

Ev Tipi Bir Soğutucuda Eşanjör Kullanımının Soğutma Performansına Etkisinin İncelenmesi

*¹Bahadır Acar

*¹Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin çevreye olumsuz etkilerinden ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin sınırlı olmasından dolayı günümüzde enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak oldukça önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada ev tipi bir soğutucunun kondenser çıkışına, bir eşanjör yerleştirilerek soğutucu akışkanın aşırı soğutulmasıyla enerji tasarrufu sağlanmaya çalışılmıştır. Yapmış olduğumuz bu çalışmada tek kapılı ev tipi bir buzdolabının kondenser çıkışına ters akışlı bir eşanjör takılarak soğutucunun performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda, belirli bir soğutma kapasitesi ile çalışan soğutucuda, yeterince aşırı soğutma sağlandığında kompresör gücü değişmeksizin performansın artmasının yanında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Eşanjör kullanımı sonucunda soğutucu yüksüz durumda çalıştırıldığında performansı % 35, artarken % 3'lük bir enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Aşırı soğutma, COP, eşanjör, enerji tasarrufu

Abstract

Nowadays it is quite important to use energy efficiently due to the fact that the negative environmental impacts of using fossil fuels and the energy produced from renewable energy sources is not sufficient. In this study, a heat exchanger is placed to the household refrigerator condenser's output, to provide energy saving. In this study, in order to investigate its performance impact, a counter flow heat exchanger is placed to a single door refrigerator condenser's output. As a result of the work, we observed energy saving as well as performance improvement when enough sub-cooling is provided with a refrigerator that working at specific cooling capacity. Using the heat exchanger with an unloaded refrigerator, resulted 3% energy saving while increasing the performance by 35%.

Key words: Sub-cooling, COP, heat-exchanger, energy saving

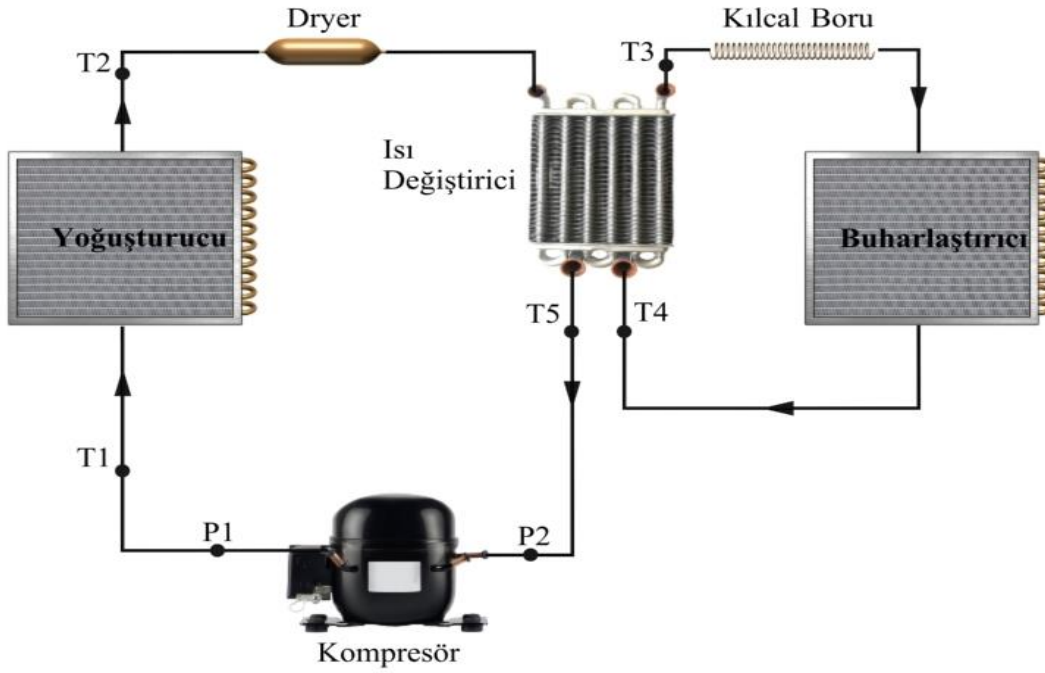
1. Giriş 3

Günümüzde yaşanan ekonomik krizler sonucunda insanlar çeşitli tasarruf yollarına giderek krizlerden etkilenmemeye çalışmaktadır. Enerji verimliliği, daha az enerji kullanarak aynı miktardaki işi yapabildiğimiz birçok değişik yolları işaret eden çok geniş kapsamlı bir deyimdir. Artan nüfus, gelişen teknoloji, küresel ısınma nedeniyle artan sıcaklıklar, soğutma ihtiyacını da artırmakta, artan soğutma ihtiyacı ise enerji yükünü biraz daha ağırlaştırmaktadır. Ülkemizde her evde bir buzdolabı olduğunu düşünürsek buzdolaplarındaki verimin artırılmasının büyük bir enerji tasarrufuna sebep olacağı açıktır. Soğutma teknolojisinde birçok sistem çeşitli amaçlar için

çok farklı boyutlarda ve işletme şartları göz önüne alınarak dizayn edilirler. Bu dizayn sonunda sistemin verimli çalışmasının yanında minimum enerji tüketmesi de göz önüne alınmalıdır. Enerji ihtiyacının arttığı ve enerjiye olan ihtiyacın birçok alanda olması enerji tasarrufunu ve enerjiyi etkin bir şekilde kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple üretilen soğutma cihazlarında sistemin performansını artırıp enerji tüketiminin azaltılması ve ayrıca bu sistemlerden atılan enerjinin başka bir sistem tarafından enerji kaynağı olarak kullanılması önem arz etmektedir. Soğutma sistemlerinin performansını artırmaya yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bir kısmı kompresör performansını artırarak, bir kısmı farklı kondenser tasarımları gerçekleştirerek, bir kısmında evaporatörün yapısında farklı uygulamalara giderek diğer bir kısmında ise kullanılan soğutucu akışkanları değiştirerek soğutucunun performansında iyileştirmeler sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmalardan birisinde ev tipi bir soğutucunun kondenserini metal bir hazne içine yerleştirerek, değişen miktarlarda nebati yağ ile doldurmuş ve sistem performansına etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda soğutma sisteminin enerji tüketiminde % 57 - 61 azalma meydana gelirken soğutma performansında % 21-24 artış meydana gelmiştir [1]. Kadayıfçı yapmış olduğu çalışmada doğal taşınımlı bir soğutucunun kondenserini farklı boylarda baca ile çalıştırdığında enerji tüketimi esas alındığında sistem yük altında çalışırken bacalı doğal taşınım doğal taşınımından % 5, yüksüz çalışırken % 10 daha az enerji tükettiğini bildirmiştir [2]. 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 [3]. Wen-Long vd. bir soğutma sisteminin kondenser borularını faz değiştiren bir malzeme içerisine yerleştirerek yaptığı çalışmada sistemin COP değeri % 19 artarken soğutucunun tükettiği enerjinin % 12 azaldığını belirtmişlerdir [4]. Yılmaz bir iklimlendirme cihazında yapmış olduğu çalışmada ısı geri kazanımı için konsentrik boru tip bir ısı değiştirici kullanmıştır. Girişteki su sıcaklığının çevre sıcaklığından az olması halinde iklimlendirme sisteminin verimliliğinin iyileştiğini bildirmiştir [5]. 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 kayıpların da düştüğünü belirtmişlerdir [6]. Sapalı vd. bir süt soğutma tesisinin kondenserinden ısı geri kazanımı üzerine yaptıkları çalışmada; aşırı kızdırmanın tamamının gizli ısının ise % 35'nin geri kazanıldığını tespit etmişler ve önemli iyileştirmelerin yanı sıra COP değerinin 3 ten 4.8'e yükseldiğini belirtilmişlerdir. [7]. Patil vd. yaptığı çalışmada soğutma performansını artırmak için iki farklı tip kondenser ile değişik çalışmalar yapmışlar. Mikro telli kondenser kullanıldığında U tip kondensere göre soğutma kapasitesinin % 10, COP'nin ise % 17 arttığını belirtmişlerdir [8]. Tissot vd. tarafından yapılan çalışmada bir buzdolabının kondenserine su spreyi uygulaması yapılarak enerji performansının iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışma sonunda sprej uygulanan kondenserde soğutucunun COP değeri % 2.89 arttığını bildirmişlerdir [9]. Hajidavilioo vd. tarafından yapılan bir çalışmada bir iklimlendirme cihazında kondenser kapasitesini artırmak için hava soğutmalı kondenser yerine evaporatif kondenser kullanmışlardır. Çalışma sonucunda enerji tüketiminde % 20 ye kadar azalma, COP 'de ise % 50 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir [10]. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen çalışmalardan esinlenerek ev tipi bir soğutucunun kondenser çıkışına bir eşanjör (ısı değiştirici) konularak soğutucu akışkanın aşırı soğutulması sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada; soğutucu yüksüz ve değişik yüklerde sürekli çalıştırılarak performans testleri yapılmıştır.

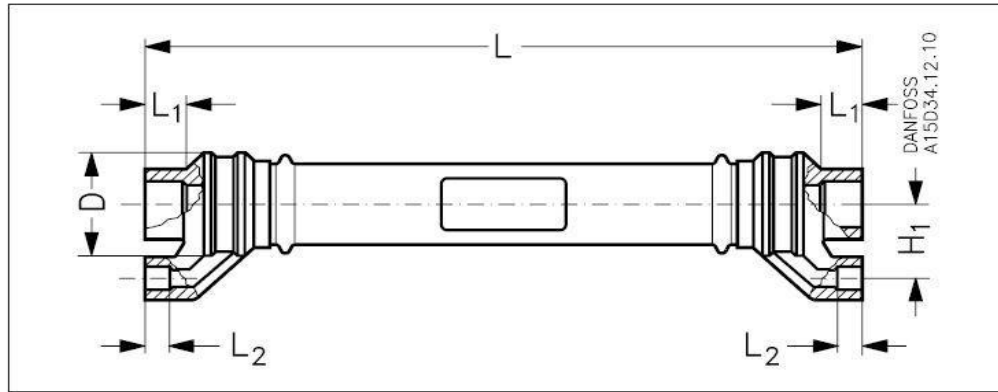
2. Materyal ve Metot

Deneyisel çalışmada Arçelik marka tek kapılı ev tipi bir soğutucu kullanılmıştır. Başlangıçta doğal taşınımlı hava soğutmalı kondensere sahip bu soğutucunun kondenserin çıkışına bir eşanjör (ısı değiştirici) konularak deneysel çalışmalarda kullandığımız model sistem oluşturulmuştur. Şekil 1’de model sistem olarak kullandığımız eşanjör ve model sistemin temel elemanları görülmektedir.



Şekil.1 Model Sistem ve temel elemanları

Model sistemde kullanılan Danfoss marka He 0.5 model eşanjörün kesit ve yapısı Şekil 2’de görülmektedir.



Type	H ₁	L	L ₁	L ₂	ØD	Net weight	Volume	
							Outer Chamber [cm ³]	Outer Chamber [cm ³]
HE 0.5	20	178	10	7	27.5	0.3	8.5	23.0

Şekil.2 Model sistemde kullanılan eşanjör ve boyutları

Şekil 1’de model sistem olarak kullanılan ev tipi soğutucunun özellikleri çizelge 1’de verilmiş olup deneysel çalışmalarda bu özellikler dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Ev tipi soğutucunun özellikleri.

KOMPRESÖR	KONDENSER	EVAPORATÖR
ARÇELİK A.Ş	ARÇELİK A.Ş	ARÇELİK A.Ş
Çalışma voltajı: 190/220 V	Ebatlar: 0.55 X 0.87 m	Ölçüler: 0,22 X 0,5 m
AC 50 Hz	Boru dış çapı: 0,0048 m	Tipi: Kabartma Tip
W _{komp} : 120 W	Boru iç çapı: 0,0038 m	
Piston sayısı: 1	Boru boyu: 10,8 m	

Model sistemin Şekil 1’de görüldüğü gibi alçak basınç ve yüksek basınç tarafına manometreler yerleştirildikten sonra beş farklı noktadan sıcaklıkları okumak için K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Gerekli bağlantılar ve kontroller yapıldıktan sonra sistem bir gün boyunca yüksüz çalıştırılarak test edilmiştir. Deney setinin enerji tüketimini ölçmek üzere bir elektrik sayacı kullanılmıştır. Performans testlerine temel teşkil eden deneyler model sistem sürekli rejimde bir saat boyunca çalıştırılarak basınç ve sıcaklıklar 10’ar dakika aralıkla kaydedilmiştir. Hesaplamalara temel teşkil eden basınç ve sıcaklık değerleri bir saat boyunca yapılan deneylerin son 20 dakikasındaki ölçümlerin aritmetik ortalamasıdır. Deneyler ilki model sistem orijinal durumunda iken (eşanjör takılmadan) ikincisi ise eşanjör takıldıktan sonra yüklü ve yüksüz olarak iki aşamada yapılmıştır. Yüklü yapılan deneylerde 60, 75, 100 W gücünde akkor ampuller soğutucu kabin içine yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında model sistemin bulunduğu ortam sıcaklığında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

2.1. Soğutucunun Performans Analizi

Soğutucu akışkanın düşük basınçta çevreden ısı alarak buharlaşmasını sağlayan eleman evaporatördür. Evaporatörden alınan buharı yüksek basınçlı kondensere basan eleman kompresördür. Kompresörden gelen sıcak kızgın gazın ısını alarak onun yoğunlaşmasını sağlayan eleman kondenserdir. Sıvı soğutucu akışkanın geçişini çeşitli metotlarla kısıtlayarak evaporatörde düşük basınç oluşmasını, dolayısıyla soğutucu akışkanın buharlaşacak hale gelmesini sağlayan eleman ise genleşme valfidir. Şekil 1’de ev tipi soğutucunun temel elemanları ve çalışma şeması gösterilmiştir.

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde Şekil 1’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.

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}(h_5 - h_3) \quad (1)$$

Kondenserden çevre havasına atılan ısı ise eşitlik 2’de kondenser giriş ve çıkışındaki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisi ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (2)$$

Kompresörün yaptığı iş veya kompresör gücü, denklem 3’de olduğu gibi kompresör çıkış ve girişindeki entalpi farklarının soğutucu akışkan kütleli debisiyle çarpılmasıyla bulunur.

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_5 - h_1) \quad (3)$$

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

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{(h_5 - h_3)}{(h_5 - h_1)} \quad (4)$$

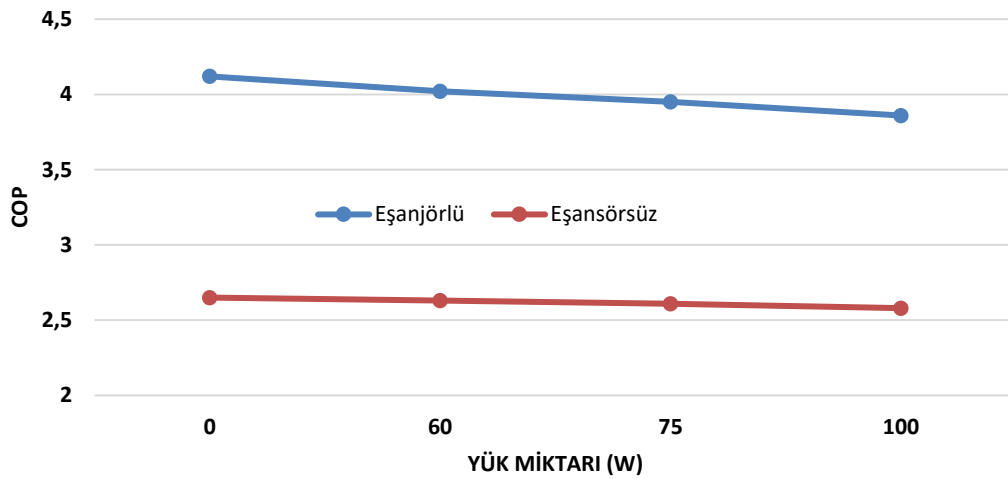
3. Sonuçlar

Model sistem üzerinde Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Soğutma-İklimlendirme Laboratuvarında bir dizi deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler kabin içine 60, 75, 100 W’lık yük yerleştirilerek yüklü-yüksüz olarak sürekli çalışma şartlarında incelenmiştir. Her bir deney bittikten sonra sistemin normal çalışma şartlarına gelmesi için 2 saat boyunca soğutucu çalıştırılmamıştır.

Deneylerde COP değerleri eşitlik 4’den yararlanılarak hesaplanmıştır. Deney verileri model sistem ilk önce doğal taşınımlı kondenser ile yüklü ve yüksüz olarak, sürekli çalıştırılmak suretiyle elde edilmiştir. Daha sonra kondenser çıkışına Şekil 2’de görülen eşanjör takılarak aynı

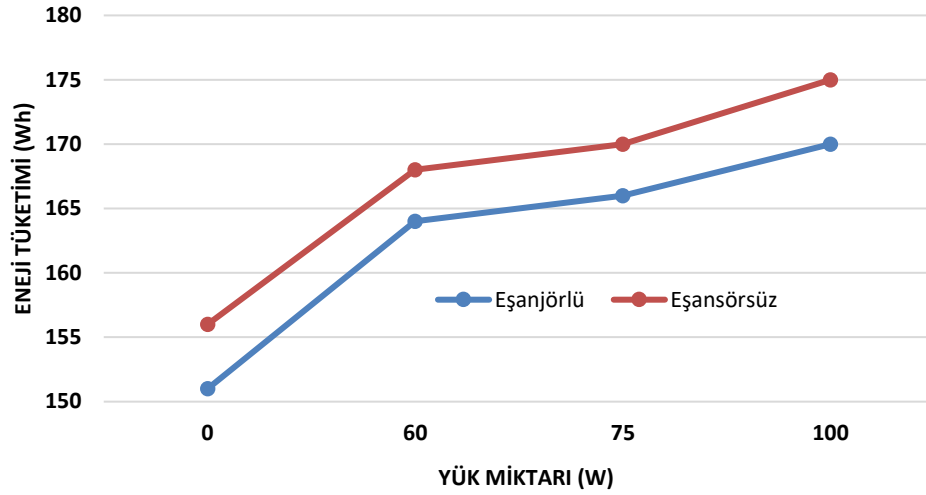
deneyler tekrarlanmıştır. 1, 3 ve 5 noktalarından ölçülen basınç ve sıcaklıklara karşılık gelen entalpi değerleri R134a gazı için termodinamik tablolardan bulunduktan sonra 4 nolu eşitlik kullanılarak, yüklü ve yüksüz çalışma şartlarında COP değerleri hesaplanmış ve Şekil.4'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde eşanjör ile yapılan deneylerde bütün yükler için soğutma sistemi performans değerleri eşanjör kullanmadan yapılan deneylerden yüksek çıkmıştır. Soğutma sistemi eşanjör ile yüksüz çalıştırıldığında eşansörsüz çalışmaya göre %35 daha yüksek performans göstermiştir. 60 W yük ile çalıştırıldığında % 34, 75 ve 100 W yük ile çalıştırıldığında %33 daha yüksek performans göstermiştir. Bunun sebebi eşanjör çıkışında soğutucu akışkanın aşırı soğumasıdır.



Şekil.3 Model sistemin eşanjörlü ve eşanjörsüz çalışma durumlarında COP değişimi.

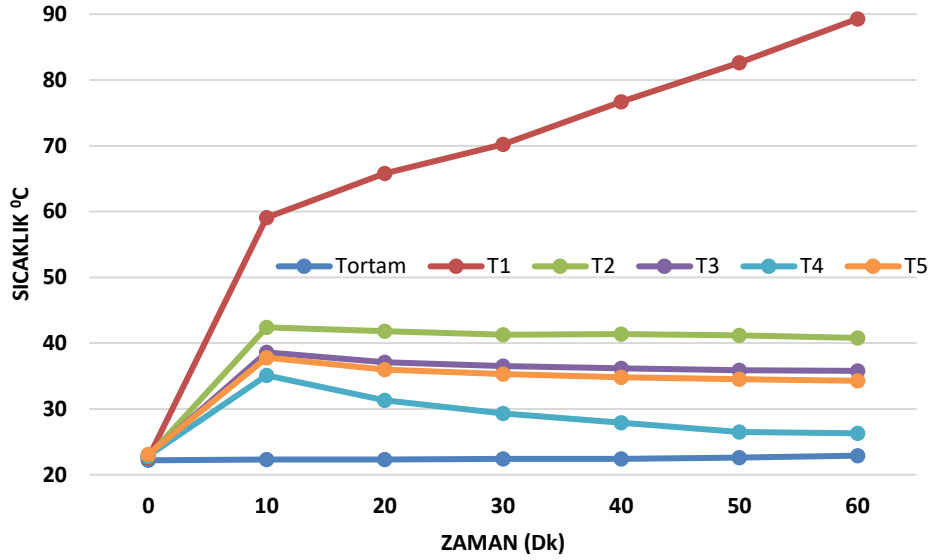
Model sistemin enerji tüketimi bir saat boyunca bir elektronik sayaç kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4'de açıkça görüldüğü gibi eşanjörlü sistemin enerji tüketimi hem yüksüz hem de bütün yükler için eşanjörsüz sistemden daha az enerji tüketmiştir. Eşanjörlü sistem yüksüz çalıştırıldığında eşanjörsüz sistemden %3 60, 75, 100 W yüklerde % 2 daha az enerji tüketmiştir. Bunun muhtemel sebebi emiş hattından kompresöre giren soğutucu akışkanın eşanjörün etkisiyle daha yüksek kızgınlıkta girmesi olabilir.



Şekil.4 Model Sistemin eşanjörlü ve eşansörsüz çalışma durumlarında enerji tüketimi

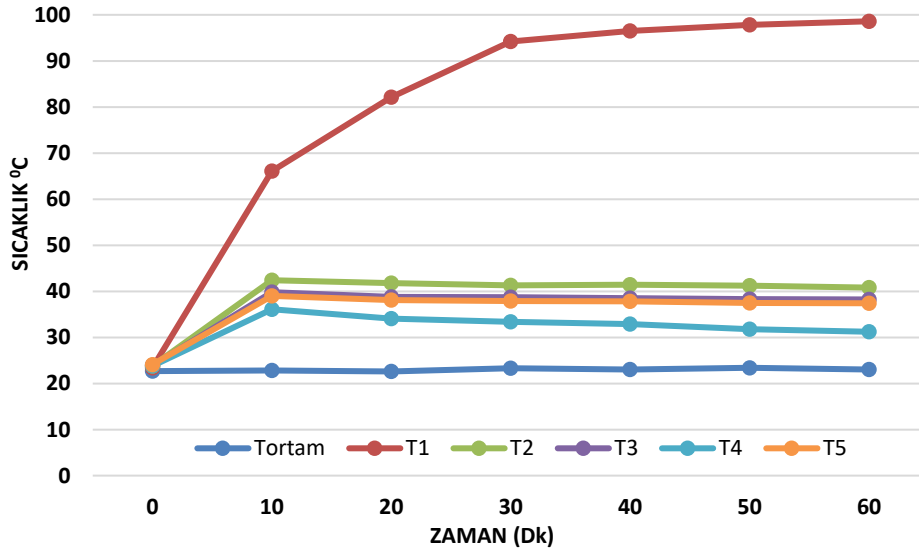
Şekil 5 model sistemin eşanjörlü yüksüz çalışırken sıcaklık ölçüm noktalarının zamana bağlı değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi ortam sıcaklığında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Soğutucu akışkan genleşme valfine girerken aşırı soğumuş sıvı olarak girmektedir ki performansın artmasına neden olmaktadır. Aşırı soğuma T_2 ile T_3 sıcaklık farkı kadardır. Bu fark yaklaşık olarak $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Bunu anlamı soğutucu akışkan genleşme valfine eşanjör kullanıldığından $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha aşırı soğumuş olarak girmektedir. Yani kondenserin performansı artmıştır.

Performansı artıran diğer önemli etkenlerden birisi de aşırı kızdırmadır. Bilindiği gibi aşırı kızdırma evaporatörde meydana gelmektedir. Soğutucu akışkan kompresöre dönerken eşanjör kullandığımız için T_4 sıcaklığı yerine T_5 sıcaklığında girmiştir. Bu sıcaklık farkı da yaklaşık olarak $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadardır. Bu durum evaporatörün ısı tutma kapasitesinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Sonuç olarak sisteme dışarıdan verilen iş aynı olmasına karşılık eşanjör kullanarak hem kondenserden hem de evaporatörden alınan iş artırılmış olmaktadır.



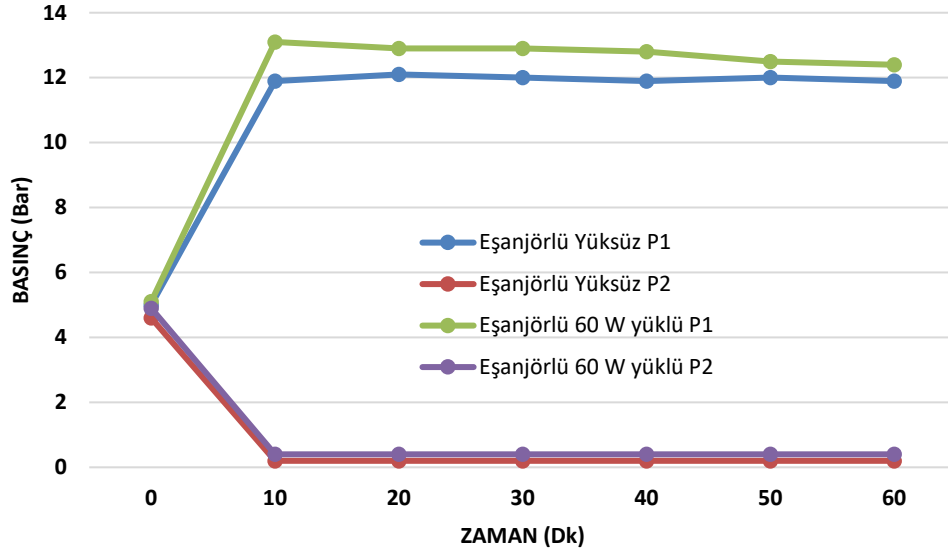
Şekil 5. Model sistemin eşanjörlü yüksüz çalışırken sıcaklık ölçüm noktalarının zamana bağlı değişimi

Şekil 6 model sistemin eşanjörlü 60 W yük ile çalışırken sıcaklık ölçüm noktalarının zamana bağlı değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi ölçüm noktalarındaki sıcaklıkları Şekil 5'teki sıcaklıklarla karşılaştırarak olursa sıcaklıkların biraz daha yükseldiği görülmektedir. Bunun en önemli sebebi model sistemin yükte çalışmasıdır.



Şekil 6. Model sistemin eşanjörlü 60 W yük ile çalışırken sıcaklık ölçüm noktalarının zamana bağlı değişimi

Şekil 7'de model sistemin eşanjör ile yüksüz ve 60 W yük ile çalışırken emiş ve basma hattı basınçlarının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi model sistem eşanjör ile yüksüz ve 60 W yük ile çalıştığında emiş hattı basınçlarında çok önemli bir değişim söz konusu değilken basma hattı basınçlarında fark edilebilir bir değişim söz konusudur. Model sistem 60 W yük ile çalışırken yüksüz çalışmaya göre basma hattı basıncı artmıştır. Bu artışın sebebi sistemin yükte çalışmasıdır.



Şekil 7. Model sistemin eşanjörlü yüksüz ve 60 W yük ile çalışırken basınç ölçüm noktalarının zamana bağlı değişimi

Sonuç olarak, eşanjör kullanımı hem yüksüz hem de yüklü çalıştırıldığında hem performans katsayısının artmasına hem de daha az enerji tüketmesini sebep olmuştur.

4. Değerlendirme

Yapılan bu çalışmada bir ev tipi soğutucu model sistem olarak kullanılarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda elde edilen bulgular şunlardır;

- Soğutma sisteminde kondenser çıkışına konulan bir eşanjör (ısı değiştirici) yardımıyla soğutma sisteminin performansı artmıştır.
- Eşanjör kullanarak soğutma sisteminin enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır.
- Soğutma sistemini basınç ve sıcaklıklarında önemli bir değişme olmamıştır.
- Küçük kapasiteli soğutma sistemlerinde eşanjör (ısı değiştirici) kullanılarak performans ve enerji tüketimleri araştırılabilir.

Kaynaklar

[1]. Kılıçaslan E, Acar B, Arıcıoğlu M. Ev tipi soğutucuda yağ hazneli kondenserin sistem performansı üzerine etkisinin incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2016;4:475-485

- [2]. Kadayıfçı M.C. Bacalı doğal taşınımı yoğuşturucunun ev tipi soğutucuların performansına etkisi. 2011; Yüksek Lisans Tezi, Karabük üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Clark RA, Smith RN, Jensen MK. An experimental study of waste heat recovery from a residential refrigerator. Energy Conversion Engineering Conference Washington, 1996;887-1892.
- [4]. Wen-Long C, Bao-Jun M, Yi-Ning L, Yong-Hua H, Xu-Dong YA. Novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation. Energy 2011;36:5797-5804.
- [5]. Yilmaz E. Air conditioning waste heat to domestic hot water – a study design report, proceedings of IMECE. In: ASME International mechanical engineering congress and exposition. Seattle, Washington, USA 2007;10–15.
- [6]. Stinson GE, Stuman CJ, Warburton DJ. A dairy refrigeration heat recovery unit and its effects on refrigeration operation. Journal of Agriculture Engineering 1987;36: 275–85.
- [7]. Sapali SN, Pise SM, Pise AT, Ghewade DV. Investigations of waste heat recovery from bulk milk cooler. Case Studies in Thermal Engineering 2014;4:136-143.
- [8]. Patil PA. Performance analysis of hfc-404a vapor compression refrigeration system using shell and u-tube smooth and micro-fin tube condensers. Experimental Heat Transfer 2012;25:77-91.
- [9]. 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 2014;38:93-105.
- [10]. 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 2010;33:982-988.