

## Titreşim ve gürültü verileri ile soğutma sistemindeki arızaların teşhisi

*Diagnosing faults in the refrigeration system with vibration and noise data*

Zafer CİNGİZ\* 

Düzce Üniversitesi, Düzce MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 81100, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 14.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 06.05.2024

### Öz

Basınç, sıcaklık, tüketilen enerji, titreşim ve gürültü gibi parametrelerde bir değişiklik, soğutma sisteminde bir sorun olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada soğutma sistemi ekipmanlarından kompresörde tespit edilen titreşim ve gürültü ölçüm değerleri ile arıza teşhisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Beş farklı arıza durumu geliştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık ve basınç verileri ile titreşim ve gürültü değerleri bilgisayara (PC) aktarılmıştır. Sistemin normal ile arızalı durumlarındaki titreşim ve gürültü değerleri arasındaki farklardan arıza tespitleri yapılmıştır. Sistemdeki arıza türlerine bağlı olarak gürültü ve titreşim değerlerinin değiştiği görülmüştür. Ortalama titreşim değerleri, normal çalışma durumunda  $0,1471 \text{ m/s}^2$ , kirli kondenserde  $0,2373 \text{ m/s}^2$ , tıkalı genleşme valfinden  $0,2209 \text{ m/s}^2$ , aşırı soğutucu akışkan şarjında  $0,2129 \text{ m/s}^2$ , eksik soğutucu akışkan şarjında  $0,1962 \text{ m/s}^2$  ve kompresör arızasında  $0,2227 \text{ m/s}^2$  olarak belirlenmiştir. Gürültü değerlerinde, normal çalışmada  $68,1 \text{ dB}$ , kirli kondenserde  $93,49 \text{ dB}$ , tıkalı genleşme valfinden  $93,81 \text{ dB}$ , aşırı soğutucu akışkan şarjında  $92,42 \text{ dB}$ , eksik soğutucu akışkan şarjında  $92,14 \text{ dB}$  ve kompresör arızasında  $94,5 \text{ dB}$  olarak belirlenmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerinin birbirine yakın değerlerden oluşmasına rağmen arızanın türü hakkında fikir verebileceği görülmüştür. Bu değerler, normal ve arızalı çalışma durumları için sadece titreşim ve gürültü ölçüm değerleri ile arıza tespiti yapılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Arıza teşhisi, Gürültü, Soğutma sistemi, Titreşim

### Abstract

A change in parameters such as pressure, temperature, consumed energy, vibration and noise indicates a problem in the refrigeration system. In this study, the relationship between vibration and noise measurement values detected in the compressor, one of the refrigeration system equipment, and fault diagnosis was examined. Five different fault cases have been developed. The measured temperature and pressure data, vibration and noise values were transferred to the computer (PC). Fault detection was made from the differences between vibration and noise values in normal and faulty states of the system. It has been observed that noise and vibration values vary depending on the types of faults in the system. Average vibration values are  $0,1471 \text{ m/s}^2$  in normal operating condition,  $0,2373 \text{ m/s}^2$  in dirty condenser,  $0,2209 \text{ m/s}^2$  in clogged expansion valve,  $0,2129 \text{ m/s}^2$  in excess refrigerant charge,  $0,2129 \text{ m/s}^2$  in incomplete refrigerant charge. It was determined as  $0,1962 \text{ m/s}^2$  and  $0,2227 \text{ m/s}^2$  in case of compressor failure. In noise values,  $68,1 \text{ dB}$  in operating condition,  $93,49 \text{ dB}$  in dirty condenser,  $93,81 \text{ dB}$  in clogged expansion valve,  $92,42 \text{ dB}$  in excessive refrigerant charge,  $92,14 \text{ dB}$  in incomplete refrigerant charge and  $94,5 \text{ dB}$  in compressor failure determined. It has been observed that although noise and vibration values are close to each other, they can give an idea about the type of fault. These values showed that fault detection can be made only with vibration and noise measurement values for normal and faulty operating situations.

**Keywords:** Fault diagnosis, Noisy, Refrigeration systems, Vibration

\*Zafer CİNGİZ; zafercingiz@duzce.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Soğutma sistemlerinin çevresel etkisi, sistemler daha yüksek verimlilikte çalıştırılarak ve soğutucu akışkan sızıntısı en aza indirilerek giderilebilir. Soğutucu akışkan kaybı, verimsiz sistem çalışması, sistemde oluşan arızaların yol açtığı olumsuz durumlar, arızaların teşhisinin ve tespitinde geç kalınması, artan güç tüketimi ve sera gazı emisyonları ile daha yüksek bakım maliyetleri yoluyla küresel ısınmaya hem doğrudan hem de dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Soğutma sisteminin normal çalışması ya da çeşitli nedenlerle arızaların oluşması neticesinde kompresörler tarafından titreşim ve gürültü ortaya çıkmaktadır. Bu titreşim ve gürültü, ortaya çıkışından başlayarak kompresör dış muhafazasına iletilerek, sonrasında da kompresörün yer aldığı ortam veya bağlı bulunduğu sistem ekipmanları yoluyla çevreye geçmektedir. Hamilton yaptığı çalışmada, kompresörlerde ortaya çıkan titreşim ve gürültü sorunlarını değerlendirmiştir. İlk olarak soğutma sistemlerinde kullanılan kompresörler gruplandırılarak ortaya çıkan gürültü ve titreşim kaynakları ele alınarak, bunların çevreye iletim yolları ifade edilmiştir. Gürültü ölçümü yapılmasının kompresörlerdeki önemi ele alınmıştır. Kompresörde ortaya çıkan titreşim ve gürültüye dış muhafazasının etkileri ele alınmıştır (Hamilton, 1988). Buzdolapları gibi ev eşyalarında ortaya çıkan titreşim ve gürültü istenmeyen bir durumdur. Titreşim ve gürültünün soğutma sistemlerindeki kaynağı genellikle sistemde yer alan ekipmanların çalışması ile soğutucu akışkanın sistemde dolaşımından oluşmaktadır. Akışkan kaynaklı titreşimler borularda soğutma sistemlerinin tasarımı sırasında bir sorun teşkil etmektedir. Gürültü ve titreşimlerin giderilmesi ile soğutma sistemlerinde oluşan bu rahatsızlık giderilecektir (Celik & Nsofor, 2011). Sessiz bir odada bulunan buzdolabındaki gürültü seviyeleri, ölçüm yapıldığında sürekli azaldığının görülmesine rağmen, oluşan şikayetler ve belirtiler devam etmektedir. Ses kalitesi, tüketici duyarlılığı ve buzdolaplarının kusurlarının dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu nedenle, gerçek yaşam ortamlarında oluşan buzdolabı gürültüsünün değerlendirilmesi yapılmalıdır. Gürültü seviyesi, saate, süreye, arka plan gürültüsüne ve frekans özelliklerine göre değişiklik göstermektedir (Jeon vd., 2007).

Buzdolapları ve klimalar, kompresör gibi gürültü ve titreşim oluşturan elemanları bulduran sistemlerdir. Kompresör çalışmaya başladığı zaman, kompresöre bağlı olan borularda titreşim ve gürültü ortaya çıkmaktadır. Boru titreşimi ve gürültüsüne temel olarak iki nedeni bulunmaktadır. Bunlar, mekanik titreşim ile kompresör içindeki soğutucu akışkandan oluşan titreşimlerdir (Oh vd., 2019). Bu çalışmada, buhar sıkıştırma soğutma çevrimindeki arızaları tespit etmek için p-h diyagramından yararlanılmıştır. Genel bir teşhis teorisi uygulamak için gereken bilgiler ile p-h diyagramındaki sınırlı bilgiler arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak için; kompresör arızası, kompresör subap kaçakları, tıkalı filter-kurutucu, tıkalı genleşme valfi, eksik soğutucu akışkan şarjı, fazla soğutucu akışkan şarjı, kirli condenser ve evaporator fan arızası olmak üzere sekiz yapay arıza bulduran bir deney düzeneği incelenmiştir. P-h diyagramlarında çevrim ile normal ve hatalı durumlar arasındaki farkın kolaylıkla gözlemlenebildiği görülmüştür (Kocyigit vd., 2014). Buhar sıkıştırma sistemlerinde oluşan arızalardan dolayı sistemde performans düşüşü görülmektedir. Buna bağlı olarak enerji tüketiminde önemli artışlar ortaya çıkmaktadır. Soğutma sistemleri, yüksek verimlilikte çalıştırılması ve soğutucu akışkan kaçaklarının azaltılması ile çevresel etkisi en aza indirilebilir. Soğutucu akışkan kaçakları, sistemin verimsiz çalışması, güç tüketiminin artması, sera gazı emisyonu ve bakım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle küresel ısınmaya hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumsuz etki ortaya çıkartmaktadır. Mevcut sensörlü kaçak tespit yöntemleri, kademeli olarak ilerleyen soğutucu akışkan kaçaklarını tespit edememekte ve sensörlerin konumlandırma sorunu nedeni ile sınırlı olmaktadır. Bu dezavantajların üstesinden gelinmesi için kaçak tespiti ve arıza teşhisi için gerçek anlamda bir performans izleme sistemine ihtiyaç bulunmaktadır (Tassou & Grace, 2005).

Soğutma gruplarında otomatik arıza tespiti ve teşhisi (AFDD) uygulamasının faydaları arasında daha düşük maliyetli onarımlar, zamanında bakım ve daha kısa süreli arızalar yer almaktadır. Bu çalışma ile, ilk sensör maliyetinden tasarruf edilirken aynı zamanda arıza tespit ve teşhis performansını geliştirmede sensörlerin kullanılmasına yardımcı olmak için bilgi tabanlı filtre ile genetik algoritma tabanlı özellik seçim teknikleri kullanılmıştır (Han vd., 2011).

Klima ünitelerinin arıza teşhisi ile bir ya da birden fazla sayıda arızaları tespit etmek ve artan enerji tüketimi bakımından ortaya çıkan etkilerini ölçmek önemli bir yaklaşımdır. Bu yazıda, referans 120 kW gücünde hava soğutmalı klima sistemi için geliştirilmiş bir termoeconomik teşhis önerilmiştir. Normal ve arızalı koşullar altında ölçülen termodinamik verileri değerlendirmek için bir simülatör kullanılmıştır. Kondenserde ve

evaporatörde oluşan tıkanma, soğutucu akışkanın düşük şarjı ve kompresör valfinden oluşan akışkan sızıntısı incelenmiştir. Sonuçlar, hem ağır hem de hafif arızalar göz önüne alındığında çalışmanın yeterince güvenilir olduğunu göstermiştir (Piacentino & Talamo, 2013). Son yirmi yılda daha verimli sistemler tasarlamak için büyük çabalar verilirken, yanlış/yetersiz sistem bakımı sorununa daha az dikkat edilmiştir. Kapsamlı araştırmalar, Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemlerine entegre edilmiş soğutma ünitelerinin genellikle bakımlarının yetersiz olduğunu ve ortaya çıkan arızalar nedeniyle performanslarında önemli ölçüde düşüşler olduğunu ortaya koymuştur (Breuker, 1998). Sistemin çalışmasını durdurmamaya ya da kontrol/koruma sistemlerinin müdahale etmediği, sadece sistem performansında düşüşlerin olduğu durumlar arıza olarak ifade edilmektedir. Buhar sıkıştırımlı klima sisteminde birden fazla arızayı tespit ve teşhis etmek için bir metodolojinin temelini oluşturan özelliklerin ve sanal sensörlerin geliştirilmesini ve değerlendirilmesini açıklamaktadır. Özellikler, sistemin fiziksel olarak anlaşılmasına, maliyet değerlendirmelerine ve deneysel verilerden ve modelleme sonuçlarından elde edilen buluşsal yöntemlere dayalı olarak geliştirildi. Özelliklerin ve sanal sensörlerin geçerliliği, laboratuvar ortamında test edilen çeşitli farklı klimalardan alınan ölçümler kullanılarak değerlendirildi (Li & Braun, 2007). Genel olarak, buhar sıkıştırma soğutma çevrimleri için mevcut arıza tespit ve teşhis algoritmaları, kararlı durum modeli tabanlı algoritmalar ve sinir ağı/bulanık model yaklaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır (Halm-Owoo & Suen, 2002). Rossi ve Braun, çatı iklimlendirme sistemlerinde yaygın olarak meydana gelen beş arızayı tespit etmek ve teşhis etmek için yalnızca sıcaklık ölçümlerini kullanan bir teknik geliştirdi (Rossi & Braun, 1997). Kim ve Kim, değişken hızlı kompresör ve elektrik genleşme valfi (EEV) ile sudan suya ısı pompası sistemini test etmiştir. Ayrıca, kompresör durumuna bağlı olarak iki farklı kural tabanlı çizelge ile birlikte bir arıza teşhis ve tespit algoritması geliştirmişlerdir (Kim & Kim, 2005). Proctor, oluşan sistemsel hataları teşhis etmek için teknisyen tarafından toplanan sistem bilgilerini kullanan bir veritabanı geliştirmiştir (Proctor, 2006). Arızalar iki kategoriye ayrılabilir; birincisi, aniden meydana gelen ve sistemin çalışmasının durmasına veya konfor şartlarını karşılamamasına neden olan sert arızalar ve ikincisi performansta düşüşe neden olan ancak sistemin çalışmasına izin veren yumuşak arızalardır (Kocuyigit vd., 2014). Buhar sıkıştırımlı soğutma ekipmanındaki yumuşak arızaları teşhis etmek için geliştirilen teknikler, Isermann tarafından açıklanan bir dizi adım olarak tanımlanabilir. İlk adım, izlenen bir sistemin performansı beklentiden saptığında bir arızanın belirtildiği arıza tespitidir. İkinci adım olan teşhis, arızaya hangi arızalı bileşenin neden olduğunu belirler. Arıza teşhisinin ardından arıza değerlendirmesi, arızanın sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirir. Son olarak, hataya nasıl tepki verileceği konusunda bir karar verilir (Isermann, 1984). Uzman bilgisi, tespit edilen hataların önemli olduğunu ve onarılması gerektiğini garanti edecek daha büyük eşikler belirlemek için kullanılabilir (Braun, 2003). Isermann, kondenser kirlenmesinin, daha küçük bir kondansere sahip olmakla eşdeğer olduğunu ve normal (arıza yok) duruma göre daha yüksek yoğunlaşma sıcaklıklarına ve basınçlarına yol açtığını vurgulamıştır (Isermann, 1984). Braun, yoğunlaştırıcı kirlenmesinin ve düşük miktardaki soğutucu akışkanın termodinamik ölçümler ile etkilerinin belirlenebileceğini göstermiştir (Braun, 2003). Bulgurcu, HVAC&R sistemlerinde bakım, arıza giderme ve servis süreci üzerine bir kitap yayınladı. Bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, etkin bir şekilde teşhis edilebilecek arızaların sayısı hala çok sınırlıdır (Bulgurcu H. , 2009). Cingiz vd. yaptıkları çalışmada, farklı soğutucu akışkanların, pistonlu sızdırmaz bir kompresörde gürültü ve titreşime etkisi incelenmiştir. Çalışma deneysel olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak farklı soğutucu akışkanların performansları (COP) için deneyler yapılmıştır. İkinci aşamada farklı soğutucu akışkanlar için titreşim ve gürültü verileri alınması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar COP değeri ile kompresör titreşim ve gürültüsünün R22 soğutucu akışkanı ve diğer alternatif soğutucu akışkanlar için farklı değerler aldığı ancak R22'ye yakın değerler elde edildiği görülmüştür (Cingiz vd., 2021). Katırcıoğlu vd. yaptıkları çalışmada, soğutma sistemlerindeki soğutucu akışkan kaçaklarının belirlenmesi için kızılötesi görüntüler ile Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yöntemini kullanmışlardır. İlk olarak, R22 soğutucu akışkan kullanılarak hazırlanan deney düzeneğinde, 7 farklı noktada, farklı zamanlarda yapay kaçaklar oluşturulmuştur. Normal çalışan sisteme ait kızılötesi görüntüsü ile yapay kaçak uygulanmış çevrim görüntüleri üzerinden daha önceden tespit edilmiş 12 alt bölgeden öznelik verileri çıkartılmıştır. Öznelik özellik verileri için bu bölgelere ait yüzey sıcaklık bilgileri incelenmiştir. Kızılötesi görüntü analizi işlemini gerçekleştirmek için elde edilen öznelik verileri Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PKBA) işlemine sokulmuştur. Kızılötesi görüntü işleme tekniği kele alınarak gerçekleştirilen PKBA ile kaçak tespit işleminin, kullanım kolaylığı, hızlı kaçak tespit durumuna avantajlı olduğunu görülmüştür (Katırcıoğlu vd., 2020). Arızayı tespit etmede başarılı olmanın yolu, iklimlendirme-soğutma sistemlerinin çalışma prensibi ve sistemde yer alan her elemanın görevini bilmektir. Soğutma sistemleri borularla birleştirilen dört ve daha fazla elemana ihtiyaç olduğundan her bir elemanda meydana gelen arızanın diğer elemanlar üzerindeki etkisini tahmin etmek gerekir. Bir elemandaki arıza sistemde yer alan diğer elemanlarda da arızalara neden olabilir. Arızaların

başarılı bir şekilde teşhisi için soğutma sisteminin termodinamik çevriminin iyi bilinmesi zorunludur (Bulgurcu & Yaşar, 2011).

Daha önceki yapılmış çalışmalara dayanarak, genel bir arıza tespit ve teşhis süreci uygulamak için gerekli bilgiler ile toplanan titreşim ve gürültü değerleri kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, önerilen yeni yöntemle hermetik pistonlu kompresörün kullanıldığı buhar sıkıştırma soğutma sisteminin arıza teşhisi yapılmıştır. Önerilen yöntemin çok daha fazla sayıda arıza tespit ve teşhisi için kullanılma durumu söz konusudur. Hatasız veya arızalı durumlar sırasında sistem parametrelerini değerlendirmek için buhar sıkıştırma soğutma sisteminin test edilmesi mevcut araştırmanın temel amacını oluşturmaktadır. Sistem çalışma koşulları izlenerek performans parametre değerleri kaydedilmiştir. Önerilen yöntemle (i) kompresör arızası, (ii) tıkalı genişleme valfi, (iii) eksik soğutucu akışkan şarjı, (iv) aşırı soğutucu akışkan şarjı ve (v) kirli kondenser arızası olmak üzere beş arıza uygulanmış ve incelenmiştir. Toplanan bu sonuçlar, yeni arıza tespit ve teşhis yönteminin geliştirilmesi için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, soğutma sistemindeki gürültü ve titreşim değerlerinin makul düzeyde olup olmadığının kontrol edilmesi ile sistemde oluşabilecek arızalar ile performansı etkileyebilecek sorunların tespit edilerek giderilmesi amaçlanmıştır.

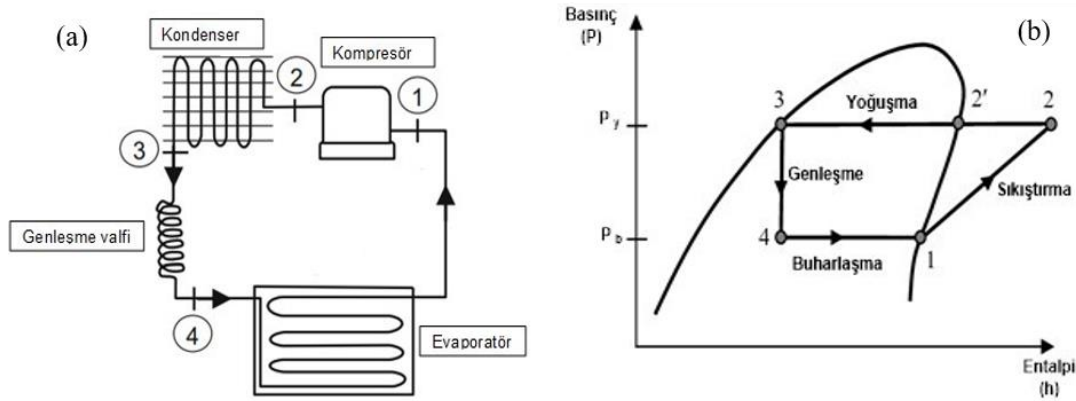
## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Materyal ve metod

#### 2.1.1. Materyal

##### 2.1.1.1. Materyal

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin büyük çoğunluğu buhar sıkıştırma soğutma sisteminin prensipleri ile çalışır. Şekil 1 (a) basit bir buhar sıkıştırma soğutma sisteminin şematik diyagramını göstermektedir. Teorik analizi dört temel süreci gösteren Şekil 1 (b) P-h diyagramı kullanılarak yapılır. İdeal çevrim, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kısılma (genleşme) vanası ve kompresör olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır.



**Şekil 1.** Buhar sıkıştırma soğutma sistemi. (a) Soğutma sistemi devre şeması ve (b) P-h diyagramı.

**Figure 1.** Vapor compression refrigeration system. (a) Refrigeration system circuit diagram and (b) P-h diagram.

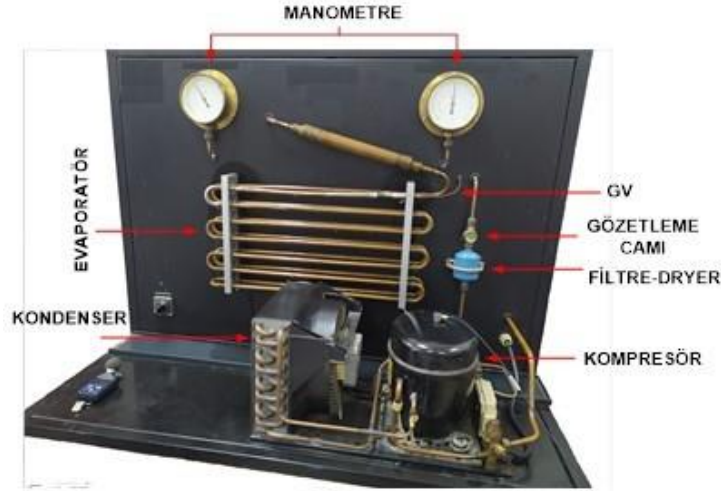
## 2.2. Deney sisteminin kurulumu

### 2.2.1. Deney sisteminin kurulumu

Deneyel sistem, buhar sıkıştırma soğutma çevrimi esasına göre dizayn edilmiştir. Deney sisteminde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Deney düzeneğine ilişkin genel görünüş Şekil 2'de verilmiştir.

Test edilecek soğutucu akışkan, sisteme şarj edilmiş, şarj öncesinde kompresör azot ile temizlenmiş ve vakumlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin stabil bir ortamda gerçekleştirilebilmesi, farklı soğutma sistemi arızalarının tespit edilebilmesi, daha gerçekçi şekilde incelenebilmesi için deneyler kapalı bir ortamda, dış sıcaklık sabit olacak bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sistemde sıcaklıkların ölçümü için, sistemin her ana

elemanının giriş ve çıkışlarına bağlanan termokupllar ile anlık olarak ölçüm yapılmıştır. Basınç ölçümleri ise, manometre ile gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları Şekil 3’de, teknik özellikleri ise Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmada, soğutma sisteminin performansını analiz etmek için sıcaklık, basınç ve elektriksel veriler ölçülmüş ancak arıza tespitinde sadece titreşim ve gürültü ölçüm değerleri kullanılmıştır. Soğutma arıza teşhis deney düzeneği Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterildiği gibi hermetik pistonlu kompresör, kanatlı tip hava soğutmalı kondenser, kılcal tip genişleme valfi ve çıplak borulu evaporatörden oluşmaktadır. Sisteme 700 g R134a soğutucu akışkanı şarj edilmiştir.

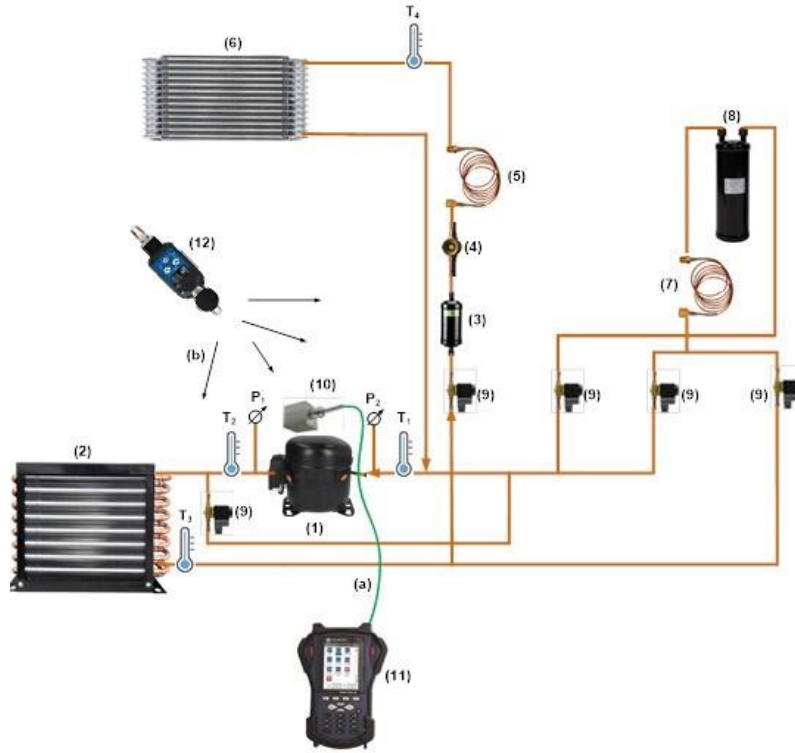


**Şekil 2.** Deney sisteminin genel görünüşü  
**Figure 2.** General view of the test systems

Şekil 2’de gösterildiği gibi, soğutma arıza teşhis düzeneği, soğutucu akışkanı kondensere ileten bir kompresöre sahiptir. Kondenserin üzerine yerleştirilmiş bir fan sayesinde hava üflenmektedir. Soğutucu akışkan filtre-kurutucu, gözetleme camı, bir genişleme elemanından geçerek evaporatöre gitmektedir. Soğutucu akışkan, emme hattından kompresöre geri dönmektedir. Sıvı soğutucu akışkan sonrasında akümülatöre girmektedir. Akümülatör, soğutma sistemine üstten (buhar halindeki soğutucu akışkan için) ve alt taraftan (sıvı soğutucu akışkan için) bağlanmaktadır.

**Tablo 1.** Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve sensörlerin özellikleri  
**Table 1.** Features of equipment and sensors used in the experimental setup

Ekipman ve Sensörler	Teknik Özellikler
Kompresör	Hermetik pistonlu, Akışkan: R134a, Güç: 288 W
Kondenser	Hava soğutmalı, max. hacimsel hava akış oranı: 300 m <sup>3</sup> /h
Evaporatör	Çıplak borulu, max. hacimsel hava akış oranı: 180 m <sup>3</sup> /h
Genleşme Valfi	Kılcal borulu, 1.5 m
Soğutma kapasitesi	463 W, R134a soğutucu akışkan
Akümülatör	Emiş hattı, Çalışma basıncı: 33 bar, Min.Max sıcaklık: -10°C-+100°C
Drayer	Kaynaklı
Gözetleme camı	Kaynaklı
Gaz Dolum Cihazı	Dijital terazili gaz şarj istasyonu, Basınç göstergesi: 0..30 Bar
Manometre	Soğutma grupları için, alttan çıkışlı direk bağlantılı, Basınç aralığı: -1..9 Bar/-1..24 Bar
Termokupl	KTTE2x0,5T 2K- K Tipi, Kesit: 2 x 0,5 mm <sup>2</sup> Tek telli, ucu kaynaklı
İvme Ölçer	Üç eksenli, Brüel&Kjaer 4527, Frekans aralığı: 0.3-10000 Hz, Hassasiyet: 10 mV/g, Sıcaklık ölçüm aralığı: -30/180°C, Rezonans frekansı: 30 kHz
Gürültü ölçüm cihazı	Svantek SV 104, Filtreler: A, C, Z Ölçüm aralığı: 55 dbA RMS/ 140.1 dbA pik, Frekans aralığı: 30 kHz-8 kHz, Dinamik aralık: 95 dB
Veri toplama cihazı	Vibrotest 80, FFT analizi, dört kanallı, Brüel&Kjaer 4527 yazılım,
Enerjimetre	Enerji sarfiyat ölçümü, Ölçüm aralığı: 5 W-3650W, Çalışma koşulları: +5°C-+40°C



Komponentler/Ölçüm ekipmanları

1	Kompresör	8	Akümülatör
2	Kondenser	9	Selenoid valf
3	Drayer-kurutucu	10	Üç eksenli (x-y-z) ivmeölçer
4	Gözetleme camı	11	Vibrotest titreşim ölçüm cihazı
5	Genleşme valfi	12	Svantek gürültü ölçüm cihazı
6	Evaporatör	a	Titreşim veri aktarımı
7	Kılcal boru	b	Ses seviyesi ölçümü
T <sub>1</sub>	Termokupl (Komp. giriş sıcaklığı)	T <sub>4</sub>	Termokupl (Evaporatör giriş sıcaklığı)
T <sub>2</sub>	Termokupl (kond. giriş sıcaklığı)	P <sub>1</sub>	Kond. giriş basınç manometresi
T <sub>3</sub>	Termokupl (Kond. çıkış sıcaklığı)	P <sub>2</sub>	Evap. çıkış basınç manometresi

**Şekil 3.** Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları  
**Figure 3.** Positions of all components and measuring equipment used in the test system

### 2.3. Arızalar

#### 2.3. Faults

Ele alınan deney sistemi çeşitli soğutma arızalarını simüle etmek için tasarlanmıştır. Bu sistemle beş farklı arıza oluşturulabilir. Tablo 2’de bu arızalar ve kısaltmaları gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Arıza listesi ve kısaltmalar  
**Table 2.** Fault list and abbreviations

ARIZALAR	KISALTMALAR
Kompresör arızası	KA
Genleşme valfi tıkalı arızası	GVT
Eksik soğutucu akışkan şarjı arızası	EŞ
Aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası	AŞ
Kirli kondenser arızası	KK
Normal şartlar (Arıza yok)	NŞ

Deney sisteminde bu arızaların daha iyi anlaşılması için normal çalışma koşullarının bilinmesi arıza tespit ve teşhisi için gereklidir. 20 °C ortam sıcaklığında tutulan ortamda deneyler yapılmış ve evaporatörde aynı ortam şartlarında bulunmaktadır.

NŞ: Normal, sistemin hatasız normal çalışma durumudur.

EŞ: Sisteme olması gerekenden az miktarda soğutucu akışkanın şarj edilmesi durumudur. Bu durumda sistemin kızgınlığı artacağından ve kompresörün emiş basıncı olması gereken miktardan az olacaktır.

AŞ: Soğutucu akışkanın sisteme olması gereken miktardan daha fazla şarj edilmesi durumudur. Bu durumda kızgınlık miktarı azalacağından soğutucu akışkanın kompresöre olması gerekenden başka fazda girme olasılığı artacaktır. Kompresör emiş basıncı da artacaktır.

KK: Kondenser yüzeyinin bir kısmının ya da tamamının toz, kir ya da başka bir nedenden dolayı kirlenmesi ile ısı alışverişi zorlanır ve kondenser yüzeyinde tıkanma meydana gelir, kondenser çıkışında akışkanın ısı atarak sıvılaşması engellenir ve evaporatör ile ortam arasındaki ısı alışverişi engellenmiş olacaktır. Soğutma çevriminin verimliliğinde azalma meydana gelir.

GVT: Genleşme valfi tıkanırsa emme ve basma basınçları düştüğü için kızgınlık ve aşırı soğutma değerleri de artmaktadır. Soğutucu akışkanın debisi azalacağından soğutma kapasitesi de azalmaktadır.

KA: Kompresör valflerinden gaz sızıntısı ya da başka bir nedenle oluşan kompresör arızasında, sıkıştırma sırasında soğutucu akışkanın bir kısmını yoğunlaşamayacağından kompresör verimi düşmektedir (Shamandi, 2020; Kocayigit, 2014; Bulgurcu & Yaşar, 2011).

## 2.4. Titreşim ölçümü

### 2.4. Vibration measurement

İvmeölçer kompresörün üst noktasına yerleştirilmiş ve bağlantı noktasından titreşim verileri zamana bağlı olarak alınmıştır. İlk olarak, kompresör üzerine ivmeölçer yapıştırıcı ile sabitlenmiş ve veri toplama cihazına bağlanmıştır. Kompresör titreşim verileri, Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer ile üç eksen (x, y, z) ölçüm yapılarak alınmıştır. İvmeölçerin x eksen, pistonun çalışma düzleminde, pistonun hareket yönüne dik olan yönü, y eksen, pistonun hareket ettiği yönü, z eksen ise, pistonun çalışma düzleminin normali yönlerini göstermektedir. Dört kanallı VIBROTEST 80 model FFT analizi yapabilen bir veri toplama cihazına ivmeölçer bağlanmıştır. Cihaz Brüel & Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir. Normal çalışma ve arızalı çalışma durumları için ayrı ayrı test için 20 saniye boyunca 5 kHz'e kadar olan titreşim sinyalleri alınmıştır. Hanning penceresinde 6400 çözünürlükte ölçümler zamana bağlı olarak alınmıştır. Şekil 4'te kullanılan ivmeölçer ile Tablo 1'de 3 eksenli ivmeölçerin özellikleri verilmiştir.



**Şekil 4.** Titreşim ölçüm cihazı (ivmeölçer)  
**Figure 4.** Vibration meter (accelerometer)

## 2.5. Gürültü ölçümü

### 2.5. Noisy measurement

İklimlendirme ve soğutma cihazlarında ortaya çıkan ve dikkate alınmayan gürültü, ev ile çalışma hayatının en önemli sorunlarından biri durumundadır. Bir ortamdaki gürültülü cihazların yol açtığı gürültüye maruziyet seviyesini tespit etmek için dozimetre kullanılır. Bu çalışmada, Şekil 5'de görülen Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) ile kompresör gürültü seviyesi ölçülmüştür. Ölçüm cihazı kompresöre çok yakın olacak şekilde sabitlenmiştir. Şekil 6'da deney sisteminden titreşim ve gürültü verilerinin alınma işlemi görülmektedir.



**Şekil 5.** Gürültü ölçüm cihazı  
**Figure 5.** Noise meter



**Şekil 6.** Titreşim ve gürültü ölçüm işlemi  
**Figure 6.** Vibration and noise measurement process

## 2.6. Belirsizlik analizi

### 2.6. Uncertainty analysis

Bu çalışmada, deneysel süreçte kullanılan tüm cihazların belirsizlik değerleri aşağıdaki eşitlik ile yardımıyla hesaplanmıştır. Belirli sayıda deney yapıldıktan sonra bu deneye ait sistematik (veya sabit) hataların tespiti için belirsizlik analizi yapılmıştır (Yılmaz, 2022).

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada;

$n$  = Değişken sayısı

$R$  = Ölçülecek boyut

$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  = Ölçümü etkileyen değişkenler

$W_1, W_2, W_3, \dots W_n$  = Bağımsız değişkenle ilgili belirsizlik oranı

$W_R$  = Toplam belirsizlik

Tablo 3. Ölçüm cihazlarının belirsizlik oranları

**Table 3.** Uncertainty rates of measuring devices

Cihaz Tipi	Belirsizlik
Gürültü ölçüm cihazı	0,1 dB
Titreşim ölçüm cihazı	0,01 m/s <sup>2</sup>

Tablo 3’de deney sisteminde kullanılan ölçüm cihazlarının belirsizlik oranları gösterilmiştir. Bu değerler ilgili cihazların ürün kataloglarından alınmıştır. Tablo 4 ve Tablo 5’de bu ölçüm cihazlarının değerlerine göre hesaplanan belirsizlik oranları görülmektedir.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

Deneysel çalışmalar iklimlendirilmiş bir ortamda 20°C ortam sıcaklığında ve evaporatör ortama açık halde yapılmıştır. Ölçümlerden görüldüğü gibi özellikle rejim halinde R134a kullanıldığında ve farklı arızalar oluşturulduğundan kompresör bazı arızalarda yakın değerler vermektedir. Burada gösterilmeyen diğer yönlerde de genlikler çok yakındır.

P-h diyagramı kullanılarak arıza tespit ve teşhisinin yapıldığı diğer bir çalışmada, ilk olarak deneysel veriler toplanmış sonrasında termodinamik özellikler hesaplanmıştır. Gözlemlenen ve hesaplanan değişkenler ile



arıza belirtileri bir araya getirilerek arızalar sınıflandırılmıştır. Çıkan sonuçlara bakıldığında bazı arızaların benzer sonuçlar içerdiği ancak oluşan belli farklılıklar sayesinde arızalar ile ilgili tahmin yapılabileceği belirtilmiştir (Kocyigit vd., 2014). Yapılmış bir diğer çalışmada, yine p-h diyagramı ve sistem performans değerlerindeki değişimlerden arızaların tahmin edilebileceği ifade edilmiştir. Tıkalı filtre ile otomatik genişleme valfi tıkanması arızalarının performans değerlerinin yakın çıktığı, bazı arızalarda kızgınlık ve aşırı soğutma değerlerinin yüksek ya da düşük çıktığı belirtilmiştir (Bulgurcu & Yaşar, 2011). Diğer bir çalışmada, soğutma yükü ve soğutucu akışkan miktarının sistem performansına etkisi gürültü ile titreşim yönünden incelenmiştir. Çalışmada, değişken soğutma yükleri altında çalışan ev tipi soğutma sistemlerinde çeşitli sebeplerle meydana gelebilecek soğutucu akışkan miktarındaki değişimin, sistemin çalışma özellikleri ile gürültü ve titreşim emisyonları üzerine etkileri ve aralarındaki ilişki incelenmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerindeki farklılıklar sayesinde arıza teşhisi ve tespitinin yapılabileceği belirtilmiştir (Yılmaz, 2022). Demirtekin ve Sarıgül, altı kapılı buzdolabı modelinin gürültüsü üzerine yaptıkları araştırmada ses gücü seviyesi, gürültü kaynağı tespiti ve gürültü testlerinden yararlanmışlar, ürün tasarımında kullanılan ürün bileşenlerinin ve yalıtım malzemelerinin özelliklerinin bilinmesinin gürültüyü azaltmak için gerekli olduğu sonucuna varmışlardır (Demirtekin vd., 2015). Seçgin vd. bir soğutma kompresörünün gürültü performansının iyileştirilmesine yönelik araştırmalarında, darbe testi ile sönüm ve karakteristik frekans gibi model parametrelerini kullanarak matematiksel bir çalışma yapmışlardır. Modelin güvenli bir şekilde uygulanabileceği belirtilmiştir (Seçgin vd., 2009). Lee vd. tarafından yapılan çalışmada, buzdolabında meydana gelen seslerin frekans karakterleri ele alınmıştır. Seslerin en fazla kompresör gürültüsünden ile hava dolaşımını sağlayan fanın ortaya çıktığı belirtilmiştir (Lee vd., 2005). Hartmann vd. buzdolabının kompresörü çalıştırıldıktan yaklaşık 30 saniye sonra oluşan aralıklı sesin en olası nedeni olarak kabul edilen yoğunlaşma şokunu doğrulamak ve ürünün verimliliğini etkilemeden bunu önlemenin yollarını bulmak amacıyla çalışma yapmışlardır (Hartmann vd., 2013). Soğutucu akışkan akışı, kompresörün ürettiği ve faz değişimleri sırasında ciddi gürültüye neden olan titreşimin taşınmasında önemli bir rol oynar. Akışkanın ürettiği gürültüyü ve titreşimi anlamak için bir deney düzeneği oluşturulmuş ve bu doğrultuda ölçümler yapılmıştır (Öğüç, 2011).

Bu çalışmada, kompresör yüküne bağlı olarak, gürültü ve titreşim değerlerinde görülen değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler R134a soğutucu akışkanı ile farklı arızalar oluşturularak yapılmıştır. Titreşim ve gürültü ölçümleri için deneyler her çalışma durumu dikkate alınarak üçer defa tekrarlanmıştır. Her bir ölçüm için 16384 veri alınmıştır. Kompresör farklı arızalı çalışma durumunda iken, kompresörün titreşim genlik değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için, her bir eksenden alınan verilerin ortalama karakökü (RMS) Eşitlik 2'e göre hesaplanmıştır (Saridemir vd., 2016).

$$a_{RMS} = \sqrt{1/N \sum_{k=1}^N a_k^2} \quad (2)$$

Burada;

$a_{RMS}$ : İvmelenme sinyallerinin ortalama karakökü (g)

$a_k$ : Zaman bölgesi sinyalleri için k'ncü ivme değeri

N: Toplam ivme değeri (N:16384)

Yüklü konumda, farklı arızaların oluşturulduğu durumlarda kullanılan kompresör için (x), (y) ve (z) eksenlerinden elde edilen verilerin, Eşitlik 1'e göre düzenlenmiş sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 4'de normal ve arızalı çalışma durumları için titreşim değerlerinde ki değişim oranları ile belirsizlik oranları ifade edilmiştir. Tabloya bakıldığında en yüksek belirsizliğin normal çalışma koşullarında (**0.69367562**) olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı çalışma durumları için kompresör çalışma durumunda iken, RMS değerlerine bakıldığında, normal çalışma durumu ile elde edilen titreşim verilerine sırasıyla eksik soğutucu akışkan arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, tıkalı genişleme valfi, kompresör arızası ve kirli kondenser arızalarının yakın olduğu görülmüştür. En düşük değişimin normal çalışma şartlarına göre bakıldığında eksik şarj arızasında olduğu, en büyük değişimin ise kirli kondenser arızasında gösterdiği görülmüştür. Ortalama titreşim değerindeki sıralama, normal çalışma durumuna göre, eksik soğutucu akışkan şarjı, aşırı soğutucu akışkan şarjı, tıkalı genişleme valfi arızası, kompresör arızası ve kirli kondenser arızası şeklinde olmaktadır. Minimum titreşim değeri normal çalışma durumundadır. Kompresörün eksenel yöndeki hareketi yüksek olduğundan, normal ve arızalı çalışma durumları için en büyük titreşim değeri, eksenel yönde (CH2-y eksen) elde edilmiştir. Minimum titreşim değeri ise yanal yönde (CH1-x eksen) elde edilmiştir. Tüm

arızalı çalışma durumlarında normal çalışma durumuna göre titreşim ve gürültü değerlerinde benzer şekilde artış görülmektedir.

**Tablo 4.** Farklı çalışma durumları için RMS ve titreşim değerleri  
*Table 4. RMS and vibration values for different operating situations*

No	Çalışma Koşulları	Eksenler			Titreşim a <sub>t</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Titreşim (ort.) (m/s <sup>2</sup> )	Belirsizlik (%) (±)	Max. Belirsizlik (%) (±)
		CH1	CH2	CH3				
1	Normal Şartlar (1)	0.08043	0.078028	0.09069	0.144159		0.69367562	<b>0.69367562</b>
1	Normal Şartlar (2)	0.084029	0.07853	0.095551	0.149525	0.14712	0.66878448	
1	Normal Şartlar (3)	0.084202	0.079099	0.092	0.147685		0.67711683	
2	Kirli Kondenser (1)	0.108473	0.151774	0.119761	0.221684		0.45109254	
2	Kirli Kondenser (2)	0.104745	0.173972	0.1176961	0.234713	0.23734	0.42605224	
2	Kirli Kondenser (3)	0.105392	0.200492	0.1185107	0.255634		0.39118427	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+61.32</b>	<b>0.063796</b>		
3	Kompresör Arızası (1)	0.107833	0.13645	0.127017	0.209284		0.47781961	
3	Kompresör Arızası (2)	0.1066746	0.157989	0.123623	0.227206	0.22274	0.44012747	
3	Kompresör Arızası (3)	0.107898	0.157481	0.131416	0.231758		0.43148456	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+51.4</b>	<b>0.053476</b>		
4	Genleşme Valfi Tık. (1)	0.107437	0.151684	0.084304	0.204102		0.48994894	
4	Genleşme Valfi Tık. (2)	0.1067012	0.166559	0.0898048	0.217237	0.22094	0.46032674	
4	Genleşme Valfi Tık. (3)	0.1069243	0.1785279	0.123102	0.241482		0.41410954	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+50.17</b>	<b>0.052196</b>		
5	Aşırı Şarj Arızası (1)	0.09552	0.134998	0.120325	0.2045165		0.48895809	
5	Aşırı Şarj Arızası (2)	0.0888443	0.1733478	0.0980252	0.2180642	0.212973	0.45858054	
5	Aşırı Şarj Arızası (3)	0.0883615	0.163204	0.1111746	0.216340		0.46223534	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+44.75</b>	<b>0.046563</b>		
6	Eksik Şarj Arızası (1)	0.120566	0.11475	0.093228	0.190774		0.52417852	
6	Eksik Şarj Arızası (2)	0.1240632	0.1046059	0.098727	0.189949	0.196227	0.52645710	
6	Eksik Şarj Arızası (3)	0.1170141	0.144137	0.093697	0.207959		0.48086401	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+33.37</b>	<b>0.034722</b>		

Tablo 4'teki veriler kullanılarak, tüm eksenlerdeki (x, y, z) ortalama titreşim değerleri ( $a_t$ ), Eşitlik 3'ye göre hesaplanmıştır.

$$a_t = \sqrt{a_{(x)}^2 + a_{(y)}^2 + a_{(z)}^2} \quad (3)$$

Burada;

$a_t$  = Ortalama titreşim değeri,

$a_{(x)}^2$  = x yönündeki RMS değeri,

$a_{(y)}^2$  = y yönündeki RMS değeri,

$a_{(z)}^2$  = z yönündeki RMS değeri,

**Tablo 5.** Farklı çalışma durumları için ortalama gürültü değerleri (dB)  
**Table 5.** Average noise values for different operating situations (dB)

No	Çalışma Şartları	Gürültü (1) (dB)	Gürültü (2) (dB)	Gürültü (3) (dB)	Gürültü (ort.) (dB)	Standart Sapma (σ)	Belirsizlik (%) (±)	Max. Belirsizlik (%) (±)
1	Normal Şartlar	67.8	67.4	69.1	68.1		0.146842878	<b>0.146842878</b>
2	Kirli Kondenser	92.9	93.7	93.86	93.4867		0.106967125	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+37.27</b>	<b>17.9511</b>		
3	Kompresör Arızası	94	94.96	94.54	94.5		0.105820106	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+38.77</b>	<b>18.6676</b>		
4	Genleşme Valfi Tıkalı	93.4	94.62	93.4	93.8067		0.106602232	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+37.74</b>	<b>18.1774</b>		
5	Aşırı Şarj Arızası	91.5	93.5	92.26	92.42		0.108201688	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+35.71</b>	<b>17.1968</b>		
6	Eksik Şarj Arızası	91.9	92.55	91.98	92.1433		0.108526571	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+35.31</b>	<b>17.0012</b>		

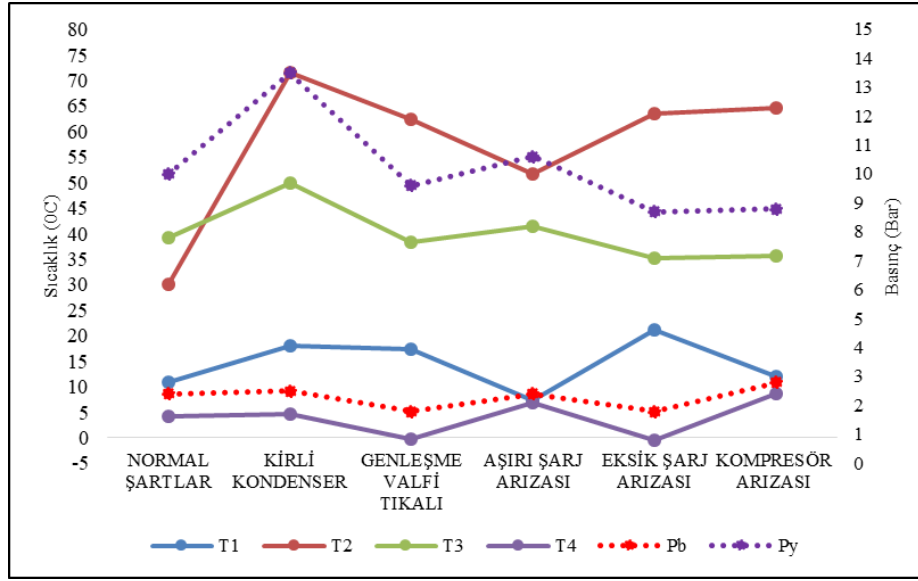
Tablo 5’de normal ve arızalı çalışma durumları için gürültü değerlerinde ki değişim oranları ile belirsizlik oranları ifade edilmiştir. Tabloya bakıldığında en yüksek belirsizliğin normal çalışma koşullarında (**0.14684287**) olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı çalışma durumları için kompresör çalışma durumunda iken, gürültü değerlerine bakıldığında, normal çalışma durumu ile elde edilen gürültü verilerine sırasıyla eksik soğutucu akışkan arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser, tıkalı genleşme valfi ve kompresör arızası arızalarının yakın olduğu görülmüştür. En düşük değişimin normal çalışma şartlarına göre bakıldığında eksik şarj arızasında olduğu, en büyük değişimin ise kompresör arızasında gösterdiği görülmüştür. Ortalama gürültü değerindeki sıralama, normal çalışma durumuna göre, eksik soğutucu akışkan şarjı, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser arızası, tıkalı genleşme valfi arızası ve kompresör arızası şeklinde olmaktadır. Minimum gürültü değeri normal çalışma durumundadır.

Tablo 6’daki çalışma durumlarına ait deneysel sonuçlara bakıldığında, normal ve arızalı çalışma durumları açısından çalışma basınçları, çalışma sıcaklıkları ve güç tüketimleri açısından da olan benzerlik titreşim ve gürültü değerleri dikkate alındığında Şekil 7 ve Şekil 8’de görüldüğü gibi yakın değerler oluşmasına neden olmuştur. Tablo 5’de bakıldığında normal çalışma durumunda sistemin en düşük elektrik tüketim değerine sahip olduğu, sistem arızalı durumlar başladığında ise arızanın türüne göre elektrik tüketiminin arttığı görülmektedir.

**Tablo 6.** Soğutucu akışkanlara ait deneysel sonuçlar  
**Table 6.** Experimental results of refrigerants

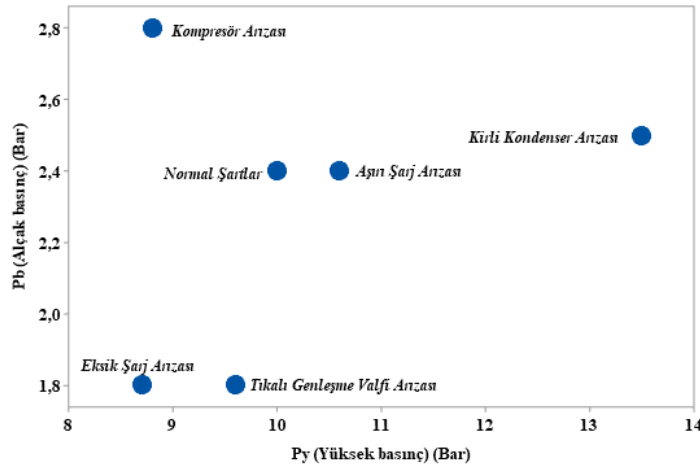
Çalışma Durumu	Elektrik Tüketimi, (kWh)	Buharlaşma Basıncı, P <sub>1</sub> (bar)	Yoğuşma Basıncı, P <sub>2</sub> (bar)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)
Normal çalışma	0.285	2.4	10	11	30	39.2	4.2
Kirli kondenser	0.47	2.5	13.5	18	71.5	50	4.7
Genleşme valfi tıkalı	0.31	1.8	9.6	17.4	62.3	38.2	-0.3
Aşırı soğutucu akışkan şarjı	0.32	2.4	10.6	7.4	51.6	41.4	6.8
Eksik soğutucu akışkan şarjı	0.305	1.8	8.7	2.2	63.4	35.2	-0.4
Kompresör arızası	0.315	2.8	8.8	12	64.5	35.6	8.7

Şekil 7’de farklı çalışma durumları için sıcaklık ve basınç değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Normal ve arızalı çalışma durumları için sıcaklık ve basınç değişimi.

Figure 7. Temperature and pressure variation for normal and faulty operating conditions.

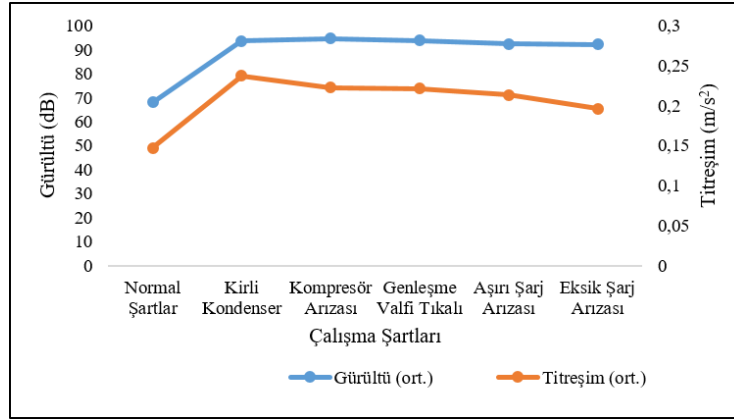


Şekil 8. Normal ve arızalı çalışma durumu için basınç değişimi

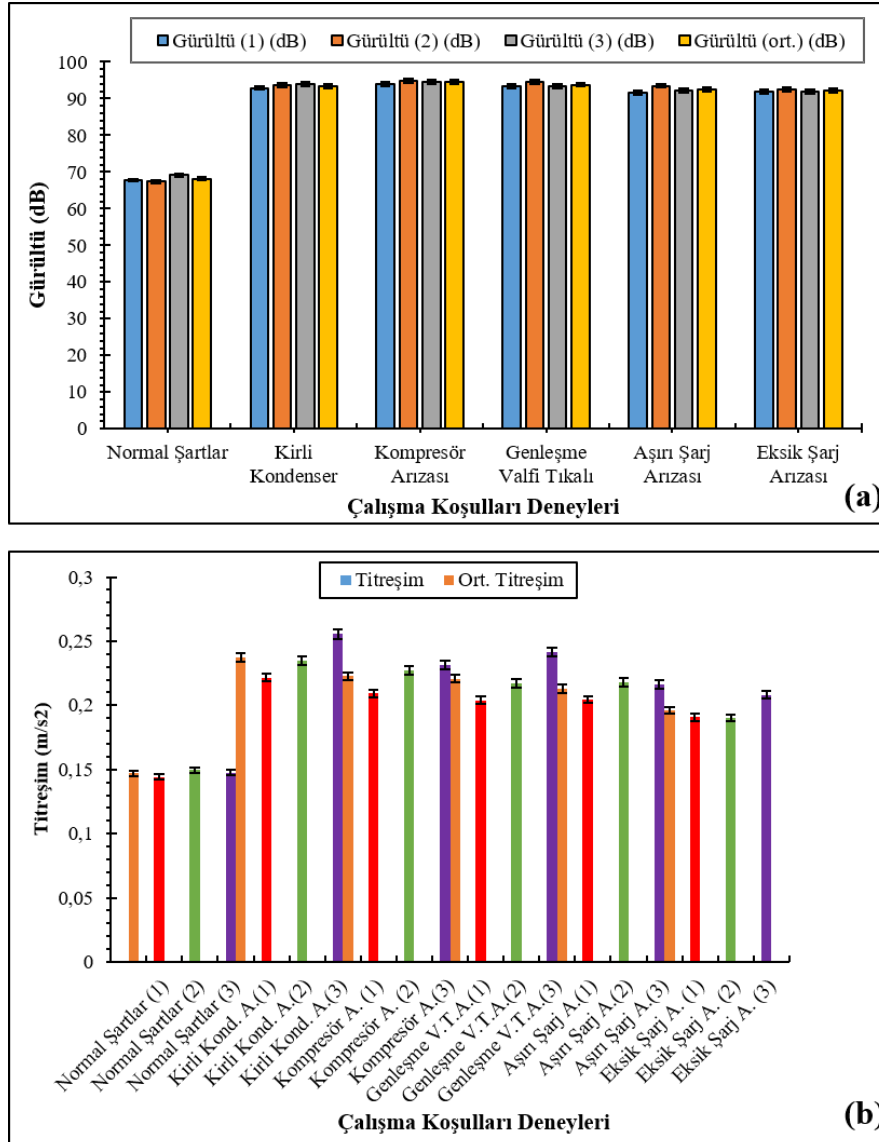
Figure 8. Pressure variation for normal and malfunctioning condition

Sıcaklık ve basınç soğutma sisteminin verimini belirleyen en önemli parametrelerdendir. Sıcaklık verilerine bakıldığında, kompresör çıkış sıcaklığı ( $T_2$ ) dikkate alınırsa normal çalışma şartlarına göre sistemde oluşan arızayı tespit ve teşhis etmek mümkün olacaktır. Şekil 7 ve Şekil 8 birlikte incelendiğinde, normal çalışma durumuna göre en yakın belirtileri aşırı akışkan şarjı arızası göstermektedir. Ancak bu arızada da sisteme fazla verilen soğutucu akışkan miktarına bağlı olduğu için normal çalışma durumundan basınca bakarak ayırt etmek zor olacaktır. Ancak diğer arızalar için direkt basınç değerlerinden arızanın türü hakkında tespit yapılma ihtimali bulunmaktadır. Şekil 9’da normal çalışma ve arıza durumlarına ait, gürültü ve titreşim değerleri ile aralarında ki ilişki verilmiştir. Grafığe bakıldığında normal çalışma durumuna göre, titreşim ve gürültü değerlerinden sistemde oluşan arızanın tespiti ve türü hakkında sağlıklı bir şekilde bilgi sahibi olunacaktır. Normal çalışma şartlarına en yakın titreşim ve gürültü değerine sahip arızalı durumlar sırasıyla, kompresör arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası, tıkalı genleşme valfi arızası, eksik soğutucu akışkan şarjı ve kirli kondenser izlemektedir. Şekil 8 ve Şekil 9 birlikte incelendiğinde basınç değerlerinden yapılan arıza tespiti ile titreşim ve gürültü değerlerinden yapılan arıza türlerinin benzer olduğu görülmektedir. Şekil 9’da tüm eksenlerden elde edilen ortalama titreşim değerleri ( $a_t$ ) ile ortalama gürültü değerleri verilmiştir. Normal

çalışma durumu ile en küçük ortalama titreşim değerleri elde edilir iken, kirli kondenser arızası ile en büyük ortalama titreşim değeri elde edilmiştir. Normal çalışma durumuna göre diğer tüm arızalarda titreşim ve gürültü değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Normal ve arızalı çalışma durumlarına ait titreşim ve gürültü ilişki grafiği.  
Figure 9. Vibration and noise relationship graph for normal and malfunctioning states.



Şekil 10. Titreşim ve gürültü grafikleri. (a) Gürültü grafiği ve (b) Titreşim grafiği  
Figure 10. Vibration and noise graphs. (a) Noise graph and (b) Vibration graph

Şekil 9'a bakıldığında oluşan soğutma sisteminde oluşan beş arızayı üç başlıkta toplamak mümkündür. Genleşme valfinin tıkanmasını akışkandan dolayı oluştuğunu düşünürsek bununla birlikte eksik soğutucu akışkan şarjı ve aşırı soğutucu akışkan şarjı arızalarını, akışkan kaynaklı arızalar, kompresör arızasını mekaniksel arıza, kirli kondenser arızasını da dış ortam kaynaklı olarak gruplandırabiliriz.

Titreşim bir sonucu olan gürültü de benzer bir değişim Şekil 10'da gösterilmektedir. Normal çalışma durumuna göre sırasıyla, eksik soğutucu akışkan şarj arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser arızası, tıkalı genleşme valfi arızası, ve kompresör arızasında artış olduğu gözlemlenmiştir. Titreşim değerleri ile gürültü değerleri arasında orantılı bir artış olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, ortalama titreşim değerleri hesabı için gerekli olan verilerin, kompresörün direk üzerine bağlanan ivmeölçer kanalları vasıtasıyla alınırken, ortalama gürültü değerine kompresörün gürültüsünün yanında ortamda yer alan diğer etmenlerin de etkisinin var olmasıdır.

Şekil 10'a bakıldığında ise, deneylerin yapıldığı normal çalışma şartları ile arızalı durumların oluşturulduğu koşullarda elde edilen veriler ayrı ayrı titreşim ve gürültü grafikleri ile belirsizlikler verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, titreşim ve gürültü değerlerinin de benzer davranışlar gösterdiği görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve öneriler

##### 4. Conclusion and recommendations

Soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılan kompresörlerin çevresel arızalardan kaynaklanan gürültü ve titreşimini azaltmak için en önemli tasarım parametresi, kompresörden kasaya iletilen kuvvetlerin azaltılmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, bir soğutma sisteminin ana parçasını oluşturan sıkıştırılmış pistonlu kompresörün normal ve arızalı çalışma koşulları altındaki dinamik davranışı incelenmiştir.

Bu çalışmada, pistonlu bir kompresörün yüke bağlı titreşim ve gürültü değişimini incelenmektedir. X, Y ve Z eksenlerinden toplanan verileri analiz edilerek kompresörün ortalama titreşim ve gürültü değerleri belirlenmiştir. Sistemdeki arıza türlerine göre kompresörün titreşim ve gürültü değerleri değişmiştir. Ortalama titreşim değerleri, normal çalışma durumunda  $0,1471 \text{ m/s}^2$ , kirli kondenserde  $0,2373 \text{ m/s}^2$ , tıkalı genleşme valfinden  $0,2209 \text{ m/s}^2$ , aşırı soğutucu akışkan şarjında  $0,2129 \text{ m/s}^2$ , eksik soğutucu akışkan şarjında  $0,1962 \text{ m/s}^2$  ve kompresör arızasında  $0,2227 \text{ m/s}^2$  olarak belirlenmiştir. Gürültü değerlerinde, normal soğutucu akışkan şarjında çalışmada 68,1 dB, kirli kondenserde 93,49 dB, tıkalı genleşme valfinden 93,81 dB, aşırı soğutucu akışkan şarjında 92,42 dB, eksik soğutucu akışkan şarjında 92,14 dB ve kompresör arızasında 94,5 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu deneysel araştırma tüm şartları için gürültü değerleri açısından toplam %0,683 ve titreşim değerleri açısından ise toplam %8,963 belirsizlikle gerçekleştirilmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerinin, incelenen her çalışma durumu için arızanın türü hakkında kolayca fikir verebileceği görülmüştür. Bu değerler, sadece titreşim ve gürültü ölçümlerini kullanarak hem normal hem de arızalı çalışma koşulları için arıza teşhisinde rahatlıkla kullanılabilmesini göstermiştir. Sistemdeki arızalar, motor titreşimleri ve gürültüsünü kısmen etkilemektedir.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Kaynaklar

##### References

Braun, J. E. (2003). Automated fault detection and diagnostics for vapor compression cooling equipment. *J. Sol. Energy Eng.*, 125(3), 266-274.

- Breuker, M. S. (1998). Common faults and their impacts for rooftop air conditioners. *Hvac&R Research*, 4(3), 303-318.
- Bulgurcu, H. (2009). *Maintenance, Troubleshooting and Service Process in HVAC&R Systems*. ISKAV Technical Book Series.
- Bulgurcu, H., & Yaşar, S. (2011). Soğutma sistemi arızalarının P-h diyagramı yardımıyla tespit edilmesi. X. U. Kongresi, *Soğutma sistemi arızalarının P-h diyagramı yardımıyla tespit edilmesi*. içinde İzmir.
- Celik, S. & Nsofor, E. C. (2011). Studies on the flow-induced noise at the evaporator of a refrigerating system. *Applied Thermal Engineering*, 31(14-15), 2485-2493.
- Cingiz, Z. Katırcıoğlu, F., Sarıdemir, S., Yıldız, G., & Çay, Y. (2021). Experimental investigation of the effects of different refrigerants used in the refrigeration system on compressor vibrations and noise. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(2), 152-162.
- Demirtekin, B. S. (2015). Kompresör Kompartımanı Üstte Olan Buzdolaplarının Gürültü Açısından İncelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, 726, İzmir.
- Halm-Owoo, A. K. & Suen, K.O. (2002). Applications of fault detection and diagnostic techniques for refrigeration and air conditioning: A review of basic principles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 3(121-132), 216.
- Hamilton, J. F. (1988). *Measurement and Control of Compressor Noise*. West Lafayette: Ray W. Herrick Laboratories, School of Mechanical Engineering, Purdue University.
- Han, H. G. (2011). Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. *International journal of refrigeration*, 34(2), 586-589
- Hartmann, D., & Melo, C. (2013). Popping noise in household refrigerators: Fundamentals and practical solutions. *Applied thermal engineering*, 51(1-2), 40-47.
- Han, H., Gu, B., Wang, T., & Li, Z.R. (2011). Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. *International journal of refrigeration*, 34(2), 586-589.
- Isermann, R. (1984). Process fault detection based on modeling and estimation methods—A survey. *automatica*, 20(4), 387-404.
- Jeon, J. Y., You, J. & Chang, H.Y. (2007). Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments. *Applied acoustics*, 68(10), 1118-1134.
- Katırcıoğlu, F., Cingiz, Z., Çay, Y., Gürel, A., & Kolip, A. (2020). Soğutma Sistemlerindeki Soğutucu Akışkan Kaçak Tespiti İçin Kızılötesi Görüntüler Üzerinde Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yönteminin Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(Özel sayı), 28-36.
- Kim, M., & Kim, M.S. (2005). Performance investigation of a variable speed vapor compression system for fault detection and diagnosis. *International Journal of Refrigeration*, 28(4), 481-488.
- Kocyigit, N., Bulgurcu, H., & Lin, C.X. (2014). Fault diagnosis of a vapor compression refrigeration system with hermetic reciprocating compressor based on ph diagram. *International journal of refrigeration*, 45, 44-54.
- Lee, C. C. (2005). Analyses of refrigerator noises. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Dubrovnik, Croatia, 1179-1184.
- Li, H., & Braun, J. E. (2007). Decoupling features and virtual sensors for diagnosis of faults in vapor compression air conditioners. *International Journal of Refrigeration*, 30, 546-564.
- Oh, H. E., Park, J.D., & Jeong, W.B. (2019). Numerical and experimental study on the reduction of refrigerant pressure pulsation within compressor pipes. *Journal of Sound and Vibration*, 438, 506-519.

- Ögüç, M. (2011). Experimental investigation of the influence of refrigerant flow on refrigerator noise. *Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yeditepe University.*
- Piacentino, A., & Talamo, M. (2013). Innovative thermoeconomic diagnosis of multiple faults in air conditioning units: Methodological improvements and increased reliability of results. *International journal of refrigeration, 36(8), 2343-2365.*
- Proctor, J. (2006). (CheckMe!<sup>TM</sup> Expert Analysis System Developed by Proctor Engineering Group, 418 Mission Avenue, San Rafael, CA 94901) 2021 tarihinde <http://www.proctoreng.com/checkme/checkme.html>
- Rossi, T. M., & Braun, J.E. (1997). A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners. *Hvac&R Research, 3(1), 19-37.*
- Sarıdemir, S., Polat, F., & Kılınçel, M. (2016). Motor Devir ve Yükünün Titreşim ve Gürültü Emisyonuna Olan Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 3(3), 459-466.*
- Seçgin, A., Ertunç, S., Özütürk, B., Yildirim, K., & Sarigül, A. S. (2009). Bir Buzdolabi Kompresörünün Deneysel Modal Analizi. *14. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampusu.*
- Shamandi, S. A., & Rasouli, S. (2020). Fault Detection in Compression Refrigeration System with a Fixed Orifice and Rotary Compressor. *AUT Journal of Mechanical Engineering, 4(2), 277-286.*
- Tassou, S. A., & Grace, I.N. (2005). Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration, 28(5), 680-688.*
- Yılmaz, C. (2022). Ev Tipi Soğutma Cihazlarında Soğutma Yüğü ve Soğutucu Akışkan Miktarının Sistem Performansına Etkisinin Gürültü ve Titreşim Yönünden İncelenmesi. *Karabük: Karabük Üniversitesi FBE.*