



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Yağ soğutmalı kondenser tasarımının termostat kontrollü bir soğutucuya uyarlanması ve performans deneylerinin incelenmesi

Adaptation of oil cooled condenser design to a thermostat controlled cooler and performance analysis

Yazar (Author): Bahadır ACAR

ORCID: 0000-0002-9494-6301

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Acar B., “Yağ soğutmalı kondenser tasarımının termostat kontrollü bir soğutucuya uyarlanması ve performans deneylerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 477-484, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444379

Yağ Soğutmalı Kondenser Tasarımının Termostat Kontrollü Bir Soğutucuya Uyarlanması ve Performans Deneylerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Bahadır ACAR*

Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE
(Geliş/Received : 20.03.2018 ; Kabul/Accepted : 20.06.2018)

ÖZ

Soğutma ve soğutma sistemlerine olan talebin hızla arttığı günümüzde soğutma sistemlerinden birçok alanda yararlanılmaktadır. Bununla birlikte günümüzde artan enerji ihtiyacına bağlı olarak soğutma sistemlerinden verimli bir şekilde yararlanmak ve enerji tasarrufu sağlamak oldukça önem kazanmıştır. Ev tipi soğutucularda sistemin verimini artırmanın en önemli yöntemlerinden biri de kondenser kapasitesinin artırılmasıdır. Bu çalışmada ilk olarak doğal taşınımlı telli-boru tip kondenserin performans analizi yapılmıştır. Daha sonra kondenser bir tankın içine yerleştirilerek tank içerisine sırasıyla 2.5, 5, 7.5 ve 10 L miktarlarında bitkisel yağ eritilip doldurulmuş ve sistemin performans analizi yapılmıştır. Çalışmada ev tipi soğutucu 2 saat boyunca kesikli olarak çalıştırılmıştır. Basınç ve sıcaklık ölçümleri 5'er dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Yağ soğutmalı kondenserde yağ miktarı arttıkça kondenser performansının arttığı ve enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Hava soğutmalı kondenser kullanarak yüksüz çalıştırıldığında COP değeri 2.23 ve enerji tüketimi 90 Wh iken, 10 L bitkisel yağ yüklü yağ soğutmalı kondenserin COP değeri 2.81'e çıkmış ve enerji tüketimi ise 35 Wh'e inmiştir. Hava soğutmalı kondenser kullanarak yüklü çalıştırıldığında COP değeri 2.14 ve enerji tüketimi 95 Wh iken, yağ soğutmalı kondenserin COP değeri 2.84'e çıkmış ve enerji tüketimi ise 40 Wh'e inmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava soğutmalı kondenser, yağ soğutmalı kondenser, COP, enerji tüketimi.

Adaptation of Oil Cooled Condenser Design to A Thermostat Controlled Cooler and Performance Analysis

ABSTRACT

Today, the need for cooling and cooling technologies are growing fast and they are used in many areas. On the other hand, saving energy and using the cooling systems more efficiently are major concerns in today's growing energy needs. Increasing the condenser capacity is one of the way of improving household refrigerator efficiency. In this study, first the performance test of a natural circulation wire-tube condenser was tested. Then the condenser was placed into a tank and 2.5, 5, 7.5 and 10 liters of melted vegetable oil was filled into the tank. Performance tests of the system were performed at both loaded and unloaded conditions as intermittent operation. A domestic refrigerator was run for 2 hours as intermittent operation for each scenario. All measurements (pressure and temperature) were taken at 5 minutes intervals. Experimental results showed that as the amount of oil in the oil-cooled condenser increases, the condenser capacity and cooling capacity also increase, and also the energy consumption of the system decreases. The energy consumption in unloaded operation of air-cooled condenser for 1 hour was measured as 90 Wh, and it decreased to 35 Wh for oil-cooled condenser filled with 10 liters of oil. The COP of the system in unloaded operation of air-cooled condenser was calculated as 2.23 and the energy consumption was about 90Wh. However, The COP of the system in loaded operation of oil-cooled condenser was increased to 2.81 and the energy consumption was decreased to 35Wh. On the other hand, the COP of the system in loaded operation of air-cooled condenser was measured as 2.14 and the energy consumption of it was about 95Wh. But, the COP of the oil-cooled condenser in loaded operation raised to 2.84 and the energy consumption reduced to 40Wh.

Keywords: Air cooled condenser, oil cooled condenser, COP, energy consumption.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda soğutma teknolojisinin hızlı bir şekilde geliştiği ve birçok alanda soğutma teknolojisine duyulan ihtiyacın arttığı günümüzde soğutma sistemlerinden verimli bir şekilde yararlanmak ve enerji tasarrufu sağlamak büyük ölçüde önem kazanmaktadır. Esas olarak bir soğutma sistemi düşük sıcaklıktaki bir

ortamdan yüksek sıcaklıktakine ısı geçişi sağlamaktadır. Soğutma teknolojisinde birçok sistem çeşitli amaçlar için çok farklı boyutlarda ve işletme şartları göz önüne alınarak tasarlanırlar. Bu tasarım sonunda sistemin verimli çalışmasının yanında minimum enerji tüketmesi de göz önüne alınmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının giderek arttığı ve birçok alanda ihtiyaç duyulan enerjinin tasarruflu ve etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Aynı zamanda enerji kaynaklarını dikkatli kullanmayı gerekli kılmaktadır. Bu

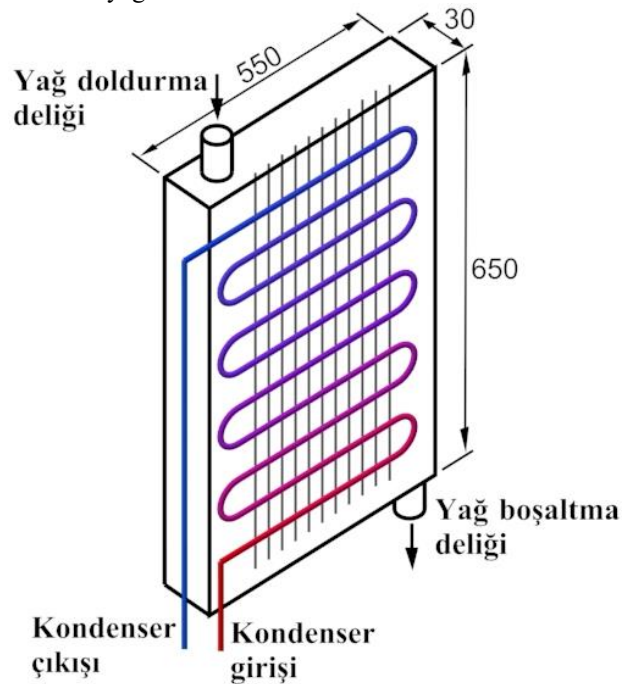
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bacar@karabuk.edu.tr

sebeple üretilen soğutma cihazlarında sistemin performansını artırıp enerji tüketiminin azaltılması ve bu sistemlerden atılan enerjinin başka bir sistem tarafından enerji kaynağı olarak kullanılması önemli tasarruf yöntemlerinden bir tanesidir. Literatürde; soğutma, iklimlendirme sistemleri ve ısı pompalarından atılan ısının başka bir sistemin giriş enerjisi olarak kullanılabilirdiği birçok çalışma mevcuttur. Kadayıfçı yapmış olduğu çalışmada, doğal taşınımlı bir soğutucunun kondenserini farklı boylarda baca ile çalıştırmasını ve enerji tüketimi incelemiştir. Sistem yük altında çalışırken bacalı doğal taşınımlı doğal taşınımdan % 5, yüksüz çalışırken % 10 daha az enerji tükettiğini bildirmiştir [1]. Clark vd. ev tipi bir buzdolabında hava ve su soğutmalı kondenser kullanarak yaptıkları deneysel çalışma sonucunda buzdolabı performansını bozmaksızın su sıcaklığında 35 °C yükselme ve % 18-20 ısı geri kazanımı sağlamışlardır [2]. Wen-Long bir soğutma sisteminin kondenser borularını faz değiştiren bir malzeme içerisine yerleştirerek yaptığı çalışmada soğutma tesir katsayısı % 19 artarken soğutucunun tükettiği enerji % 12 azaldığını belirtmiştir [3]. Akdoğan A. yaptığı çalışmada özel olarak tasarlanıp imal edilen, üç farklı kapasitede su soğutmalı kondenseri bulunan buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevrimi için enerji ve ekserji analizlerini yapmış, kondenser kapasitesi azaldıkça tersinmezliklere bağlı olarak sistemde ekserji kaybının arttığını ve enerji analizlerinde en fazla kaybın kondenserde olduğunu tespit etmiştir [4]. Stinson vd. bir buzdolabının kondenserinden ısı geri kazanımı sağlamak için su soğutmalı kondenser kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada; sistem COP değerinin % 10-18 arttığını, kondenser basıncı yükseldiğinde COP değerinin azaldığını ve su soğutmalı kondenser kullanıldığında ısı kayıplarının da düştüğünü belirtmişlerdir [5]. Alex vd. bir buhar sıkıştırımlı soğutucu için analitik bir model sunmuşlardır. Çalışmalarında su ısıtmak için deneyler yapmışlar ve bir ısı geri kazanım ünitesi geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda çiller kapasitesinin % 30, COP değerinin de %20 arttığını tespit etmişlerdir [6]. Goto vd. yaptıkları çalışmada duyulur ısı geri kazanım ünitesi geliştirmişler, bu üniteyi su ısıtmak için kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda genel enerji verimliliği % 34 artmasına rağmen, COP değeri kompresörün yaptığı işin artmasından dolayı % 15 azalmıştır. [7]. Sapalı vd. bir süt soğutma tesisinin kondenserinden ısı geri kazanımı üzerine yaptıkları çalışmada; aşırı kızdırmanın tamamının gizli ısının ise % 35'nin geri kazanıldığı tespit edilmiş ve önemli iyileştirmelerin yanı sıra COP değerinin 3 ten 4.8'e yükseldiğini belirtilmişlerdir. [8]. Patil yaptığı çalışmada soğutma performansını artırmak için iki farklı tip kondenser ile değişik çalışmalar yapmıştır. Mikro telli kondenser kullanıldığında U tip kondensere göre soğutma kapasitesinin % 10, COP'nin ise % 17 arttığını belirtmiştir [9]. Tissot vd. tarafından yapılan çalışmada bir buzdolabının kondenserine su spreyi uygulaması yapılarak enerji performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonunda spray uygulanan kondenserde soğutucunun COP değeri % 2.89

yükselmiştir [10]. Hajdavilioo vd. tarafından yapılan bir çalışmada bir iklimlendirme cihazında kondenser kapasitesini artırmak için hava soğutmalı kondenser yerine evaporatif kondenser kullanılmıştır. Çalışma sonucunda enerji tüketiminde % 20 ye kadar azalma, COP'de ise % 50 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir [11]. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen çalışmalardan esinlenerek ev tipi bir soğutucunun kondenseri metal bir hazne içine konularak, bitkisel yağ ile doldurulmuş ve sistem performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada; içerisine kondenser yerleştirilmiş yağ haznesine değişik miktarlarda bitkisel yağ eritilerek doldurulmuş ve sistem performansı incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Deneysel çalışmada AEG 1200 marka ev tipi bir soğutucu kullanılmıştır. Soğutucunun özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Başlangıçta doğal taşınımlı hava soğutmalı kondensere sahip bu soğutucunun kondenseri, 1.2 mm kalınlığında siyah sac malzeme kullanılarak 30x550x650 mm ebatlarında imal edilen bir hazne içine konularak yağ soğutmalı kondensere dönüştürülmüştür. Şekil 1'de görülen yağ haznesi 10 L yağ alma kapasitesinde sahip olup 8 mm çapında yağ boşaltma ve doldurma delikleri bulunmaktadır. Bitkisel yağ bu hazneye farklı miktarlarda eritilerek konulmuştur. Burada kondensere atılan ısı hazne içinde bulunan bitkisel yağa aktarılmaktadır.



Şekil 1. Yağ soğutmalı kondenser ve kondenserin yağ haznesi içindeki konumu (Oil cooled condenser and the position of condenser in oil)

Ev tipi soğutucunun özellikleri Çizelge 1'de verilmiş olup deneysel çalışmalarda bu özellikler dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Ev tipi soğutucunun özellikleri (The properties of home type cooler)

KOMPRESÖR	KONDENSER	EVAPORAÖR
HUAYI C.O.	AEG C.O.	AEG C.O.
190/220 V	$Q_{kond} : 620 \text{ W}$	Ebatlar:
AC 50 Hz	Ebatlar:	0,22 x 0,5 m
$W_{komp} : 123 \text{ W}$	0,55 x 0,87 m	$Q_{evap} : 497 \text{ W}$
Piston sayısı: 1	Borular için	Tipi: Kabartma
	Dış çap: 0,0048 m	
	İç çapı: 0,0038 m	
	Boy: 10,8 m	

Soğutma sisteminin alçak basınç ve yüksek basınç tarafına manometreler yerleştirildikten sonra sıcaklık değerlerini okumak için 0.25mm çapındaki K tipi termokupl yerleştirilmiştir[12]. Gerekli bağlantılar ve kontroller yapıldıktan sonra sistem bir gün boyunca yüksüz çalıştırılarak test edilmiştir. Deney setinin enerji tüketimini ölçmek üzere Çizelge 2' de özellikleri verilen elektrik sayacı kullanılmıştır[13].

Çizelge 2. Elektrik sayacının özellikleri. (The properties of electrical counter)

ELEKTRİK SAYACI
MAKEL MONOFAZE
Tip : M310.2218 LCD ekran
1 Fazlı 2 Telli 3000 imp/kWh
0.5 sınıfını da kapsayan hassas sayaç
-40 °C ile +85 °C çalışma sıcaklığı aralığı

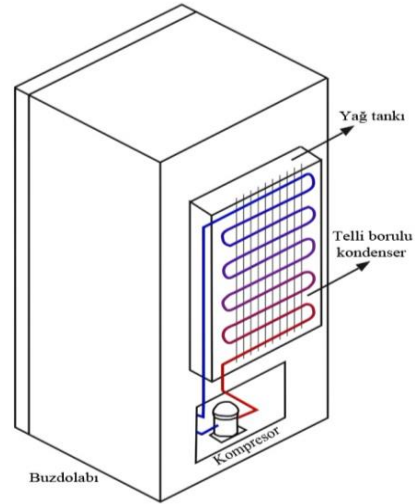
Deneyler kesikli rejimde 5 dakika aralıkla toplam 2 saat boyunca, yüksüz ve yüklü olarak yapılmıştır. Yüklü yapılan deneylerde 15 W gücünde bir ampul soğutucunun içine yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri için Digi-Sense firması tarafından üretilen, $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ölçme hassasiyetine sahip, 9 V DC ile çalışan J, K ve T

Çizelge 3. Yüklü ve yüksüz çalışmada doğal taşınımlı (DT) hava soğutmalı ve yağ soğutmalı deney setinin termodinamik özellikleri (the thermodynamic properties of oil and air cooled experimental setup under loading and unloading condition)

Durum	$T_2=T_3$	T_5	$T_1=T_6$	$P_2=P_3$	$P_1=P_5=P_6$	$h_2= h_3$	h_5	$h_1= h_6$
	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	kPa	kPa	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
DT								
Yüklü								
2.5 lt	87	69	7	1660	70	460.20	302.44	410.04
5 lt	82	62	5	1320	60	459.79	290.68	408.64
7.5 lt	79	57	3	1100	40	459.81	282.49	407.48
10 lt	75	52	2	1050	30	456.32	274.62	406.92
DT								
Yüksüz								
2.5 lt	85	69	5	15800	60	459.15	295.66	408.64
5 lt	80	60	4	1665	50	458.66	287.33	408.06
7.5lt	76	55	3	1460	40	458.11	279.32	407.72
10 lt	73	51	1	1125	20	455.73	272.97	406.12
	70	49	0	9300	10	454.01	269.98	405.80

olarak üç ayrı tip termo eleman sensör bağlanabilen dijital termometre kullanılmıştır.

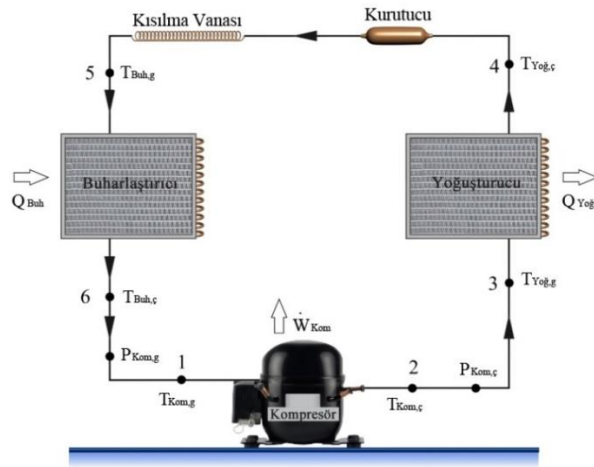
Ev tipi soğutucuda kondenser kapasitesinin sistem performansına etkisinin incelenmesine yönelik yapılan deneysel çalışmada tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen deney düzeneği Şekil 2' de görülmektedir. Yapılan tüm deneylerde yağ soğutmalı kondensere farklı miktarlarda eritilen bitkisel yağ doldurularak katılmasına sağlandıktan sonra deneylere başlanmıştır.

**Şekil 2.** Yağ soğutmalı kondenser ve soğutucu üzerine takılmış hali (The mounted of oli cooled condenser on the cooling device)

2.1. Soğutucunun Performans Analizi (Performance Analysis of Cooler)

Şekil 3'de ev tipi soğutucunun temel elemanları ve çalışma şeması gösterilmiştir. Burada evaporatör, soğutucu akışkanın düşük basınçta çevreden ısı alarak buharlaşmasını sağlar daha sonra kompresör vasıtası ile evaporatörden alınan buhar, yüksek basınçlı kondensere iletilir. Kompresörden gelen sıcak kızgın gaz

kondenserde ısısını atarak yoğunlaşır. Sistemde kullanılan genleşme valfi ise sıvı soğutucu akışkanın geçişini çeşitli metotlarla kısıtlayarak evaporatörde düşük basınç oluşmasını, dolayısıyla soğutucu akışkanın buharlaşacak hale gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 3. Ev tipi soğutucunun temel elemanları ve çalışma şeması (Basic properties and working schematic of home type cooler)

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde Şekil 3'de belirtilen noktalara göre kondenser kapasitesi, soğutma kapasitesi ve kompresörde yapılan işi veren denklemler yazılmıştır. Bu sistemdeki buharlaştırıcının hava akımından çektiği ısı, Eşitlik 1'de evaporatör giriş ve çıkışındaki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisi ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{Buh} = \dot{m}(h_6 - h_5) \quad (1)$$

Kondenserden çevre havasına veya yağa atılan ısı ise Eşitlik 2'de kondenser giriş ve çıkışındaki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisi ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{Yoğ} = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (2)$$

Kompresörün yaptığı iş veya kompresör gücü, Eşitlik 3'de olduğu gibi kompresör çıkış ve girişindeki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisiyle çarpılmasıyla bulunur.

$$\dot{W}_{Kom} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Bir soğutucunun performansı soğutma tesir katsayısı (COP) ile ifade edilir. Soğutucunun performansını Eşitlik 4'de olduğu gibi evaporatör kapasitesinin kompresörün yaptığı işe bölünmesiyle bulunur.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{Buh}}{\dot{W}_{Kom}} = \frac{(h_6 - h_5)}{(h_2 - h_1)} \quad (4)$$

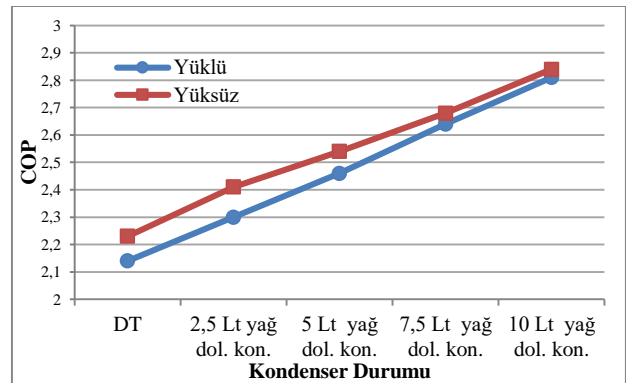
1 nolu ölçüm noktasında gösterilen kompresör çıkış sıcaklığı ve basınç değerleri, 3 nolu ölçüm noktasında gösterilen kondenser çıkış sıcaklığı ve basınç değerleri, 6 nolu ölçüm noktasında gösterilen kompresör giriş sıcaklığı ve emme basıncı değerleri Solkane paket programı kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 3.'de gösterilmiştir. Buna göre COP değerleri Eşitlik 4 'e göre bulunur.

3. BULGULAR (RESULTS)

Tasarlanan ve imalatı yapılan deney düzeneği üzerinde Ocak ayı ve Karabük iklim şartlarında bir dizi deneyler yapılmıştır[14]. Deneylerden elde edilen veriler buzdolabının içine 15 W'lık yük yerleştirilerek yüklü-yüksüz olarak kesikli çalışma şartlarında incelenmiştir. Laboratuvar şartlarında yapılan her bir deney bittikten sonra sistemin normal çalışma şartlarına gelmesi için 2 saat boyunca soğutucu çalıştırılmamıştır.

Deneylerde COP değerleri Eşitlik 4'ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Deney verileri ilk önce hava soğutmalı kondenser ile yüklü ve yüksüz olarak, kesikli (on/off) çalıştırılmak suretiyle elde edilmiştir. Daha sonra yağ haznesine katı mısır özü bitkisel yağ eritilerek 2.5, 5, 7.5 ve 10 litre olarak doldurulmuş ve aynı ölçümler tekrar edilmiştir[15]. Bitkisel yağ ile yapılan deneylerde bitkisel yağın katılması için dolun işleminin ardından 2 saat beklenmiştir. Hazne içindeki bitkisel yağın sıcaklığı K tipi bir termokupl ile ölçülmüştür. 1, 3 ve 6 noktalarından ölçülen basınç ve sıcaklıklara karşılık gelen entalpi değerleri R134a gazı için termodinamik tablolardan bulunduktan sonra 4 nolu eşitlik kullanılarak kesikli, yüklü ve yüksüz çalışma şartlarında COP değerleri hesaplanmış ve Şekil 4'te grafiksel olarak gösterilmiştir[16].

Şekil 4'ten de görüleceği gibi hem on-off yüksüz hem de on-off yüklü çalışmada en düşük COP doğal taşınımlı kondenserde sırasıyla 2.23 ve 2.14 olarak tespit edilmiştir. Kondenser 2.5 lt yağ ile doldurulduktan sonra soğutucunun performansı artarak yüksüz çalışmada 2.41'e, yüklü çalışmada ise 2.30'a ulaşmıştır. Kondenserdeki yağ doluluk oranı arttıkça soğutucunun performansı da artmıştır. En yüksek COP, kondenser 10 lt yağ ile doluyken on-off yüksüz çalışmada 2,81 olarak on-off yüklü çalışmada ise 2,84 olarak gerçekleşmiştir. On-off çalışmada, yağ haznesinin doluluk oranı arttıkça sistem performansı artmıştır. Yağ haznesi 10 lt yağ dolu olduğunda yüksüz çalışırken COP doğal taşınma göre % 20, yüklü çalışırken ise % 24 artmıştır.

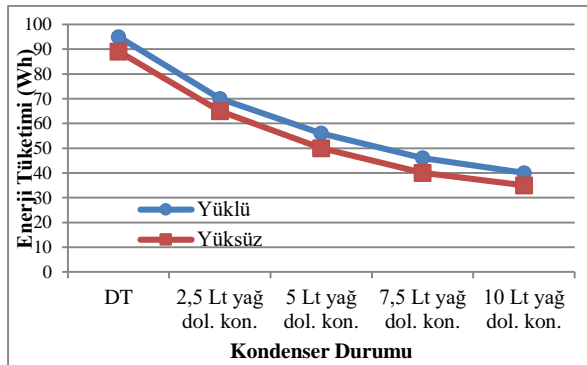


Şekil 4. Kesikli yüklü ve yüksüz çalışmaya ait COP değişimi (The COP changing under continuous and uncontinuous loading and unloading)

Soğutma sisteminin elektrik tüketimi ölçülürken Çizelge 2'de özellikleri verilen tek fazlı elektronik bir elektrik sayacı kullanılmıştır. Tüketilen enerji Watt-saat (Wh)

olarak ölçülmüştür. Yüklü yapılan deneylerde 15 W'lık yük elektrik sayacına bağlı olmayan ayrı bir kaynaktan alınmıştır. Sistemin elektrik tüketimi ise Şekil 5'te görülmektedir.

Şekil 5 incelendiğinde en yüksek enerji tüketimi, soğutma sistemi kesikli olarak doğal taşınımlı kondenser ile yüklü çalıştırıldığında 95 Wh olarak gerçekleşmiştir. En az enerji tüketimi ise soğutma sisteminin kondenseri 10 lt yağ ile dolu iken yüksüz çalıştırılırken 40 Wh olarak tespit edilmiştir. Bu da % 57 daha az enerji tüketimi demektir. Soğutma sistemi kesikli olarak doğal taşınımlı kondenser ile yüksüz çalıştırıldığında 90 Wh olarak gerçekleşmiştir. En az enerji tüketimi ise soğutma sisteminin kondenseri 10 lt yağ ile dolu iken yüksüz çalıştırılırken 35 Wh olarak tespit edilmiştir. Bu durum % 61 enerji tasarrufu olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi soğutma sisteminin yağ soğutmalı kondenser ile çalışırken yoğuşma basıncının düşmesidir. Yoğuşma basıncının düşmesi ile birlikte kompresörün enerji tüketimi de azalmıştır.

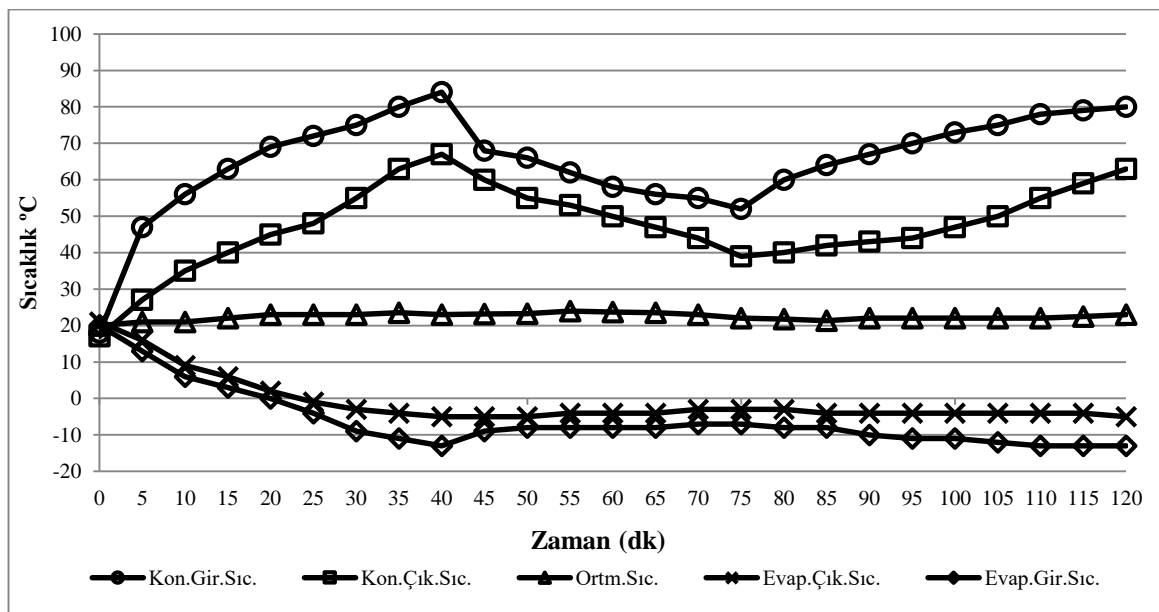


Şekil 5. Ev tipi soğutucunun sürekli çalışmada enerji tüketimi (Continuous energy consumption of home type cooler)

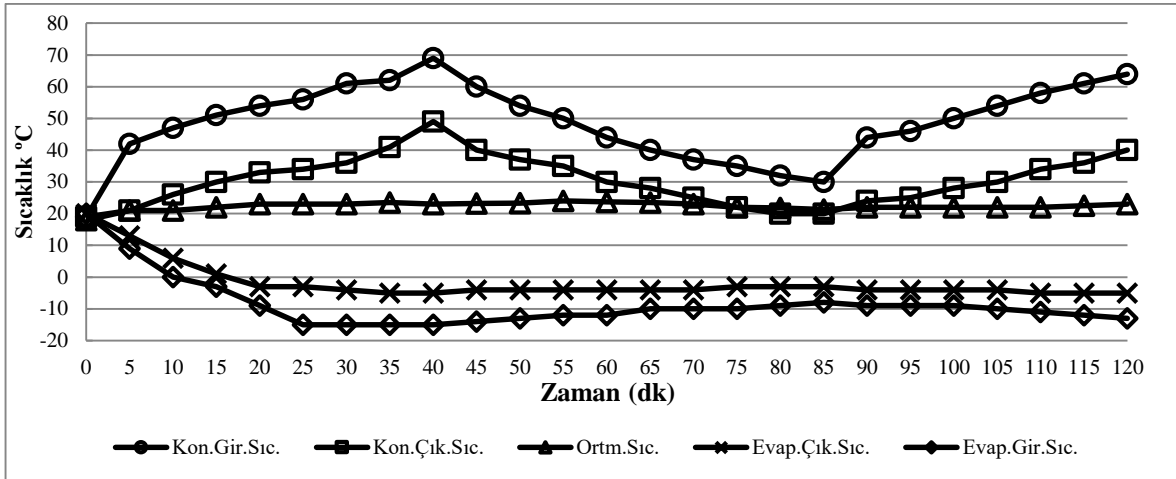
Şekil.6 ve Şekil.7 birlikte incelendiğinde en yüksek kondenser giriş-çıkış sıcaklığı doğal taşınımlı kondenserle çalışan deneyde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi doğal taşınımlı kondenserin ortama ısıyı atmada zorlanmasıdır. Bu durumda kondenserdeki yoğuşma basıncı artar dolayısıyla kompresörün enerji tüketimi de buna bağlı olarak artış gösterir. Bu da soğutucunun performansının azalmasına sebep olur. En düşük kondenser giriş-çıkış sıcaklığı ise kondenseri 10 lt yağ ile dolu yüksüz çalışma şartında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi de kondenserin ısıyı hızlı bir şekilde bitkisel yağa transfer etmesidir.

Evaporatör sıcaklık dağılımı incelendiğinde en düşük evaporatör sıcaklığı kondenser 10 lt yağ ile dolu iken on-off yüksüz çalışma şartlarında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi evaporatör tarafından alınan ısının hızlı bir şekilde kondensere atılmasıdır. En yüksek evaporatör sıcaklığı ise kondenser doğal taşınımlı olarak çalıştığı durumda tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise evaporatörden alınan ısının kondensere atılırken zorlanmasıdır.

Kondenser giriş sıcaklığı ilk çalışmaya başladıktan sonra 40 dk. ya kadar düzgün bir şekilde artış göstermiştir. On-off çalışan soğutma sistemi, 40 dk. da termostatı off durumuna getirdiğinden dolayı kondenser giriş sıcaklığı 75 dk. ya kadar düşüş göstermektedir. Buna bağlı olarak evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıklarında da artışlar görülmektedir. 75 dk. sonunda soğutma sistemi termostat tarafından on durumuna geçtiği için kondenser giriş ve çıkış sıcaklıklarında tekrar artış görülmektedir. Şekil 8'de deney düzeneğinin değişik kondenser durumlarında basınç dağılımı görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi en yüksek kondenser basıncı doğal taşınımlı tespit edilmiştir. Bu durum kondenserin ısı atması esnasında zorlanmasından kaynaklanmaktadır. Kondenser haznesi bitkisel yağ ile doldurulduktan sonra



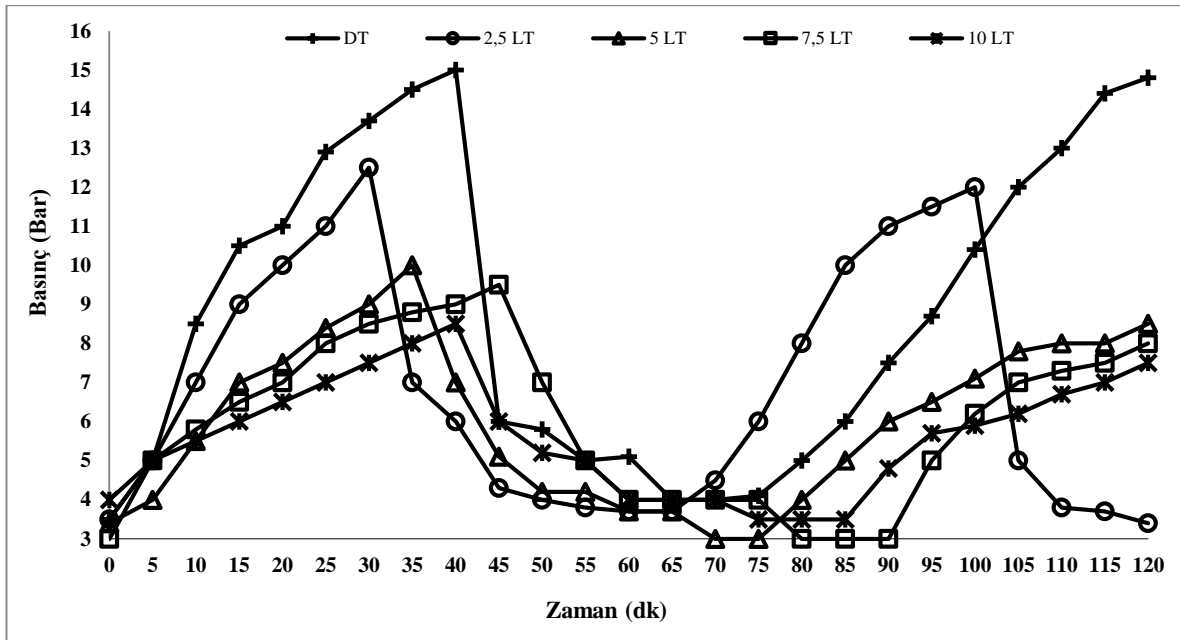
Şekil 6. Doğal taşınımlı yüksüz çalışan deney setinin kondenser ve evaporatör sıcaklık değişimi (Condenser and evaporator temperature change of natural convective unloaded experimental set)



Şekil 7. Kondenseri 10 lt yağ ile dolu yüksüz çalışan deney setinin kondenser ve evaporatör sıcaklık değişimi (Condenser and evaporator temperature change of 10 lt oil-filled unloaded experimental set)

kondenser basıncı düşmeye başlamış ve doluluk oranı arttıkça basınç düşmeye devam etmiştir.

- S: Ölçülen boyut
- x_1, x_2, \dots, x_n : Ölçümü etkileyen değişkenler



Şekil 8. On-off yüksüz çalışan deney setinin kondenser basınç dağılımı (The pressure distribution of on-off unloading working experimental setup)

En düşük kondenser basıncı ise kondenser 10 lt yağ ile doluyken çalışan deneyde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi kondenser ısısının hızlı bir şekilde bitkisel yağ tarafından tutulmasıdır. Soğutucu 40 dk. da termostatın devreye girmesiyle basınç değerleri de düşmektedir, 75 dk. dan sonra termostatın on durumuna geçmesiyle tekrar basınç değerlerinde artış görülmektedir. Kondenser basıncının düşmesiyle birlikte kompresörün enerji tüketimi Şekil. 5'te görüldüğü gibi azalmıştır.

4. BELİRSİZLİK ANALİZİ (UNCERTAINTY ANALYSIS)

Yapılan çalışmada hata analizi yapılmıştır[17].

- W_1, W_2, \dots, W_n : Bağımsız değişkenin hata oranı olmak üzere;

Toplam hata oranı W_s :

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_4} w_4 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

veya

$$W_s = S \left[\left(\frac{w_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_3}}{x_3} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_4}}{x_4} \right)^2 + \dots + \left(\frac{w_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Çizelge 4. Deneyde kullanılan cihazların doğruluk oranı (The accuracy ratio of devices in experiments)

Cihazlar	Ölçüm doğruluk oranı
Dijital termometre	± % 1
Elektrik sayacı	± % 3
Dijital saat	± % 0.1
Basınç transmitteri	± % 2

Deneylerde toplam belirsizlik, yukarıda belirtilen belirsizlik analiz formülleri (Eşitlik 5 – 6) kullanılarak Çizelge 4. te görülen ölçüm doğruluk oranlarına göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde toplam hata oranı $W_s = \pm \% 2.716$ olarak hesaplanmış ve kabul edilebilir düzeyde görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Yapılan bu çalışma ev tipi soğutucunun kondenseri metal bir hazne içerisine yerleştirilip, içerisine farklı miktarlarda bitkisel yağ konularak kondenser kapasitelerinde sistem performansı ve enerji tüketimi incelenmiş ve çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yağ tankına konulan bitkisel yağ, kondenserde atılan ısıyı tutmuş, yağın miktarı arttırıldıkça kondenserin yoğuşma basıncı ve sıcaklığı düşmüş ve evaporatörün soğutma kapasitesi artmıştır. Soğutma sistemi yüksüz çalışma esnasında, 10 lt yağ dolu olan yağ soğutmalı kondenserin doğal hava soğutmalı kondensere göre COP değeri % 20 arttığı ve enerji tüketiminde ise %61 azalma olduğu görülmüştür. Soğutma sistemi yüklü çalışma esnasında, 10 lt yağ dolu olan yağ soğutmalı kondenserin doğal hava soğutmalı kondensere göre COP değeri % 24 artarken enerji tüketiminde %57 azalma görülmüştür. Kondenserin yoğuşma basıncının ve sıcaklığının azalmasıyla birlikte kompresörde yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktan kaynaklanan arızalar azalacaktır. Ayrıca kondenser basıncı düştüğü için kompresörün çektiği akım azalacak ve aşırı gürültü, ısınma gibi problemlerin önüne geçilecektir. Bu tip çalışmalar değişik türden ev tipi soğutucularda denenerek buradaki sonuçlarla karşılaştırılabilir. Kondenser haznesi farklı faz değiştiren maddelerle denenerek performans testleri başka çalışmalarda yapılabilir. Ayrıca, bu çalışmada kondenser haznesi 1.2 mm siyah sac malzeme kullanarak imal edilmiştir. Hazne yapımında farklı malzemeler denenerek performans testleri yapılabilir. Bu çalışmada tüm testler doğal taşınımlı kondenser kullanılarak yapılmıştır. Kondenser bir fan yardımıyla zorlanmış taşınımına dönüştürülüp benzer performans testleri yapılabilir. Bitkisel yağ soğutmalı kondenserin uygulanabilirliği ve maliyetinin uygun olup olmadığı ve yeni tasarımlarda nasıl kullanılacağı araştırılarak optimum çalışma koşulları belirlenmelidir. Bu sistemlerde bitkisel yağ soğutmalı kondenserin kullanılmasında en büyük problem imalat zorluğu ve kondenserin ağırlığıdır. İlerleyen çalışmalarda daha hafif malzemeler kullanılarak, uygulanabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kadayıfçı, M.C., “Bacalı doğal taşınımlı yoğuşturucunun ev tipi soğutucuların performansına etkisi” *Karabük üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).
- [2] Clark R., A., Smith R.,N., Jensen M.,K., “An experimental study of waste heat recovery from a residential refrigerator” *Energy Conversion Engineering Conference*, Washington, 1887-1892, (1996).
- [3] Wen-Long C., Bao-Jun M., Yi-Ning L., Yong-Hua H., Xu-Dong Y., A., “Novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation”, *Energy*, 36: 5797-5804, (2011).
- [4] Akdoğan A . “Bir soğutma sistemindeki kondenser kapasitesinin değiştirilmesinin enerji ve ekserji analizleri ile incelenmesi.” *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
- [5] Stinson G.,E., Stuman C.,J., Warburton D.,J., “A dairy refrigeration heat recovery unit and its effects on refrigeration operation”, *Journal of Agriculture Engineering* , 36: 275–85, (1987).
- [6] Alex H.,W., Jones J.,W., “Analytical model of a residential de super heater” *Applied Energy*, 57:271-185, (1997).
- [7] Goto M., Ohuchinda S., Agata T., “A energy saving methodology for air-conditioning systems – performance of an additional condenser and its application to a hot water supply”, In proceedings of international symposium on ectopic science, *ISETS07*, Nogaya, 255-259, (2007).
- [8] Sapali S.,N., Pise S.,M., Pise A.,T., Ghewade D.,V., “Investigations of waste heat recovery from bulk milk cooler”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 4: 136-143, (2014).
- [9] Patil, P. A. “Performance analysis of hfc-404a vapour compression refrigeration system using shell and u-tube smooth and micro-fin tube condensers”, *Experimental Heat Transfer*, 25: 77-91, (2012).
- [10] Tissot J., Boulet P., Trinquet F., Fournaison L., Lejeune M., Liaudet F., “Improved energy performance of a refrigerating machine using water spray upstream of the condenser” *International Journal Of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, 38 : 93-105 (2014).
- [11] Hajidavalloo, E.; Eghtedari, H. “Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser” *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, 33: 982-988 (2010).
- [12] Genceli O. F., “Ölçme Tekniği”, Birsen yayınevi, İstanbul Türkiye 48-69 (1995).
- [13] http://www.makel.com.tr/Download/files/sayac_genel_ozellik.pdf

- [14] <https://tr.climate-data.org/location/264/>
- [15] Hanson A. R., Urriola P. E., Wang L., Jonston L, J., Chen C., Shurson G. C., “Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs”, *Animal Feed Science and Technology*, 216: 251-261 (2016).
- [16] Çengel A. Y., Boles M. A., “Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla” Güven Bilimsel yayınevi, Türkiye (2008).
- [17] Gedik E. “Experimental investigation of the thermal performance of a two-phase closed thermosyphon at different operating conditions”, *Energy and Buildings*, 127: 1096-1107, (2016)