



Konferans Bildirisi

Soğutma Sistemleri Arızaları, Kontrol Ve Yönetim Modellerinin İncelenmesi

Fatma Nur Erdoğan^{1*}, Melis Öder², Ahmet Berk Ezber³, Oktay Kalkan⁴

¹ Nurdil Teknik Soğutma A.Ş., Orcid ID: 0000-0002-8887-6597, fatmanurerdogmus@nurdil.com.tr,

² Nurdil Teknik Soğutma A.Ş., Orcid ID: 0000-0002-1894-1445, melisoder@nurdil.com.tr,

³ Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Orcid ID: 0009-0007-5283-4196,
ezberahmetberk@gmail.com,

⁴ Nurdil Teknik Soğutma A.Ş., Orcid ID: 0000-0002-4343-7830, oktay.kalkan@nurdil.com.tr,

* Sorumlu Yazar: fatmanurerdogmus@nurdil.com.tr; +90 535 635 01 32

(First received January 12, 2023 and in final form March 08, 2023)

**3rd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization
March 15 - 17, 2023**

Reference: Soğutma Sistemleri Arızaları, Kontrol Ve Yönetim Modellerinin İncelenmesi.
Orclever Proceedings of Research and Development,2(1), 68-80

Özet

Dünyada nüfusun hızla artmasıyla birlikte insanların soğutulmuş ve dondurulmuş gıdalara olan talepleri de artmaktadır. Gıdaların sağlıklı ve enerji verimli bir şekilde soğuk muhafazası önemli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda son yıllarda soğutma sistemleri üzerinde otomatik kontrol tekniklerini içeren enerji yönetim modellerinin verimlilik ve performansla yönelik yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı ise soğutma sistemleri perspektifinde arızalar, izlenebilir enerji yönetim modelleri ve kontrol sistemleri hakkında bilgiler vermektir.

Soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman ve maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyete de neden olmaktadır. Soğutma sistemlerinde basınç, sıcaklık ve elektrik tüketimi değerlerindeki değişiklikleri kontrol ederek standart çalışma koşulları ile karşılaştırmak arıza tespiti için kullanılan yöntemlerden biridir. Soğutma sistemlerinde oluşabilecek arızalar; kompresör, kondenser, evaporatör, genleşme elemanı ve fan arızaları, termik arızaları, faz koruma rölesi arızaları, eksik/fazla soğutucu akışkan şarjı, prob arızaları, gece perdesi elektrik motoru arızası, kondenser-evaporatör yüzey kirliliği



olacak şekilde sıralanabilir. Çevrimde ortaya çıkan hata ve arızalar, normal çalışma koşullarındaki parametrelerin ve buna bağlı olarak da soğutma performans katsayısının değişmesine neden olmaktadır. Arızaların tespit edilmesi ve kısa sürede önüne geçilebilmesi için izlenebilir enerji yönetim modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu modellerin tasarımı ve uygulanması ile enerji, bakım ve onarım maliyetlerini düşürerek, sistemin uzun süreli hasar görmesi önlenmektedir.

Soğutma sistemleri için izlenebilir enerji yönetim modelleri ve kontrol sistemleri tasarımında; ayar noktası ve yönetimi, alarm bildirme ve yönetimi, hassas sıcaklık kontrolünün yapıldığı algoritmaların tasarlanması, enerji verimliliği sağlayacaktır.

Anahtar: Soğutma, enerji yönetimi, enerji verimliliği, kontrol sistemleri



Investigation of Cooling Systems Faults, Control and Management Models

Abstract

With the rapid increase in population in the world, people's demands for chilled and frozen foods are also increasing. The healthy and energy efficient cold storage of foods has become an important issue. In this context, studies on the efficiency and performance of energy management models including automatic control techniques on cooling systems have been investigated in recent years. The purpose of this study is to give information about faults, traceable energy management models and control systems in the perspective of cooling systems.

Maintenance of cooling systems, malfunctions and their late detection cause time and cost problems. The decrease in the performance of the cooling system or the occurrence of malfunctions cause economic costs as well as energy consumption. Controlling the changes in pressure, temperature and electricity consumption values in cooling systems and comparing them with standard operating conditions is one of the methods used for fault detection. Faults that may occur in cooling systems; compressor, condenser, evaporator, expansion element and fan failures, thermal failures, phase protection relay failures, under/over refrigerant charge, probe failures, night curtain electric motor failure, condenser-evaporator surface pollution. Errors and malfunctions occurring in the cycle cause the parameters under normal operating conditions and accordingly the cooling performance coefficient to change. Traceable energy management models are needed to detect faults and prevent them in a short time. With the design and implementation of these models, long-term damage to the system is prevented by reducing energy, maintenance and repair costs.

In the design of traceable energy management models and control systems for cooling systems; set point and management, alarm notification and management, designing algorithms with precise temperature control will provide energy efficiency.

Keywords: Cooling, energy management, energy efficiency, control systems



1. Giriş

Son yıllarda nüfusun artması ile soğutulmuş ve dondurulmuş gıdalara olan talepler de artmaktadır. Artan enerji maliyetleri gıda maliyetlerini de etkilemektedir. Enerji tüketiminde tasarruf sağlanması, soğutma proseslerinin geliştirilmesi ve tasarımının yapılması önemli bir konudur. Soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman ve maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyete de neden olmaktadır. Soğutma sistemlerinde basınç, sıcaklık ve elektrik tüketimi değerlerindeki değişiklikleri kontrol ederek standart çalışma koşulları ile karşılaştırmak arıza tespiti için kullanılan yöntemlerden biridir. Çevrimde ortaya çıkan hata ve arızalar, normal çalışma koşullarındaki parametrelerin ve buna bağlı olarak da soğutma performans katsayısının (COP) değişmesine neden olmaktadır. Arızaların tespiti ve teşhisinin uygulanması, enerji, bakım ve onarım maliyetlerini düşürerek, sistemin uzun süreli hasar görmesinin önlenmesini sağlamaktadır. Bu sistem arızalarının önüne geçilebilmesi için izlenebilir yönetim modellerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmanın amacı soğutma sistemleri perspektifinde arızalar, izlenebilir enerji yönetim modelleri ve kontrol sistemleri hakkında bilgiler vermektir. Bu bağlamda son yıllarda soğutma sistemleri üzerinde otomatik kontrol tekniklerini içeren enerji yönetim modellerinin verimlilik ve performansa yönelik yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Khayyam ve ark. (2011), bir aracın klima kontrol sistemini kontrol etmek için bir sınır ağına ayarlanmış orantılı-integral-ilişkili (PID) kontrolörü geliştirmişlerdir. Bu tasarlanmış PID kontrol sistemi, minimum enerji tüketimi ile optimum konfor sıcaklığı ve iç hava kalitesini sağlamak için evaporatör, fan, taze hava ve kapı çalışmasını yönetir. Bu kontrol sistemi, çok katmanlı bir ileri beslemeli ağdan (MLFFN) oluşur. Araç iklimlendirme sistemlerinin güç tüketiminin geleneksel kontrol yöntemlerine göre yaklaşık %14 oranında azaldığı tespit edilmiştir [1]. Aktaş ve ark. (2022), araştırmalarında kondenserlerde kirlenmeyi kontrol etmek için akıllı bir fan yönetimi algoritması tasarlamışlardır. Tasarlanan algoritmada fan hızı, kondenser çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığına göre değişken bir hız olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda algoritma kondenserin hava fark basınç değerini ve fan ters yönde çalıştığında çalışma süresini belirler. Kondenser yüzey kirliliği ve fan enerji tüketiminin gelişmiş bir akıllı fan yönetim algoritması tarafından kontrol edildiğini söylediler. Fanların değişken hız yönetimi sayesinde aşırı soğutma 5 °C'de tutulduğu için sistemin soğutma kapasitesinin 2075 W'a çıktığı gözlemlendi. Aşırı soğutma ile sistem performans katsayısı (COP) değerinde %3,55



oranında bir artış bildirdiler [2]. Yu ve ark. (2007). COP en üst düzeye çıkarmak için bir soğutma grubunun kondenser fanının kontrolünün nasıl optimize edileceğini araştırmışlardır. Soğutucu akışkanın bir termodinamik modeli geliştirilmiş ve çeşitli yükleme ve çevre koşulları altında kararlı durum COP'sini analiz etmek için kullanılmıştır. Yoğuşma basıncı ve dış ortam sıcaklığı ayarlarına dayalı olarak kademeli kondenser fanlarının sayısını hesaplamak için bir algoritma sunulmuştur. Model, çeşitli çalışma koşulları altında çalışan mevcut soğutma gruplarından elde edilen deneysel veriler ve performans verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Bir kondenser fanını değiştirmek için en iyi stratejinin, hızı değiştirmek için yoğuşma sıcaklığı ayar noktasını kullanmak olduğunu buldular. Soğutma grubu yüküne ve kondenser hava giriş sıcaklığına göre ayarlanacağını bildirmişlerdir [3]. Rodriguez ve ark. (2018) buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin kontrolü için, kıyaslama sürecinin zorluğu dikkate alınarak uygulanan PID kontrolörlerinin tasarımına birleşik bir yaklaşım önerdiler. Temel denetleyici, kompresör hızını ve genleşme valfini ayarlayarak evaporatör ikincil sıvısının sıcaklığını ve kızgınlığını kontrol etmeyi amaçlayan iki uzak PID'den oluşur. Üç ayrı denetleyici ayarı önerilir. Denetleyici tarafından denetleyicinin performansının, kıyaslama süreci zorluk formülasyonunu sağlayan denetleyicinin performansı ile karşılaştırılması, daha iyi performans göstergeleri sağlar ve kontrol değişkenlerinin genel dinamik davranışını geliştirdiğini bildirmişlerdir [4]. Braun (2003) soğutucular, klimalar ve buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde otomatik arıza tespitine yönelik bir araştırmaya genel bakış sunmuşlardır. Termodinamik değişimleri ölçerek tıkalı kondenserlerin ve soğutucu eksikliğinin tespit edilebileceğini açıklamışlardır [5]. Wang ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, Bayes Ağları (BN) ve Temel Bileşen Analizi'ni (PCA) birleştirerek pratik uygulamalarda soğutma sistemlerindeki arızaları yüksek doğrulukla tespit etmek ve teşhis etmek için gelişmiş bir yöntemi bildirmişlerdir. Test sonuçları, özellikle düşük seviyeli hatalar için doğruluk oranı en fazla %43 oranında bulunmuştur [6]. Bogdanovska ve ark. (2019) yaptıkları arıza analizi çalışmalarında, R134a ve R404A soğutucu akışkanları kullanan buzdolaplarında bir kondenser ve valf hasar analizi yapmışlardır. Pareto analizi ve Lorenz eğrisi, arızaların çoğunu çözmek için ele alınması gereken önemli nedenleri belirlemek için kullanmışlardır. Arıza Ağacı Analizine göre, yoğuşma arızalarının sayısı %40 ve valf arızalarının sayısı yaklaşık %50 oranında azaltılmıştır [7].

Franco ve diğ. (2022), mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma döngüsünde kullanılan kısılma elemanının daha etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için ekipman kontrolörünün PID kontrol döngüsü yaklaşımına, uygun biçimde ayarlanması



gerektiğini belirtmişlerdir. Genleşme ekipmanının PID kontrol ayarı için Ziegler-Nicholas yaklaşımını uygulanmıştır. Oransal-integral (PI) kontrolü için ise MATLAB yazılımı ile oluşturulmuş oldukları modeli kullanılmıştır. Soğutma sistemi, PI ve PID Kontrol Modellerine dayalı olarak fabrika ön ayarlı PI kontrolünü sırasıyla %28 ve EER'yi %21 ila %32 oranında artırdığı belirtilmiştir [8]. Henry ve ark. (2014), programlanabilir bir mantıksal denetleyici (PLC) ve termostat tarafından kontrol edilebilen bir buzdolabı sistemini analiz etmişlerdir. PLC'de yazılan kod sayesinde kompresör bünyesinde bulunan inverter kullanılarak kompresör hızının soğutma yüküne göre ayarlanması sağlanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre PLC ile kontrolü sağlanan buzdolabının termostat ile kontrol edilen buzdolabına kıyasla %4.45 ila %6.79 oranı aralığında daha az enerji tükettiği tespit edilmiştir [9].

Ekren ve ark. (2010), yapmış oldukları çalışmada değişken hızlı kompresör ve elektronik genleşme valfi içeren bir su soğutma sistemini üç farklı denetleyici kullanılarak çalıştırmıştır. Sistemin enerji tüketimine etkisi düşünülerek karşılaştırılan PID, Yapay Sinir Ağlar (YSA) ve Fuzzy kontrolörleri yapılan ölçümler sonucunda birbirleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda YSA denetleyicinin Fuzzy ve PID denetleyicilerinden sırasıyla %6,6 ve %8,1 oranında daha az güç tükettiğini belirtmişlerdir [10]. Erten ve ark. (2020), endüstriyel soğutma sistemlerinde kullanılan fanların performans analizlerini yapmışlardır. Fan verimini test etmek için aynı özelliklere ancak farklı fan teknolojilerine sahip iki farklı endüstriyel soğutucu test edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda ilk sistemin 45.76 kWh/24h, ikinci sistemin 42.12 kWh/24h enerji harcadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak ikinci sistem ilk sisteme kıyasla %7.95 oranında daha az enerji tükettiği belirtilmiştir [11]. Malik ve ark. (2021), enerji tasarrufu yaratmak için gerçek zamanlı buz kalınlığına dayalı, istek doğrultusunda çalışan yeni bir buz çözme tekniğini test etmişlerdir. Enerji tüketimi açısından, buz çözme başlangıcını 2 mm buz kalınlığına ayarlanması, sık buz çözme ve dolayısıyla yüksek enerji tüketimi ile sonuçlanmıştır. Farklı kalınlarda yapılan buz çözme işlemlerinden sonra (4, 5, 6, 7mm) 6mm buz kalınlığının tüketime oranla en verimli çözme kalınlığı olduğu belirtilmiştir [12].

Bu çalışmada, soğutma sistemleri için izlenebilir enerji yönetim modelleri ve kontrol sistemleri literatürden araştırılmıştır. Arıza çeşitleri ve arıza oluşturabilecek durumlar incelenmiştir. Bu arızaların önlenmesi, tespiti ve çözümü için okuyuculara tavsiyeler verilmiştir.



2. Arıza Çeşitleri / Arıza Oluşturabilecek Durumlar

2.1 Kompresör Arızası (KA)

Kompresörler, sistemde basınç farkı oluşturarak soğutucu akışkanın çevrim boyunca dolaşmasını sağlayan ekipmandır. Kompresörler hareketli parçalara sahip olması ve bünyesinde elektrik motoru bulundurması nedeniyle en çok sık arıza ile karşılaşılan ekipman olarak nitelendirmektedir. Ayrıca kompresörün çalışmama durumunda soğutmanın tamamen durması söz konusudur. Bu yüzden kompresörlerdeki arızaların hızlı şekilde çözüme kavuşturulması gerekmektedir. En sık kompresör arızalar ve nedenleri;

- Yüksek kondenzasyon basıncı
- Dönüş hattındaki soğutucu akışkanın kompresöre sıcak ya da likit fazında girmesi
- Kompresörün yağlama yağının azalması
- Elektrik motorunun düşük/yüksek voltajda çalışması
- Soğutucu akışkanın içerisine hava karışması

gibi özetlenebilir. Yüksek kondenzasyon basıncının nedeni kondenser, genişleme elemanı ya da dryer gibi ekipmanlarda oluşan tıkanıklıklar olabilmektedir. Soğutucu akışkanın sıcak ya da likit fazında girmesi ise evaporatör tarafında akışkanın tamamen gaz fazına geçememesi durumu söz konusudur. Kompresör yağlama yağının azalması durumu birkaç sebepten olabilmektedir. Çevrimdeki soğutucu akışkan hızı düşük olduğunda yağ çevrimde sürüklenemez ve dirsek gibi elemanlarda yağ cepleri oluşabilir. Yağlama yağı buralarda birikerek kompresöre geri sürüklenemez ve kompresörün hareketli parçaları zarar görebilir.

2.2 Genleşme Elemanı Arızaları (GEA)

Soğutma sistemlerindeki genleşme elemanlarının görevi yüksek basınçtaki soğutucu akışkanı alçak basınca düşürmek ve sistemdeki gerekli debi miktarını ayarlamak olarak bilinmektedir. Genleşme elemanlarında (genleşme valfi ve kılcal boru) arızaya sebebiyet verebilecek ve sistem performansını düşürebilecek birkaç durum mevcuttur. Bunlar:

- Genleşme valfinin/kılcal borunun tıkanması
- Termostatik genleşme valfinin içerisinde bulunan orifis seçiminin büyük/küçük yapılması
- Dıştan dengelemeli termostatik genleşme valfinin duyargasının yanlış yere konumlandırılması

Genleşme elemanında tıkanıklık olması kondenzasyon basıncını yükseltir ve tıkanıklık giderilmezse kompresördeki yüksek basınç prosestatı kompresörü durdurarak sistemi kapatmaktadır. Orifis seçiminin yanlış yapılması durumunda ise sisteme gerekli olan



soğutucu akışkan debisi sağlanamaz ve kompresör gereğinden fazla uzun çalışarak daha yüksek miktarda enerji tüketimine neden olmaktadır. Ayrıca hem valf tıkanıklığında hem de yanlış orifis numarası seçiminin yapılması genişleme elemanı yüzeyinde karlanmaya sebep olmaktadır. Son olarak duyurga doğru yere konumlandırılmadığında ise aşırı kızdırma değeri yanlış okunarak ve sistem performansın düşmesine neden olmaktadır.

2.3 Eksik / Fazla Soğutucu Akışkan Şarjı (EF/SA)

Soğutucu akışkan kaçağı olması durumunda gaz şarjında zamana bağlı azalma gerçekleşir. Gaz şarjındaki azalma emme ve basma hattındaki basınçların düşmesine neden olur. Soğutucu akışkanın kütsel debisi azalarak, soğutma kapasitesi düşer. Fazla soğutucu akışkan şarjında ise sistemdeki emme ve basma hattındaki basınçlar artarak kompresörün çektiği akım da artar [13].

2.4 Fan Arızası (FA)

Fanlar ısı değıştircilerde cebri hava akışı oluşturarak zorlanmış taşınım ile ısı transferini hızlandıran ve aynı zamanda havaya hız kazandırılarak istenilen yere iletilmesini sağlayan ekipmanlardır. Isı değıştircilerde fan arızası sık sık yaşanan durumlardan bir tanesidir. Bu arızaların nedenleri ise fanlardaki elektrik motorlarının yüksek veya alçak voltaja maruz kalabilmektedir. Ayrıca derin dondurucu gibi sıcaklığın çok düşük olduğu durumlarda fan kanatlarında donma meydana gelir ve bir süre sonra kanatlar işlevini yerine getirmez konuma gelmektedir. Bu durumlarda ısı değıştircilerdeki ısı transfer hızı azalır, hacimsel debi düşerek soğutulan ürünlere üflenlen hava miktarı azalır ve ürünlerin soğutulması için daha fazla enerji harcanmaktadır.

2.5 Kondenser / Evaporatör Yüzey Kirliliği (KE/YK)

Zamanla, kondenser-evaporatör yüzeyinde birikir ve yüzeyde kir tabakası oluşur. Bu katman hava geçişini engeller, kondenser-evaporatör yüzeyi boyunca fark basıncını artırır ve aynı zamanda ısıyı atmasını/çekmesini zorlaştırır [14].

2.6 Kondenser Arızası (KA)

Kondenser kirliliği dışında çeşitli kondenser arızaları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Kondenser boruları içerisinde hava kabarcığı kalması,
- Kondenser borularının kireçlenmesi,
- Soğutma yüzey alanının yetersiz olması.



2.7 Evaporatör Arızası (EA)

Evaporatörde oluşacak arızalar sebebi ile ısı transferinin azalmasına hatta soğutmanın durmasına sebep olabilir. Evaporatör arızaları [14]:

- Soğutucu akışkan miktarının az olması,
- Evaporatörde gaz kaçağının olması,
- Evaporatör yüzeyinin karlanması,

olarak sıralanabilir.

3. Arıza Önlemleri / Çözüm Yönetimleri

KA için en yaygın kullanılan koruyucu önlem alçak ve yüksek basınç prosestatlarıdır. Bu koruma elemanları tanımlanan minimum ve maksimum basınçlarda sistem için en yüksek maliyete sahip ekipman olan kompresörü korumakla görevlidir. Ayrıca kompresör yağlama yağının tekrar kompresöre sürüklenmesi için soğutucu akışkanın literatürde belirtilen emiş ve basma hattındaki yatay-düşey borulardaki minimum hızların sırasıyla 2,5, 5 m/s ve maksimum hızın ise 20 m/s arasında olması gerekmektedir [15].

GEA çözüm yönteminde ise orifis seçimlerinin doğru yapılabilmesi için seçim programları kullanılabilir ya da sistemdeki debi kontrolünün daha hassas yapılması için elektronik genleşme valfleri de tercih edilebilmektedir. EF / SA tarafında soğutucu akışkan kaçağı olma ihtimali göz önünde bulundurularak periyodik bakımlarda detektörler ile izlenmelidir. Söz konusu kaçak mevcut değil ise ihtiyaç dahilinde sisteme soğutucu akışkan verilmeli ya da sistemden soğutucu akışkan çekilmelidir.

Sık yaşanan FA öncelikle kanatlardaki donma ele alındığında, kanatlarda su itici profil yapıları kullanılarak donmanın önüne geçilebilmektedir. İkinci önlem ise fan motoruna gelen akımın belirli bir aralık içinde tutulmasıdır. KE / YK önüne geçilebilmesi için servis ekipleri tarafından düzenli olarak temizleme işlemi yapılmalıdır.

KA giderilmesi için sistemdeki havanın boşaltılarak sistemin çalıştırılması, boruların temizlenmesi ve oksitlenmesine önlem amaçlı galvanizleme işlemine tabi tutulması gibi işlemler uygulanabilir. EA tarafında ise, ısı transferinin sistemde maksimum seviyede gerçekleşmesi için defrost işleminin uygulanmasıdır. Defrost işleminin sıklığı, süresi ve metodu da önem arz etmektedir.

Yukarıda bahsedilen arıza, arıza oluşturabilecek durumlar ve çözüm yöntemleri özetlenmiştir. Bunlar sistem performansının düşmesi ve fazla enerji sarfiyatını da beraberinde getirmektedir. Sistemde kullanılan soğutma ekipmanları, sensör ve

koruyucu ekipmanlar bir kontrol mekanizması ile enerji yönetim modeli tasarlanması, sistem performansı ve enerji tasarrufu için avantaj sağlayacaktır. Literatürde kullanılan birkaç kontrol mekanizması ve elde edilen sonuçlar bir tablo ile verilmiştir. Ayrıca arıza tespit ve giderme metodolojisine genel bir bakış olan görsel de Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Soğutma sistemlerindeki kontrol mekanizmaları ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar

Referans	Kullanım Alanı	Kontrol Mekanizması	Sonuç
[16]	Soğutma sistemi	PI, PID ve Fuzzy	Fuzzy kontrolör ile %27.5, PI kontrolör ile %19.7 ve PID kontrolör ile de %18.3 oranında COP’de iyileşme sağlanmıştır.
[17]	Endüstriyel soğutma sistemi	Yapay sinir ağları	Yapay sinir ağları ve diğer akıllı algoritmalar ile oluşturulması, sistem girdilerinin daha verimli takip edilmesi ve kararlılığın sağlanması açısından faydalı olacağını belirtmişlerdir.
[18]	Soğutma sistemi	PID ve sayısal kod	Sayısal kodlu sistem ve PID kontrolörün sistemin kararlı duruma gelme süresinde %20 oranında artış sağladığı belirtilmiştir.
[19]	Endüstriyel soğutma sistemi	TOPSIS yöntemine dayalı PID	Önerilen yaklaşımın performans indeksi orijinal kontrolöre göre %68.39 oranında artmıştır.
[20]	Soğutma sistemi	En düşük güç noktası takibi kontrolü	Enerji tüketiminde %16 oranında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 1: Arıza tespit ve giderme metodolojisine genel bir bakış



4. Sonuçlar

Soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman ve maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyete de neden olmaktadır.

Çalışmadaki arıza belirtileri; kompresör, kondenser, evaporatör, genişleme elemanı ve fan arızaları, termik arızaları, faz koruma rölesi arızaları, eksik / fazla soğutucu akışkan şarjı, prob arızaları, gece perdesi elektrik motoru arızası, kondenser-evaporatör yüzey kirliliği olacak şekilde özetlenmiştir. Bu arızaların tespiti ve yönetimi için algoritma tasarlanması sistem performansı için fayda sağlayacaktır. Ayrıca algoritma tasarımı sıcaklık, basınç ve elektrik tüketimi değerlerindeki değişiklikleri kontrol eden standart çalışma koşulları ile karşılaştırarak kullanıcılara hızlı bir şekilde uyarı verebilir. Bu sayede soğutma sisteminin performansının düşmesi ve yüksek maliyetin önüne geçilmiş olacaktır.

Soğutma sistemlerinin belirli bir algoritma ve kontrol modeliyle yönetilmesi ile yüksek enerji tüketimi, bakım ve onarım maliyetlerinin önüne geçilebilecektir. Soğutma sistemleri için teknolojik gelişmelerin takip edilerek uygulanması sektörde enerji verimliliği sağlanması noktasında katkılar sağlayacaktır.

5. Teşekkür

Bu bildiri kapsamında Nurdil Teknik Soğutma A.Ş' ye verdiği katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] H. Khayyam, A. Z. Kouzani, E. J. Hu, S. Nahavandi, "Coordinated Energy Management Of Vehicle Air Conditioning System", *Applied Thermal Engineering*, cilt 31(5), s. 750-764, Nisan 2011.
- [2] M. Aktaş, A. Aktaş, S. Bilgin, F. N. Erdoğan, M. Öder, "Soğutma Sistemlerinde Kondenser Yüzey Kirliliğinin Kontrol Edilmesine Yönelik Akıllı Fan Yönetim Algoritma Tasarımı", 2. *Başkent Uluslararası Multidisiplinler Çalışma Kongresi*, Ankara, 2022, s. 410-417.
- [3] F. W. Yu, K. T. Chan, "Modelling Of A Condenser-Fan Control For An Air-Cooled Centrifugal Chiller", *Applied Energy*, cilt 84(11), s. 1117-1135., Kasım 2007.
- [4] D. Rodriguez, G. Bejarano, J. A. Alfaya, M. G. Ortega, "Robust and Decoupling Approach to PID Control of Vapour-compression Refrigeration Systems", *IFAC-PapersOnLine*, cilt 51(4), s. 698-703, 2018.



- [5] J. E. Braun, "Automated Fault Detection and Diagnostics for Vapor Compression Cooling Equipment", *Solar Energy Engineering*, cilt 125(3), s. 266-274, Ağustos 2003.
- [6] Z. Wang, L. Wang, K. Liang, Y. Tan, "Enhanced Chiller Fault Detection Using Bayesian Network And Principal Component Analysis", *Applied Thermal Engineering*, cilt 141, s. 898-905, Ağustos 2018.
- [7] G. Bogdanovská, V. Molnar, G. Fedorko, "Failure Analysis Of Condensing Units For Refrigerators With Refrigerant R134a, R404A", *International Journal of Refrigeration*, cilt 100, s. 208-219, Nisan 2019.
- [8] S.S. Franco, J.R. Henríquez, A.A.V. Ochoa, J.A.P da Costa, K.A. Ferraz, "Thermal Analysis and Development of PID Control for Electronic Expansion Device of Vapor Compression Refrigeration Systems", *Applied Thermal Engineering*, cilt 206, s. 118130, Nisan 2022.
- [9] N. Henry, W G. Munan, A. A. Azhar, K. Sumeru, A. L. Zulkarnain, "Energy Analysis and Compressor Performance of Refrigerator System Using Programmable Logic Control (PLC)", *Applied Mechanics and Materials*, cilt 554, s. 469-473, Haziran 2014.
- [10] O. Ekren, S. Şahin, Y. İşler, "Comparison of Different Controllers for Variable Speed Compressor and Electronic Expansion Valve", *International Journal of Refrigeration*, cilt 33, s. 1161-1168, Eylül 2010.
- [11] S. Erten, C. Ocak, M. Aktaş, "Endüstriyel Soğutma Sistemlerinde Fan Performansının Deneysel Analizi", 3. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (ICAR), Online, 2020, s. 627-638.
- [12] A. N. Malik, S. A. Khan, I. Lazoglu, "A Novel Demand-Actuated Defrost Approach Based on The Real-Time Thickness of Frost for The Energy Conservation of a Refrigerator", *International Journal of Refrigeration*, cilt 131, s. 168-177, Kasım 2021.
- [13] H. Bulgurcu, S. Yaşar, "Soğutma Sistem Arızalarının P-h Diyagramı Yardımıyla Teşhis Edilmesi", X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2011, s. 1265-1281.
- [14] Tesisat. (1 Mart 2023). Kompresör arıza nedenlerinin giderilmesi (Online). <https://www.tesisat.org/kompresor-arizalari-nedenleri-giderilmesi.html>
- [15] N. Özkol, *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, 6. baskı, Ankara: Makine Mühendisleri Odası, 2004.
- [16] A.R. Al-Badri, A.H. Al-Hassani, "Control Method Using Adaptive Setting of Electronic Expansion Valve for Water Chiller Systems Equipped with Variable Speed Compressors", *International Journal of Refrigeration*, cilt 119, s. 102-109. Kasım 2020.
- [17] M. Koşan, S. Erten, İ. Çetinbaş, M. Demirtaş, F. N. Erdoğan, E. Demirci, "Endüstriyel Soğutucular İçin Değişken Devirli Kompresör Teknolojisinin Verim Parametreleri", II. Uluslararası Bilim ve İnovasyon Kongresi, Online, 2021, s 188-195.
- [18] M. Salazar, F. Méndez, "PID Control for A Single-Stage Transcritical CO₂ Refrigeration Cycle", *Applied Thermal Engineering*, cilt 67 (1-2), s. 429-438, Haziran 2014.
- [19] R. M., Kagami, G. Reynoso-Meza, E. A. P. Santos, R. Z. Freire, "Control of a Refrigeration System Benchmark Problem: An Approach based on COR Metaheuristic Algorithm and TOPSIS Method", *IFAC-PapersOnLine*, cilt 52 (11), s. 85-90, 2019.



- [20] A. S. Silveira, M. D. C. de Oliveira, A.T. Neto, C. J. L. Hermes, "Least power point tracking (LPPT) control for refrigeration systems running with variable-speed compressors", *International Journal of Refrigeration*, cilt 125, s.132-137, Mayıs 2021.