1. Sıcaklık ölçümlerinde yapılan hatalar

Sıcaklık ölçümlerinde yapılan hatalar, deney sırasında kullanılan dijital ekipmanlardan kaynaklı hatalar olabilir. Bunun için yapılan ölçümlerden kaynaklı hataları şu şekilde sıralanabilir.

(a1) Termoeleman çiftlerinden kaynaklanan hata = $\pm 0,15-0,35$ °C

(b1) Dijital termometreden kaynaklanan hata = $\pm 0,1$ °C

(c1) Bağlanma yerleri ve elemanlarından kaynaklanan hata = $\pm 0,1$ °C

Sistemde bulunan ekipmanlardan kaynaklanan hatalar:

$$W_T = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$W_T = \pm 0,206 - 0,377 \text{ °C}$$

2.3.2. Hız ölçümünden kaynaklanan hatalar

Deneyler sırasında cihazın hız ölçümler anemometre ile yapılmıştır. Bu ölçümlerden kaynaklı hatalar ise şu şekildedir:

(a2) Hava hızı ölçer (anemometre) hassasiyetinden kaynaklanan hatalar = $\pm 0,1$ m/sn

(b2) Sistemdeki debi kaçaklarından kaynaklanan hatalar = $\pm 0,1$ m/sn

şeklinde sıralanabilir.

Sistemde yapılan hava hız ölçümlerinden kaynaklanan toplam hata değeri;

$$W_H = [(a2)^2 + (b2)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$W_H = \pm 0,141 \text{ m/sn}$$

2.3.3. Nem ölçümünden kaynaklanan hatalar

Deneyler sırasında cihaz üzerinden sıcaklığın yanı sıra nem ölçümü de alınmıştır. Bu ölçümler sırasında da hatalar meydana gelmiş olabilir ve bu hatalar şu şekildedir:

(a3) Nem ölçüm cihazının hassasiyetinden kaynaklanan hatalar = $\pm 0,1$ RH

(b3) Havanın bağıl neminin okunmasından kaynaklanan hatalar = $\pm 0,01$ RH

(c3) Dijital göstergeden kaynaklanan hatalar = $\pm 0,1$ RH

Sistemde bulunan nem ölçüm cihazı ve olası durumlardan kaynaklanan toplam hata

$$W_N = [(a3)^2 + (b3)^2 + (c3)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$W_N = \pm 0,140 \text{ RH}$$

2.3.4. Diğer hatalar

Tablo değerlerinin ya da fiziksel değerlerin okunması sırasında yapılacak olan hatalarda hesap sonuçlarını etkileyeceğinden bu değerlerinde hesaba hatılması gerekir. Bu durumda bu hataların toplamı [12],

$$W_{CP} = \pm 0,1-0,2.$$

Tablo 1. Ölçülen parametrelerden meydana gelebilecek hatalar

<u>Parametreler</u>	<u>Birim</u>	<u>Toplam Hata</u>
<u>Sıcaklık ölçümündeki hatalar</u> W _T	°C	± 0,206 – 0,377
<u>Hız ölçümündeki hatalar</u> W _H	m/sn	± 0,141
<u>Nem ölçümündeki hatalar</u> W _N	%	± 0,140
<u>Diğer hatalar</u> W _{CP}	%	± 0,1 – 0,2

2.3.5. Sistemde bulunan hataların etkisi

Hesaplanan hata değerlerinin sistem üzerine etkisini anlayabilmek için bir hesaplama yapılarak bunu gözlememiz gerekmektedir. Bu hesaplama için yapılan deneyler arasından bir adet deney seçilerek bu deneyin sonuçlarına hatası incelenmiştir. İnceleme sırasında hata oranı en yüksek olan sıcaklık kullanmıştır.

Tablo 2. Kış şartlarında (ısıtma) deney sonuçları-1

	SICAKLIK(°C)	NEM(%)	GÜÇ (WATT)
TAZE HAVA EMİŞ	14,6	57	
REKÜPARATÖR ÇIKIŞ	18,5	49/35	
TAZE HAVA ÜFLEME	35,1	24/57	
EGZOZ HAVASI EMİŞ	20,1	44	
REKÜPARATÖR ÇIKIŞ	18,4	49	
EGZOZ HAVASI ÜFLEME	8,3	78,5	
KOMPRESÖR			834
TAZE HAVA FANI			16,8
EGZOZ HAVA FANI			55,8
HAVA HIZI (m/sn)	6,8		

h₁: 29,74 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

h₂: 35,26 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

h₃: 60,1 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

u: 6,8 m/sn (hava hız duyargası (sensörü) ile ölçülmüştür)

$$A = \frac{\pi \times (20 \times 10^{-2})^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2 \quad (10)$$

$$\rho = 1,138 \text{ kg/m}^3 \text{ (35,1 °C, 101,325 kPa, Balıkesir rakım:120 m' de)}$$

Yukarıda belirlenen değerlere göre, öncelikle sirkülasyonu sağlanan havanın ısı geri kazanım cihazı içerisindeki kütleli debi hesabı teorik olarak yapıлып, reküparatör etkinlik değeri, COP ve kondenser kapasitesi aşağıdaki bağıntılarla hesaplanacaktır. Kanal içerisindeki havanın kütleli debisi 2'deki formül kullanılarak:

$$\dot{m} = 0,242 \text{ kg/sn}$$

Yoğunlaştırıcı (kondenser) kapasitesi 3'teki formül kullanılarak:

$$\dot{Q}_k = 6,035 \text{ kW} = 6035 \text{ Watt}$$

Kompresör gücü:

$$\dot{W}_c = V_m \cdot I_m \cdot \cos\phi = 834 \text{ Watt (Dijital olarak cihaz üzerinden okunmuştur.)}$$

Isıtma tesir katsayısı (COP) 4'teki formül kullanılarak:

$$\text{COP} = \frac{6035}{834} = 7,23$$

Isıtma (kış) konumunda reküparatör etkinlik değeri 5'teki formül kullanılarak:

$$\varepsilon_y = \frac{18,5 - 14,6}{20,1 - 14,6} = 0,7$$

Isıtma (kış) konumunda toplam (ısı pompası + reküparatör) etkinlik değeri 6'daki formül kullanılarak:

$$\varepsilon_{yt} = \frac{35,1 - 14,6}{20,1 - 14,6} = 3,72$$

Tablo 3. Kış şartlarında (ısıtma) deney sonuçları-1 (sıcaklık hataları eklenmiş).

	SICAKLIK(°C)	NEM(%)	GÜÇ (WATT)
TAZE HAVA EMİŞ	14,6 (+,0377)	57	
REKÜPARATÖR ÇIKIŞ	18,5 (-0,377)	49	
TAZE HAVA ÜFLEME	35,1 (+0,377)	24	
EGZOZ HAVASI EMİŞ	20,1 (-0,377)	44	
REKÜPARATÖR ÇIKIŞ	18,4	49	
EGZOZ HAVASI ÜFLEME	8,3	78,5	

Tablo 3. (Devamı).

KOMPRESÖR			834
TAZE HAVA FANI			16,8
EGZOZ HAVA FANI			55,8
HAVA HIZI (m/sn)	6,8		

h_1 : 30,48 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

h_2 : 34,49 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

h_3 : 59,14 kJ/kg (psikrometrik diyagramdan okunmuştur)

u : 6,8 m/sn (hava hız duyargası (sensörü) ile ölçülmüştür)

$$A = \frac{\pi \times (20 \times 10^{-2})^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,136 \text{ kg/m}^3 \text{ (35,47 } ^\circ\text{C, 101,325 kPa, Balıkesir rakım:120 m'de)}$$

Yukarıda belirlenen değerlere göre, öncelikle sirkülasyonu sağlanan havanın ısı geri kazanım cihazı içerisindeki kütleli debi hesabı teorik olarak yapıлып, reküparatör etkinlik değeri, COP ve kondenser kapasitesi aşağıdaki bağıntılarla hesaplanacaktır.

Kanal içerisindeki havanın kütleli debisi 2'deki formül kullanılarak:

$$\dot{m} = 0,242 \text{ kg/sn}$$

Yoğunlaştırıcı (kondenser) kapasitesi 3'deki formül kullanılarak:

$$\dot{Q}_k = 5.96 \text{ kW} = 5960 \text{ Watt}$$

Kompresör gücü:

$$\dot{W}_c = V_m \cdot I_m \cdot \cos\phi = 834 \text{ Watt (Dijital olarak cihaz üzerinden okunmuştur.)}$$

Isıtma tesir katsayısı (COP) 4'deki formül kullanılarak:

$$\text{COP} = \frac{5960}{834} = 7,15$$

Isıtma (kış) konumunda reküparatör etkinlik değeri 5'teki formül kullanılarak:

$$\varepsilon_y = \frac{18,13 - 14,97}{19,72 - 14,97} = 0,698$$

Isıtma (kış) konumunda toplam (ısı pompası+reküparatör) etkinlik değeri 6'daki formül kullanılarak:

$$\varepsilon_{yt} = \frac{35,47 - 14,97}{19,76 - 14,97} = 3,9$$

3. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmada 6 noktadan sıcaklık ve nem, 2 noktadan hava hızı ölçümleri alınmış olup bu ölçümler değerlerinin hassasiyetleri hesaplanmak istenmiştir.

Yapılan analiz sonucu kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyet değerleri gerekli eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklık, nem ve diğer parametrelerin ölçümleri sırasında kullanılan cihazlardan ve yapılan ölçümler sırasında dış etmenlerden dolayı oluşabilecek hatalar hesaplanmış, hesaplanan hata değerleri ölçüm sonuçlarıyla kıyaslandığında küçük değerler olduğu görülmüş, bu hataların deney sonuçlarına büyük etkilerinin olmayacağı anlaşılmıştır.

Tablo 4. Hata oranları ile normal değerler arasında fark yüzdeleri

	Normal Değerler	Hata Oranı Eklenmiş Değerler	Fark Yüzdesi (%)
Kondenser Gücü (W)	6035	5960	1,24
COP	7,23	7,15	1,10
Reküpöratör etkinliği	0,7	0,698	0,28
Isı pompası + reküpöratör etkinliği	3,72	3,9	4,8

Tablo 4’te görüleceği üzere sadece “ısı pompası + reküpöratör etkinlik değeri” yüzdesi beklenenden daha yüksek çıkmıştır. Bunun değerin yüksek çıkmasının sebepleri arasında birbiri ile alakalı sıcaklık hata oranlarının en uzak, yani bir değer “+” olarak en yüksek diğer değer ise “-“ olarak en düşük seçilerek iki sıcaklık arasındaki fark max. Olacak şekilde seçilmiştir. Uygulamada böyle bir netice ile karşılaşmak hayli güç olsa da bir ihtimal dahilindedir.

Oldukça hassas işlemlerde %1 lik bile çıkacak hata oranı sistem üzerinde olumsuz etkiler yaratacağı bilinmesine karşın, üzerinde çalıştığımız sistemde oluşacak olan bu hata yüzdeleri göz ardı edilebilecek düzeydedir.

Teşekkür

Bu çalışma 2015/232 no’lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Balıkesir Üniversitesi’ne destekleri için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Mardiana-Idayu, A. ve Rıffat, S.B., Review on heat recovery technologies for building applications, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(2), 1241-255, (2012).
- [2] Şentürk, U., Altın, M., Açar, G., Aktakka, S., Toksoy, M., Bir ısı geri kazanım cihazının performans karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak belirlenmesi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015/İzmir.
- [3] Binalarda enerji performansı yönetmeliği. (2008)
<http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Images/Kutuphane/751233.pdf>
(07.09.2018 tarihinde erişildi)
- [4] Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B., Özyurt, Ö., Isı pompası sistemlerinin seçimi, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 92, 40-49, (2006).
- [5] Yılmaz, V., Toprak kaynaklı ısı pompasının klasik sistemlerle tekno-ekonomik karşılaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2000
- [6] Cane, D. and Garnet, J., **Learning from experiences with commercial/institutional heat pump systems in cold climates**, CADDET Analyses Series No. 27, Caddet Energy Efficiency, (2000).
- [7] Yamankaradeniz, N., Endüstride ısı pompası kullanılarak atık ısıdan ısı geri kazanımının teorik ve deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).

- [8] Akpınar, E. Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: kurutma deneylerindeki hata analizi, **Mühendis ve Makine**, 46, 540, (2005).
- [9] <http://Www.Kocaelimakine.Com/Wp-Content/Uploads/2016/10/02-Deneysel-Hata-Analizi-Husamettin-Bulut.Pdf> (11.04.2017 Tarihinde Erişildi).
- [10] <http://Yunus.Hacettepe.Edu.Tr/~Polat/Hata-Hesabı.Pdf> (15.03.2017 Tarihinde Erişildi).
- [11] Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F., Akbulut, A., Hava kaynaklı ısı pompası sisteminin performans katsayısı, enerji ve ekserji analizi, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 87, 33-42, (2005).
- [12] Baskın, N., Bir soğuk hava deposundaki farklı kontrol yöntemlerinin enerji verimliliği yönüyle karşılaştırmalı analizi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Yüksek Lisans Tezi, (2017).