



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Soğutma Sistem Arızalarında Yüzey Sıcaklıklarının Kızılötesi Görüntü İşleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi

 Ferzan KATIRCIOĞLU^a,  Zafer CİNGİZ^{b,*}

^a Mekanik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik ve Enerji Bölümü, Düzce MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zafercingiz@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1069263

Öz

Sanayileşmenin artması ile birlikte insan ve bina sayısındaki artış soğutma sistemlerine olan ihtiyacı da arttırmıştır. Soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyete de neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, soğutma sisteminde oluşabilecek arızaları tespit etmek için, kızılötesi görüntüleme kullanılarak yüzeysel sıcaklık değişimlerinin incelenmesi önerilmektedir. İlk olarak sistemin arka plan görüntüsü çıkarıldıktan sonra, görüntüler 25 alt bölgeye ayrılmaktadır. Soğutma sisteminde önemli görevleri olan elemanları içeren 9 alt bölge, arıza incelemesini kolaylaştırmak ve çalışmanın işlem hızını artırmak amacı ile seçilmiştir. Seçilen her bölge için maksimum yüzey sıcaklık, minimum yüzey sıcaklığı, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklığı olmak üzere 4 öznelik elde edilmektedir. Soğutma sisteminden alınan yüzey sıcaklık verileri kutu ve çizgi grafikleri ile analiz edilmiş, arızalar türleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, arıza çeşitlerinin yüzeydeki değişim özellikleri ortaya çıkartılarak, ele alınan tüm arıza türlerinin değerlendirilmesi mükemmel sonuçlarla gerçekleştirilmiştir. Geleneksel basınç, sıcaklık ve elektriksel ölçmeler ile arıza belirleme yöntemlerine göre, gerçekleştirilen sistemin kullanım kolaylığı, uzaktan ölçüm ve eş zamanlı kayıt alma gibi özelliklerinden dolayı daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi görüntü işleme, Soğutma sistemi, Öznelik çıkartma, Görüntü analizi

Evaluation of Surface Temperatures in Refrigeration System Failures by Infrared Image Processing Method

ABSTRACT

With the increase in industrialization, the increase in the number of people and buildings has also increased the need for refrigeration systems. Maintenance of refrigeration systems, malfunctions and their late detection cause time cost problems. The decrease in the performance of the refrigeration system or the occurrence of malfunctions cause economic costs as well as energy consumption. Therefore, in this study, it is recommended to examine the surface temperature changes using infrared imaging to detect the malfunctions that may occur in the refrigeration system. After removing the background image of the system first, the images are divided into 25 sub-regions. 9 sub-regions, which contain the elements that have important duties in the refrigeration system, have been selected in order to facilitate the fault investigation and increase the processing speed of the study. For each selected region, 4 features are obtained: maximum surface temperature, minimum surface temperature, average and densest surface temperature. The surface temperature data obtained from the refrigeration system were analyzed with box and line graphs, and the faults were evaluated together with their types. In this study, by

revealing the surface variation characteristics of the fault types, the evaluation of all the fault types discussed was carried out with excellent results. It has shown that the realized system is more advantageous than traditional pressure, temperature and electrical measurements and fault detection methods due to its features such as ease of use, remote measurement and simultaneous recording.

Keywords: Infrared image processing, Refrigeration system, Feature extraction, Image analysis

I. GİRİŞ

Soğutma sistemleri gelişmiş ve gelişmekte olan modern yaşam için vazgeçilmez unsurlardır. Ürünlerin ve maddelerin bozulmadan istenilen sürelerde korunabilmesi, endüstride sıcaklığın önemli olduğu süreçlerin düzenlenmesi ve ortamların konforlarının sağlanabilmesi amacıyla bu sistemlerin yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Soğutma sistemlerinde farklı türlerde oluşan arızalar sistemlerin verimli çalışmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu arızaların bazılarının tespiti arızanın türüne bağlı olarak değiştiği için tespit edilmesi ve sorunun giderilmesi zaman alabilmektedir. Büyük soğutma sistemleri, oluşan arızaların teşhisi ve tespiti için gerekli ölçüm verilerine kısmen sahip olabilmektedir. Ancak küçük ve orta ölçekli sistemlerde yeterince ölçüm verisi alınmadığından tespit ve teşhis zor olmaktadır.

Soğutma sistemlerinde uygulanan yanlış bakım ve arızaları çözümleri, yüksek onarım maliyetlerine 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 ta Performans katsayısının (COP) değişmesine neden olmuştur. Arızaların Tespiti ve Teşhisinin uygulanması, enerji, bakım ve onarım maliyetlerini düşürerek, sistemin uzun süreli hasar görmesinin önlenmesini sağlamaktadır [1]. Bu bağlamda, Rossi vd. [2] yaptıkları çalışmada çatı tipi iklimlendirme ünitelerinin soğutma sistemindeki sıcaklıkların ve nemin ölçülmesi ile arızaların tespiti için etkili bir yöntem sunmuşlardır. Her bir durum için normal ve arızalı durumlardaki veriler karşılaştırılarak teşhis gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışmada, Braun [3] soğutma grupları, paket tipi klimalar ve buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri için otomatik arıza tespiti ile ilgili çalışmalara genel bir bakış yapmıştır. Kondenserde oluşan tıkanıklığın ve soğutucu akışkan eksikliğinin termodinamik değişikliklerin ölçülmesiyle tespit edilebileceğini belirtmiştir. Han vd. [4] tarafından buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde arıza tespit ve teşhis (FDD) yöntemi adını verdikleri arıza tespiti çalışması yapılmıştır. Sensör maliyetinden tasarruf ederken FDD performansını iyileştirmek için veriye dayalı soğutma grubu FDD uygulamalarında bilgi tabanlı filtre ve genetik algoritma tabanlı özellik seçimi (FS) tekniklerini kullanmaktadır. Takip eden çalışmalardan biride Janecke vd. [5] sundukları statik ve dinamik arıza tespit yöntemidir. Bu yöntemde, transkritik soğutma çevrimleri için inceleme yapılmıştır. Düşük maliyetli sensörlerden alınan ölçümlerde kullanılan sanal sensörler, hatalı davranışı belirlemek için kullanılmıştır. Bu analiz, dinamik FDD yönteminin kullanılmasının faydalı olabilmesine rağmen, sensör sayısındaki artışın sınırlı olduğunu ve maliyetleri artıracığını göstermiştir. Choi vd. [6] R22'nin yerine R407C kullanılarak, genleşme cihazının bir sudan suya ısı pompasının performansı üzerindeki etkilerini çeşitli şarj koşulları altında araştırmışlardır. Bir kılcal boru ve bir elektronik genleşme valfi (EEV)'nin genleşme cihazlarını kullanan ısı pompası akışkan şarj miktarları değiştirilerek test edilmiştir. Soğutucu akışkanın şarjında sapma olduğunda, R407C'li EEV sistemi, R22 ve R407C kılcal boru sistemlerine kıyasla daha düşük soğutma kapasitesi ve COP değerine sahip olduğu görülmüştür. Siegel [7] üç kızgınlık tekniğini incelemiştir. Teşhislerden biri hariç diğer ikisi yanlış şarjı tespit etmek için uygun olmaktadır. Ayrıca, dört evde yapılan ölçümlerde, kondenser hava girişi sıcaklığının doğru ölçülmesinin önemli olduğunu göstermiştir. Soğutucu akışkan şarjının enerji kullanımı ve konut soğutma sistemlerinin kapasitesi üzerindeki önemi, kızgınlık testinin sınırlamaları, test yöntemi sonuçlarındaki ve ara yüzlerdeki değişiklikler, soğutucu akışkan şarj seviyesini belirlemek için standart yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Soğutma sisteminde arıza tespit çalışmalarında Castro [8], sabit hızlı, pistonlu kompresörlü 12 ton kapasiteli hava soğutmalı bir soğutma sistemini incelemiştir. “Pistonlu kompresörlü ve R404a soğutucu akışkanlı 4.0 kW nominal soğutma kapasiteli chiller” yapılan çalışmada, soğutma çevrimindeki en yüksek COP'nin, soğutucu akışkan şarj hızının herhangi bir azalma yada artış olmadan gerçekleştiği bir zamanda meydana geldiği kanıtlanmıştır. Wang vd. [9] çalışmanın amacı, Bayes ağı (BN) ve temel bileşen analizini (PCA) bir araya getirerek gerçek uygulamalar için doğruluğu yüksek gelişmiş bir soğutma arıza tespit ve teşhis yöntemi önermektir. Test sonuçları, özellikle düşük seviyelerindeki arızalar için doğruluk oranının en fazla %43 oranında gerçekleşmiştir. Bu konudaki Bogdanovská'nın [10] çalışmasında, soğutucu akışkan R134a ve R404A kullanılan buzdolapları için yoğunmalı ünitelerin arıza analizi gerçekleştirilmiştir. Arıza Ağacı Analizi esas alınarak, yoğunmadaki hata sayısı %40 ve valf arızaları da yaklaşık %50 oranında azaltılmıştır.

Soğutma sistemlerinde görüntü işleme yöntemleri kullanarak inceleme, performans testi ve arıza teşhisi gibi konularda çalışmalar da farklı bir yöntem olarak literatürde yer almıştır. Bu yöntemlerden olan Katırcıoğlu vd. [11] sundukları çalışmada R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanlarının performansını termal görüntü işleme tekniği ile incelenmiştir. Soğutucu akışkanın performansını değerlendirmek için Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PKBA) ve yüzey sıcaklığına dayalı COP (COPST) ve kızılötesi görüntü analizi ile olmak üzere iki yöntem önerilmiştir. Bir diğer çalışmada Katırcıoğlu vd. [12], soğutma sisteminde oluşabilecek kaçakların tespiti için, kızılötesi görüntü işleme tekniğine dayalı yeni bir yöntem önerilmiştir. Katırcıoğlu vd. [13] tarafından R22 akışkanına alternatif olan, ozon tabakasına dost R417A ve R438A akışkanlarının ticari soğutma sistemlerine yönelik performans analizi yapılmıştır. Referans R22 gazı ile R438A ve R417A gazlarının performansları kızılötesi görüntü analizi ile gerçekleştirmek için bölgesel öz nitelik veri elde edimini ile COP olmak üzere iki yöntem önerilmiştir. Elde edilen sayısal ve görsel uygulama sonuçlarına göre, R22 gazına en yakın performansı R438A göstermiştir. Geleneksel hesaplamalı performans testlerine göre, uygulanan sistemin kullanım kolaylığı, uzaktan ölçüm ve eş zamanlı kayıt alma noktasında daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Yongbo vd. [14], yaptıkları çalışmada dönen makinelerin arıza teşhisini incelemiştir. Kızılötesi Termal (IRT) görüntü için evrişimli sinir ağı (CNN) kullanan bir arıza teşhis yöntemini içermektedir. İlk olarak, dönen makinelerin IRT görüntülerini yakalamak için IRT tekniği kullanılmıştır. İkinci olarak, IRT görüntülerinden hata özelliklerini çıkarmak için CNN uygulanmıştır. Sonunda, elde edilen öz nitelikler, hata örüntüsü tanımlaması için Softmax Regresyon (SR) sınıflandırıcısına gönderilmiştir. Taheri-Gravand vd. [15], yaptıkları çalışmada kızılötesi termal görüntüler kullanarak soğutma radyatörünün farklı koşullarının sınıflandırılması için yeni bir akıllı arıza teşhisi ve durum izleme sistemini sunmuşlardır. Sistem, altı tip soğutma radyatörü arızasını sınıflandırmak için test edilmiştir; radyatör borularının tıkanması, radyatör kanatçıklarının tıkanması, kanatlar ve borular arasındaki gevşek bağlantı, radyatör kapısı arızası, soğutma sıvısı sızıntısı ve normal koşullardır. Nasiri vd. [16], yaptıkları çalışmada soğutma radyatörü durumunun, motor performansını etkileyen faktörlerden biri olduğu vurgulanmıştır. Önerilen CNN modeli, radyatörün altı koşulunu sınıflandırmak için girdi olarak doğrudan kızılötesi termal görüntüleri kullanmıştır: normal, boru tıkanması, soğutucu sızıntısı, kapak arızası, kanatçıklar ve borular arasındaki gevşek bağlantılar ve kanatçık tıkanması. Modelin değerlendirilmesi, yapay sinir ağı gibi geleneksel hesaplamalı zeka yöntemlerinden daha iyi sonuçlara yol açtığını ve çeşitli çalışma koşullarında soğutma radyatörünün arıza teşhisi ve durum izlemesi için yüksek performans ve doğrulukla kullanılabileceğini göstermiştir. Mehta vd. [17], yaptıkları çalışmada rulman yatak arıza teşhisi için IRT'nin kullanımını sunmaktadır. Termal görüntünün ayrıştırılması için iki boyutlu bir ayrık dalgacık dönüşümü (2D-DWT) uygulanmıştır. Çıkarılan öz niteliklerin boyutsallığının azaltılması için temel bileşen analizi (PCA) kullanılmış ve ardından en ilgili öz nitelikler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hataların sınıflandırılması ve performans değerlendirmesi için sınıflandırıcılar olarak destek vektör makinesi (SVM), doğrusal diskriminant analizi (LDA) ve k-en yakın komşu (KNN) dikkate alınmıştır. Sonuçlar, SVM'nin KNN'nin yanı sıra LDA'dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Choudhary vd. [18], yaptıkları çalışmada asenkron motor (IM)'daki farklı rulman yatak hatalarını, yani iç ve dış yatak kusurlarını ve yağlama eksikliğini teşhis etmek için ortaya çıkan iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü (2D-DWT) tabanlı bir IRT yöntemi önerilmiştir. Sınıflandırma sonuçları, destek vektör makinesi (SVM)'nin karmaşık karar ağacı (CDT) ve diskriminant analizi (LDA)'dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Önerilen

strateji, rulman arızası nedeniyle planlanmamış ve istenmeyen sistem kapanmalarını önlemeye yardımcı olan IM'deki rulman arızalarının kendi kendine uyarlamalı tanınması için kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, soğutma sistemlerindeki arızaların hızlı ve uzaktan tespitini yapmak için kızılötesi görüntü işleme tekniği kullanılarak sistemin yüzey sıcaklıklarının farklılıklarının incelenmesini gerçekleştirmektir. Soğutma sisteminde de kompresör, kondenser, evaporatör gibi önemli görevleri olan elemanları içeren 9 alt görüntünün, arıza incelemesini kolaylaştırmak ve çalışmanın işlem hızını artırmak amacı ile yüzey sıcaklıkları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Seçilen her bölge için maksimum yüzey sıcaklık, minimum yüzey sıcaklığı, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklığı olmak üzere 4 öznitelik elde edilmektedir. Soğutma sisteminden alınan bu veriler normal ve arızalı durumlarındaki farklılıkları belirleyerek arıza teşhisi için ön bir inceleme ve değerlendirme basamağını oluşturmaktadır.

Literatürdeki ve genel uygulamalarda kullanılan yöntemlerde birden fazla sayıda oluşan arızaların yüzey sıcaklık bilgilerinin kullanılmaması, bu yöntemin literatüre göre en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bu çalışma sayesinde bundan sonra gerçekleştirilecek soğutma sistemlerindeki arıza teşhis uygulamalarında öz nitelik çıkartma yöntemi olarak kullanılacaktır.

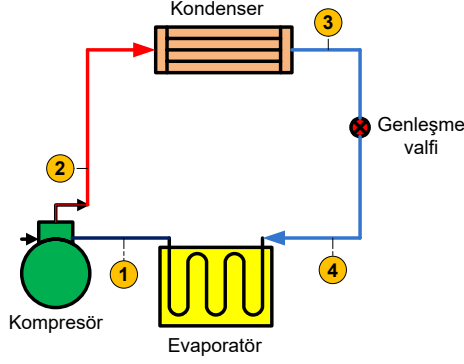
Bu çalışmada ikinci bölümde, soğutma sisteminin deney seti kurulumu ve bu sistemde arıza türlerinden kısaca bahsedilmiştir. Soğutma sistemlerinde çeşitli arıza durumlarında yüzey sıcaklıklarının kızılötesi görüntü işleme yöntemi ile incelenmesi için özniteliklerin elde edilmesi ve önerilen yöntemin safhaları üçüncü bölüm altında sunulmuştur. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemin sayısal sonuçları ve grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen görsel ve sayısal sonuçlar arıza durumlarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Son bölümde ise yöntem ile ilgili değerlendirmeler yapılmış ve ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

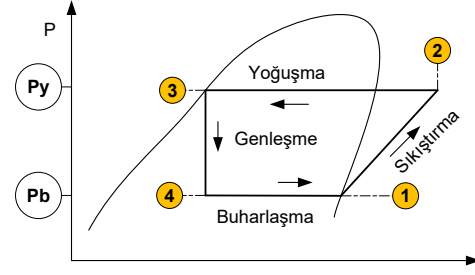
A. MATERYAL

Soğutma sistemlerinin büyük kısmı buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin prensiplerine uygun çalışmaktadır. Şekil 1, basit bir buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin şematik diyagramını ifade etmektedir. Teorik analizi dört temel süreçten oluşan çevrimin termodinamik analizi Şekil 2, P-h diyagramı kullanılarak yapılmaktadır. İdeal çevrim, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kısılma (genleşme) vanası ve kompresör olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır.

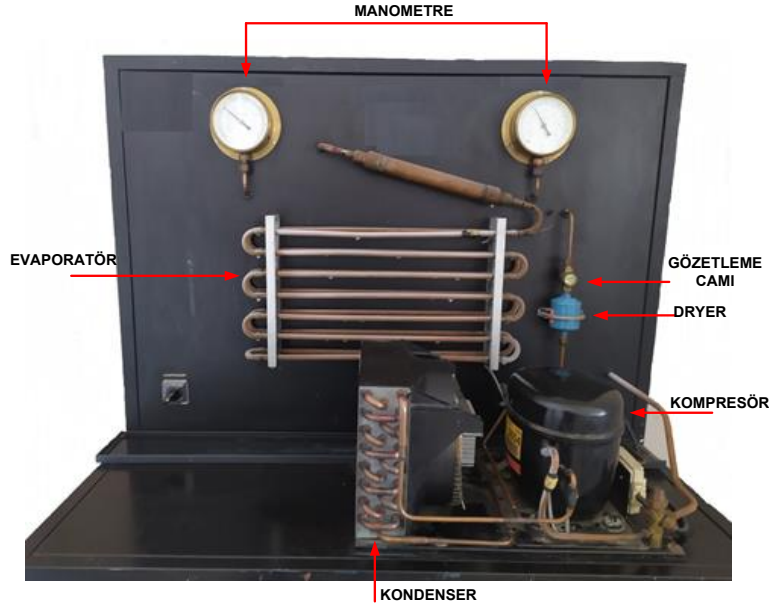
Ev tipi ve ticari tip soğutma cihazları için soğutma işleminde, genleşme cihazı olarak bir kılcal boru veya termostatik genleşme valfinin kullanıldığı buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi tercih edilmektedir. Yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı içindeki soğutucu akışkanın faz değişimini gerektiren buhar sıkıştırımlı soğutma sistemidir [19]. Deneysel sistem, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi esasına göre dizayn edilmiştir. Deney sisteminde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan soğutma deney seti şekil 3'de ve kullanılan tüm komponentler ile ölçüm ekipmanların pozisyonları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 1. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi



Şekil 2. P-h diyagramı



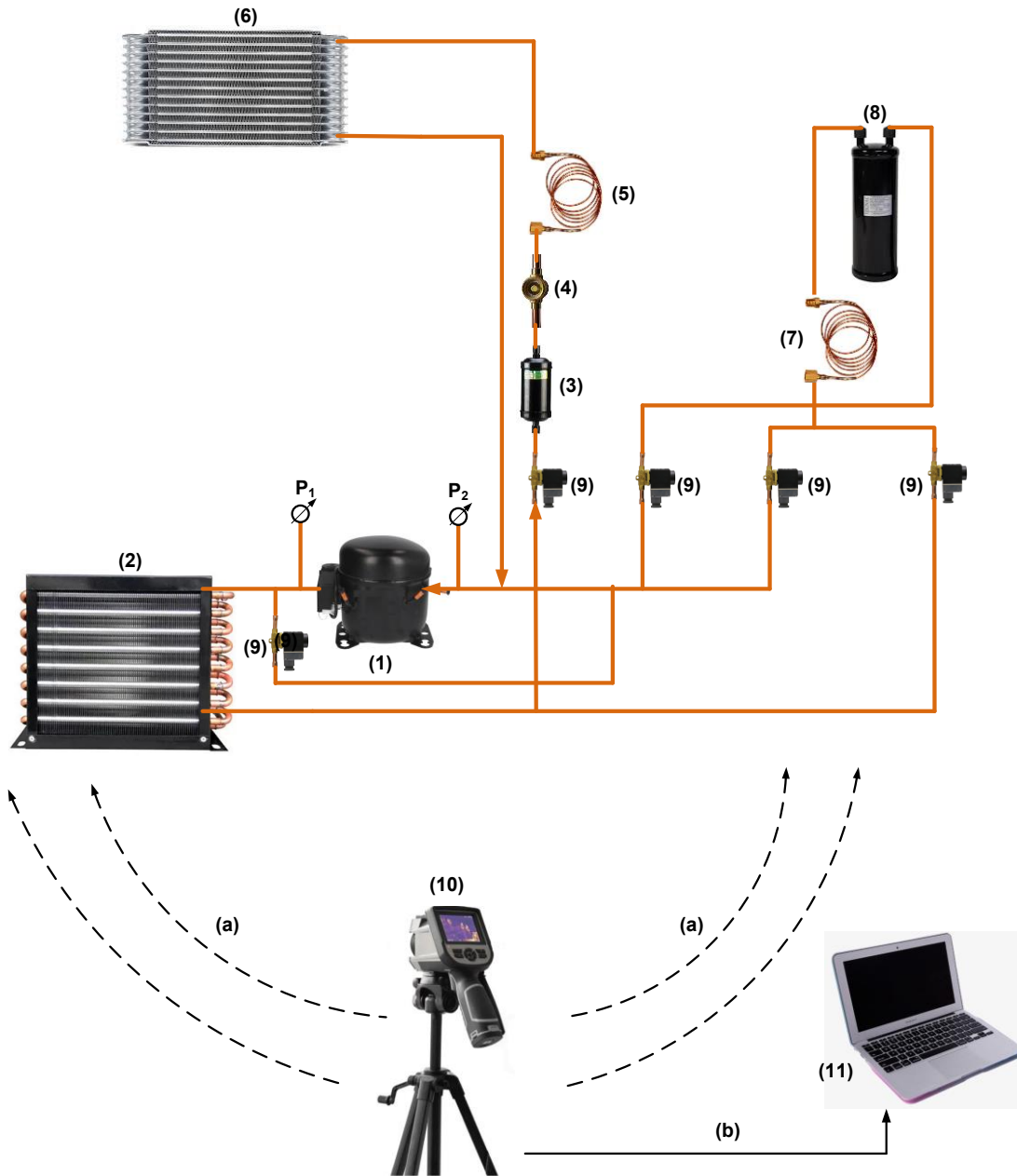
Şekil 3. Soğutma sistemi deney seti

Tablo 1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların özellikleri

Ekipman ve Sensörler	Teknik Özellikler
Kompresör	Hermetik pistonlu, Akışkan: R22, Güç: 288 W
Kondenser	Hava soğutmalı, max. hacimsel hava akış oranı: 300 m ³ /h
Evaporatör	Çıplak borulu, max. hacimsel hava akış oranı: 180 m ³ /h
Genleşme Valfi	Kılcal borulu, 1.5 m
Soğutma kapasitesi	463 W, R22 soğutucu akışkan
Akümlatör	Emiş hattı, Çalışma basıncı: 33 bar, Min.Max sıcaklık: -10 ⁰ C-+100 ⁰ C
Drayer	Kaynaklı
Gözetleme camı	Kaynaklı
Gaz Dolum Cihazı	Dijital terazili gaz şarj istasyonu, Basınç gösterge: 0..30 Bar
Manometre	Soğutma grupları için, alttan çıkışlı direk bağlantılı, Basınç aralığı: -1..9 Bar/-1..24 Bar
Termal Kamera	FLIR E8-XT, Kızılötesi çözünürlük (IR): 320x240 (76800 piksel) Termal hassasiyet: <0.05 °C/<50 mK, Minimum odak uzaklığı: 0.5 m,

Termal duyarlılık: <0.06 °C,
Nesne sıcaklık aralığı: $-20/+550$ °C, Doğruluk: $+10$ °C ile $+35$ °C arasındaki ortam sıcaklığı ve $+0$ °C üzerindeki nesne sıcaklığı için ± 2 °C veya okumanın ± 2 %'si

Tasarlanan deney sisteminde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan termal kamera sıcaklık aralığı $-20/550$ °C doğruluğu çözünürlüğü 320×240 ve termal hassasiyet ve duyarlılığı yüksek bir kamera olup deney setine olan uzaklığı 1.5 m'dir.



Şekil 4. Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları (1)Kompresör (2)Kondenser (3)Drayer-kurutucu (4)Gözetleme camı (5) Genleşme valfi (6)Evaporatör (7) Kılcal boru (8) Akümülatör (9) Selenoid valf (10) Termal kamera (11) PC (a) Termal kamera ile görüntü alınması (b) Veri aktarımı (P₁) YB manometresi (P₂) AB manometresi

B. ARIZA TÜRLERİ

Bu deney seti farklı soğutma arızalarını tespit etmek için tasarlanmıştır. Sistemde toplam beş farklı arıza oluşturulabilir. Bu arızalar ve kısaltmaları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Arıza listesi, kısaltmalar ve arıza belirtileri [1]

ARIZALAR	ARIZA BELİRTİLERİ							
	Emme hattı basıncı	Basma hattı basıncı	Kızgınlık	Aşırı soğutma	Soğutucu akışkan debisi	Yüzey sıcaklığı	Soğutma kapasitesi	Kısaltmalar
Kompresör arızası	Yüksek	Düşük	Yok	Yok	Düşük	Yüksek	Azalı	KA
Genleşme valfi tıkalı arızası	Düşük	Düşük	Yüksek	Sabit	Düşük	Yüksek	Azalı	GVT
Eksik soğutucu akışkan şarjı arızası	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Azalı	EŞ
Aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Artar	AŞ
Kirli kondenser arızası	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Azalı	KK
Normal şartlar (Arıza yok)	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	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 yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirileceği sisteme soğutucu akışkan öncelikle sistem vakum edilerek elektronik terazi kullanılarak 700 g miktarında akışkan şarjı yapılmıştır. Deneylerin stabil ve sağlıklı bir ortamda gerçekleştirilebilmesi, farklı çalışma ve arıza durumlarının performanslarının daha gerçekçi şekilde incelenebilmesi için sistem kapalı bir ortamda, dış sıcaklık sabit olacak bir şekilde tasarlanmıştır. Veriler her çalışma durumu için sistem çalışırken termal kamera ile görüntüler, normal ve arızalı çalışma durumları kararlı hale geldikten sonra 10’ar dak ara ile alınmıştır. Arıza türleri aşağıda oluşum nedenleri ve getirmiş olduğu sonuçlar ile açıklanmaktadır.

NŞ: Normal, Bu durum sistemin hatasız normal çalışmasıdır.

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

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 ve soğutma kapasitesi artmaktadır.

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, evaporatör ile ortam arasındaki ısı alışverişi engellenmiş olacaktır. Soğutma çevriminin verimliliğinde ve soğutma kapasitesinde azalma meydana gelmektedir.

GVT: Genleşme valfi tıkanır 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 ve soğutma kapasitesi azalır [20] [1] [21].

III. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE UZAKTAN ARIZA TESPİTİ YAPMAK İÇİN YÜZEY SICAKLIKLARININ KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

A. MAKSİMUM VE MİNİMUM YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ

Üzerinde çalışılan bölgenin maksimum ve minimum değerleri bölge için alt ve üst değerleri tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Çünkü arıza durumlarında soğutma sisteminin bazı elemanlarında aşırı soğuma veya aşırı ısınma durumları gerçekleşmektedir. Bunun için Eşitlik 1. de maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin elde edildiği yöntemleri sunulmuştur.

$$\begin{aligned} T_{max} &= \max(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \\ T_{min} &= \min(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \end{aligned} \quad (1)$$

Eşitlik 1. de ki T_I , renkli kızılötesi görüntünün gri termal görüntüye dönüştürülerek elde edilen giriş görüntüsünü, T_{low} ve T_{high} sıcaklık barının alt ve üst değerlerini göstermektedir.

B. ORTALAMA YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık değerlerinin ortalama değeri Eşitlik 2. de verilmiştir.

$$T_{av} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I}{M * N} \quad (2)$$

Eşitlik 2. de ki M ve N kesilen bölgenin boyut bilgileridir.

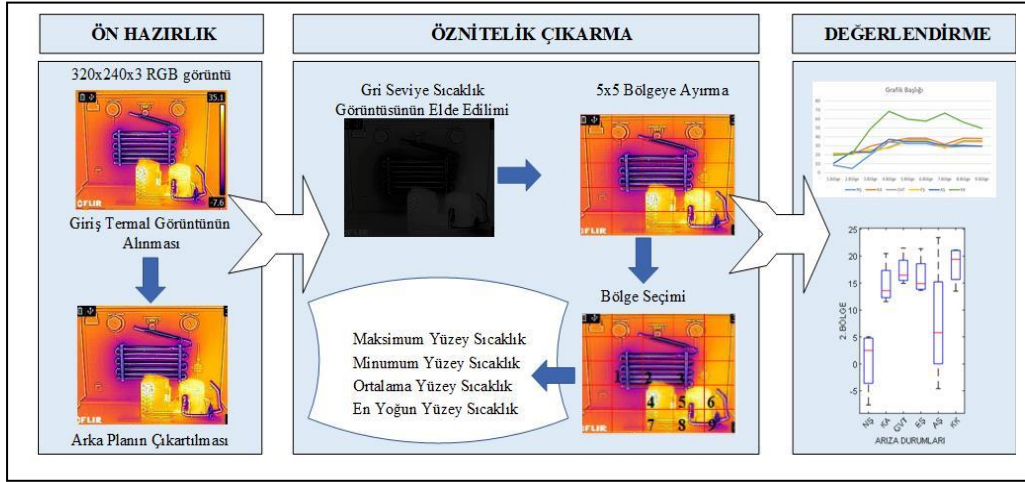
C. EN YOĞUN YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde en çok karşılaşılan sıcaklık değerini tespit etmek için Algoritma 1. kullanılmıştır.

Algoritma 1. En yoğun yüzey sıcaklık değeri belirleme sözel kodu.

```
Adım 1. Her bir piksele karşılık gelen sıcaklık değerini bul.
Adım 2. En yoğun yüzey sıcaklık değerini bulma
for i=1:satir
for j=1:sütün
değer=T_I(i,j);
frekans(değer)=frekans(değer)+1;
end
end
Adım 3. En yoğun sıcaklık değerini göster
Tyoğun =Max(frekans(değer));
```


Algoritma 1. e göre karşılaşılan her sıcaklık değerinde o sıcaklık değerinin sayacı bir artarak karşılaşma miktarı belirlenmektedir. Bu öznitelik soğutma sistemindeki elemanların yüzeysel sıcaklık değerlerinin yoğunluğu hakkında bilgi vermesi amacıyla tercih edilmiştir.



Şekil 5. Önerilen çalışmanın akış diyagramı

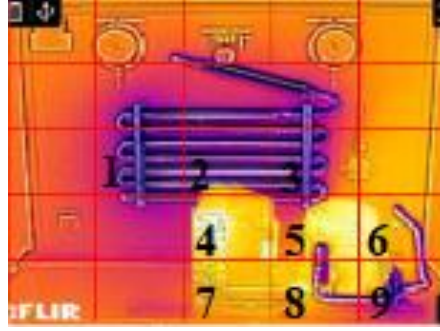
Önerilen sisteminin akış şeması Şekil 5’de yer almaktadır. İlk olarak soğutucu sisteminden normal çalışma durumundan ve 5 arıza oluşturulduktan sonra elde edilen kızılötesi görüntüleri termal kamera ile alınmaktadır. İkinci aşamada bu kızılötesi görüntülerin işleme girmemesi için arka plan çıkarılmaktadır. Bu iki evre ön hazırlık bölümü olarak adlandırılabilir. Öznitelik çıkarma safhasında görüntü 5x5 25 bölgeye ayrılmaktadır. Kullanıcının üzerinde yoğunlaşmasını istediği bölgeler girildikten sonra her bir görüntü için öznitelik verileri çıkartılarak, özellik matrisi oluşturulmaktadır. Son olarak bu veriler kullanılarak Değerlendirme safhasında kutu ve çizgi grafikleri elde edilmektedir. Genel değerlendirmenin sonunda oluşturulan arıza tipine göre soğutucu sistemin hangi elemanlarında sıcaklık değişimleri olduğu tespiti yapılmaktadır.

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

MATLAB (MATrix LABoratory) 1985 yılında C.B Moler tarafından matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiş etkileşimli bir paket programlama dilidir [22]. Bu çalışma, Intel(R) Core(TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz 2.30 GHz işlemci ve 6,00 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda MATLAB 2021a versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmanın kullanılabilirliğini artırmak için, MATLAB GUI (Graphical User Interfaces) geliştirme aracı tercih edilmiştir. Geliştirme aracının temel özelliği formlar ve butonlar gibi nesnelere oluşan görsel yazılımlar ile kullanıcı ara yüzü oluşturulabilmesidir [23].

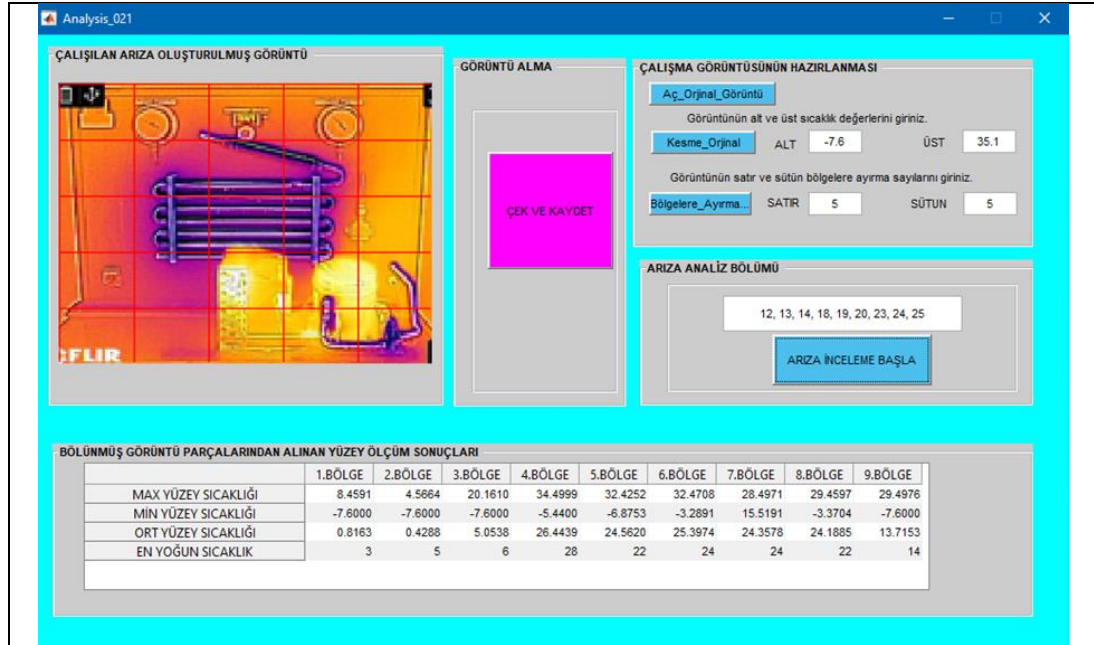
Önerilen çalışma, Arıza Durumlarında Yüzeysel Sıcaklıklarının İncelenmesi (ADYSİ) olarak adlandırılacak olup, ara yüzü Şekil 7. de verilmiştir. Kullanıcı soğutma sisteminde normal çalışma veya arıza durumlarından birini oluşturduktan sonra “ÇEK ve KAYDET” butonuna basmaktadır. Bu süreci farklı durumlar için tamamladıktan sonra, üzerinde çalışılmak istenen arıza durumunun kızılötesi görüntüsü yüklenerek, başlanmaktadır. Kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık bar göstergesinin alt ve üst sıcaklık değerleri girildikten sonra “Kes” butonuna basılır. “Kes” butonuna basılmasıyla görüntünün sol üst köşesi ve sağ alt köşesinden istenilen koordinat noktaları girilmektedir. Böylece deney setinin arka plan kısımları, sıcaklık bar göstergesi gibi istenilmeyen bölgeler kesilerek atılmaktadır. Bu işlemden sonra, kullanıcıdan kesilen görüntüyü kaç alt bölgeye ayırması gerektiği sorulur ve bunun için satır ve sütun bilgileri girilmektedir. Çalışma da bütün görüntüler 5x5 olmak üzere 25 alt bölge oluşturularak inceleme işlemi gerçekleştirilmiştir. “Bölgelere

Ayırma” butonuna basılmasıyla görüntü alt bölgeleri kırmızı çizgi ile belirlenmiş olarak, güncellenmektedir.



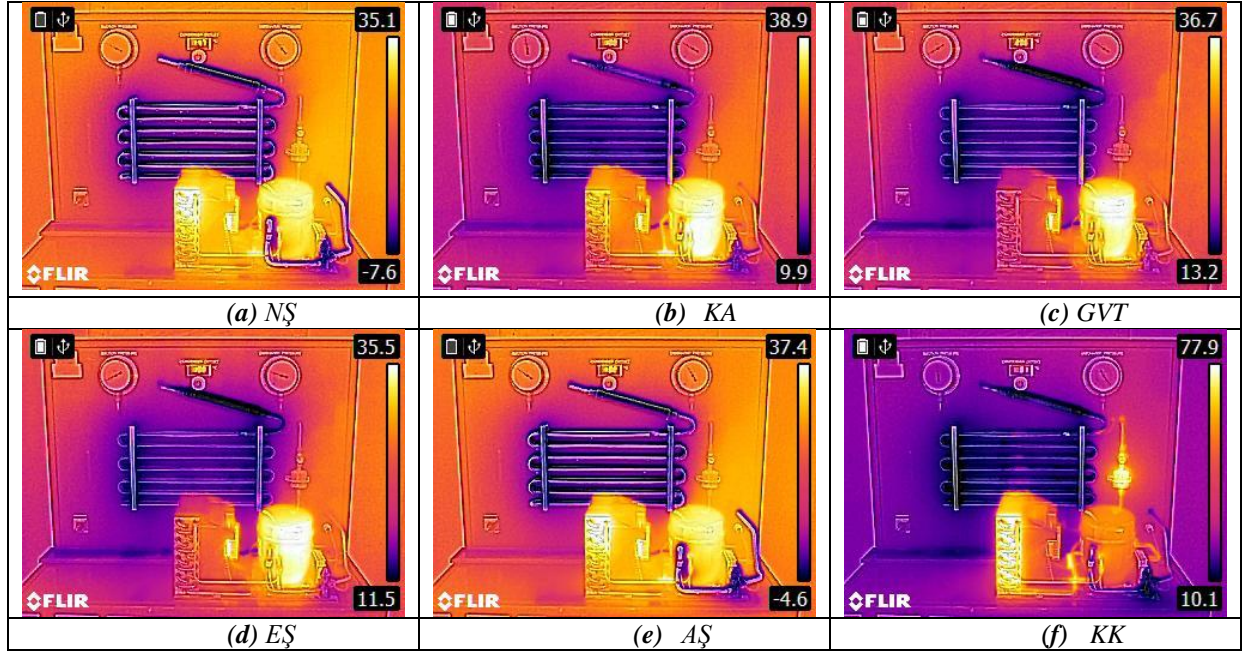
Şekil 6. Seçilen bölgelerin kızılötesi görüntü üzerinde gösterimi

İşlem hızını artırmak ve kullanıcının istediği bölgelere yoğunlaşmak için kullanıcıdan hangi bölgeleri istiyor ise o bölge numaraları girilerek, “ARIZA İNCELEMeye BAŞLA” butonuna basılmaktadır. Şekil 6. da önerilen çalışmada seçilen bölgeler 1’den 9 a kadar numaralandırılmıştır. Seçilen bölgeler için maksimum, minimum, ortalama ve en yoğun sıcaklık öznelik verileri elde edilmektedir.



Şekil 7. Matlab GUI öznelik çıkartım yöntemi ara yüzü

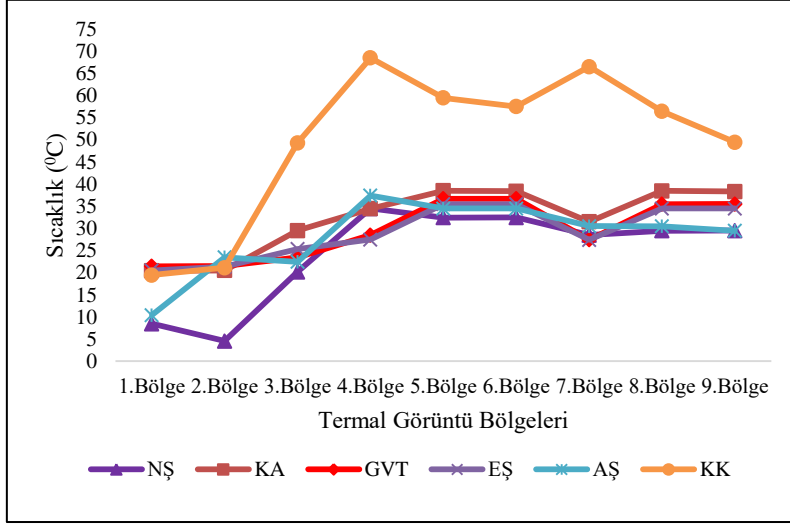
ADYSİ normal çalışma ve KA, GVT, EŞ, AŞ ve KK arızaları için çalıştırılmış her bir durum için 3 kızılötesi test görüntüsü alınmıştır. Her bir test görüntüsü için 9 bölge belirlenerek 4 öznelik elde edilmiştir. Şekil 8. de normal çalışma ve 5 arıza durumunda alınmış kızılötesi görüntüler yer almaktadır. Tablo 3. 'ün sayısal sonuçlarına bakıldığında, normal çalışma ve arıza durumlarında inceleme sonuçları için kesin bir yargıya varmak veya karşılaştırma yapmak güçtür. Bunu için Tablo 3. de yer alan durumların öznelik verileri için grafik çalışması ve belirlenen bölgeler için ise karşılaştırmalı kutu grafik çalışması gerçekleştirilmiştir.



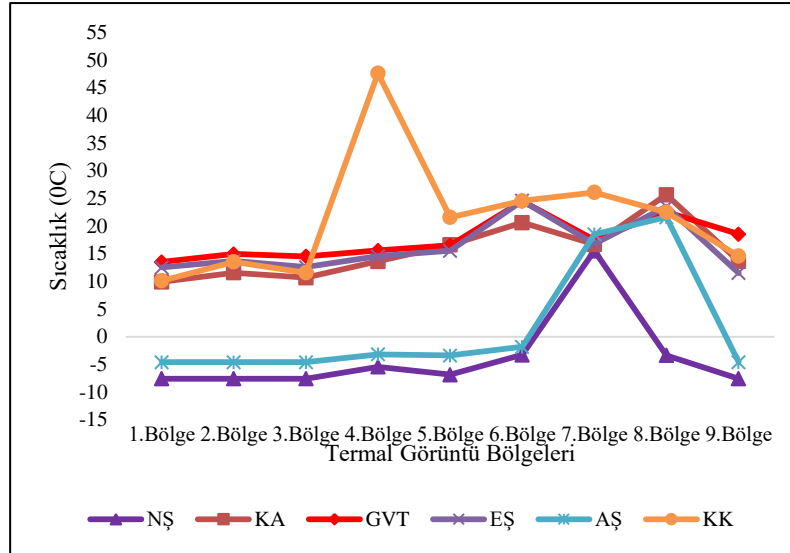
Şekil 8. Normal çalışma ve 5 arıza durumunda alınmış kızılötesi görüntüler

Tablo 3. Normal ve arıza durumlarında elde edilen öznelik verileri

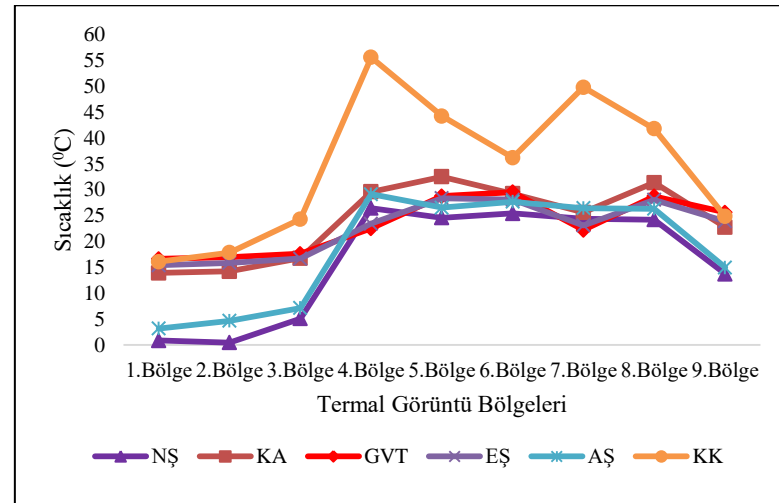
Arıza Durumu	1.Böl.	2.Böl.	3.Böl.	4.Böl.	5.Böl.	6.Böl.	7.Böl.	8.Böl.	9.Böl.	
NŞ	MaYS	8,4591	4,5664	20,161	34,4999	32,4252	32,4708	28,4971	29,4597	29,4976
	MiYS	-7,6	-7,6	-7,6	-5,44	-6,8753	-3,2891	15,5191	-3,3704	-7,6
	OYS	0,8163	0,4288	5,0538	26,4439	24,562	25,3974	24,3578	24,1885	13,7153
	EYYS	3	5	6	28	22	24	24	22	14
KA	MaYS	20,4125	20,4979	29,4893	34,4638	38,499	38,3861	31,4815	38,456	38,2996
	MiYS	9,9	11,5425	10,6702	13,6008	16,5809	20,6019	16,6798	25,6299	13,5989
	OYS	13,8767	14,2018	16,7478	29,5784	32,5119	29,2068	25,5866	31,3532	22,7454
	EYYS	15	13	18	30	31	30	26	31	17
GVT	MaYS	21,4276	21,4779	23,4621	28,4713	36,7	36,7	27,4306	35,4602	35,4782
	MiYS	13,503	14,9405	14,5053	15,5606	16,5062	24,5224	17,5039	22,5133	18,5224
	OYS	16,603	16,9647	17,6195	22,4855	28,7519	29,5134	22,1989	28,7362	25,5977
	EYYS	18	16	15	23	28	28	19	28	19
EŞ	MaYS	20,4968	21,3669	25,3282	27,4559	35,4592	35,4501	27,4085	34,4745	34,4867
	MiYS	12,5129	13,6843	12,56	14,5254	15,5073	24,5674	16,749	23,503	11,5
	OYS	15,3924	15,8295	16,6761	23,4296	28,3425	28,0759	23,0815	28,0395	23,8847
	EYYS	14	14	14	25	27	27	25	27	24
AŞ	MaYS	10,4109	23,4423	22,4625	37,4	34,4993	34,4973	30,4976	30,4852	29,4571
	MiYS	-4,6	-4,6	-4,6	-3,2011	-3,3965	-1,8398	18,5028	21,5984	-4,6
	OYS	3,1588	4,6335	7,1115	29,1174	26,5394	27,6575	26,4194	26,3121	14,9435
	EYYS	5	7	9	29	24	26	29	24	16
KK	MaYS	19,4379	21,1159	49,2938	68,471	59,4537	57,4997	66,4879	56,4164	49,4397
	MiYS	10,1	13,5084	11,5592	47,6018	21,5537	24,5432	26,0693	22,5007	14,5579
	OYS	16,0733	17,8195	24,28	55,597	44,2469	36,1904	49,8032	41,7921	24,8174
	EYYS	19	21	27	54	42	38	51	42	28



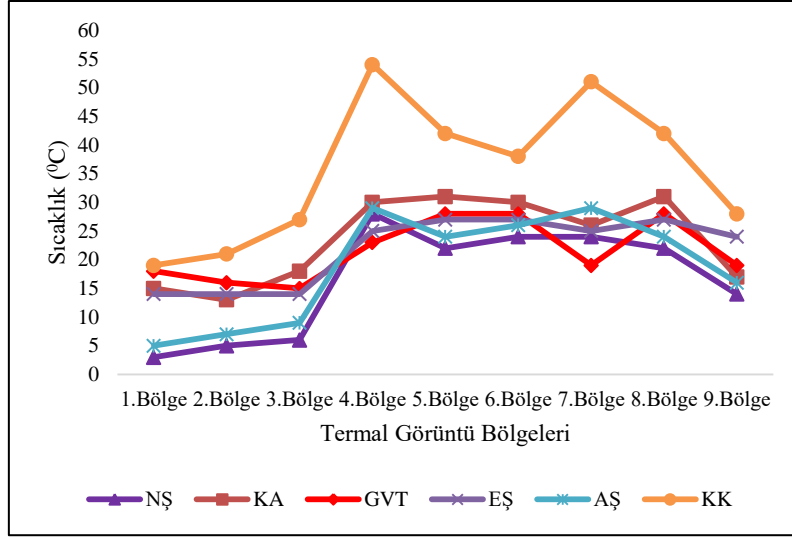
(a) Maksimum yüzey sıcaklık eğrileri



(b) Minimum yüzey sıcaklık eğrileri



(c) Ortalama yüzey sıcaklık eğrileri



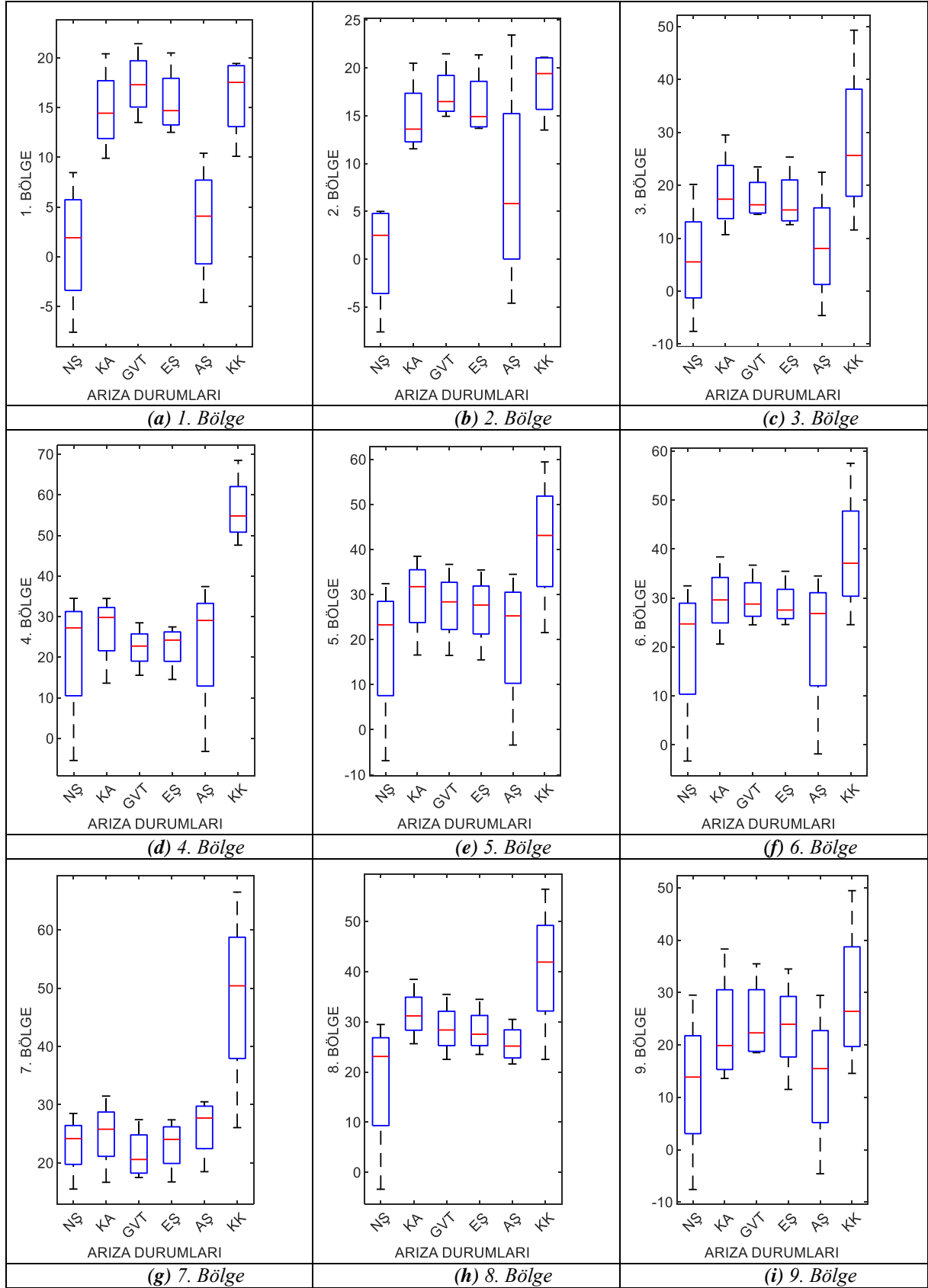
(d) En yoğun yüzey sıcaklık eğrileri

Şekil 9. Öznitelik verilerinin normal ve arıza durumlarına göre çizgi grafikleri

Şekil 9a; maksimum yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (3) (5) (6) ve (8) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Eksik Şarj, Genleşme Valfi Tıkanıklığı, Kompresör Arızası ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9b; minimum yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (1) (3) (4) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Kompresör Arızası, Eksik şarj, Kirli Kondenser ve Genleşme Valfi Tıkanıklığı durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9c; ortalama yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (2) (7) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Kompresör Arızası, Eksik şarj, Genleşme Valfi Tıkanıklığı ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9d; en yoğun yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (1) (2) (3) (5) (6) (8) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Eksik şarj, Kompresör Arızası, Genleşme Valfi Tıkanıklığı ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9 grafiğinde, maksimum, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklıklarının arıza tespitinde birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Grafikler bütünüyle ele alındığında ise arıza tespitinde sırası ile (3) ve (9) bölgelerinden, sonrasında ise (1) (2) (5) (6) ve (8) bölgelerinden alınan termal görüntülerinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kutu grafiklerinde birinci çeyrekte üçüncü çeyreğe bir kutu çizilmektedir. Kutunun uzunluğu verilerin orta bölümlerde yayılma özelliğini verirken, ortanca değer kutudan düşey bir çizgi ile geçmektedir. Verinin uç değerleri ise kutudan bu noktalara çizilen çizgi ile gösterilmektedir.

ADYSİ ile gerçekleştirilen bölgelerin karşılaştırmalı kutu grafikleri Şekil 10. da verilmiştir. Yüzey sıcaklık değişimlerinin normal çalışma ve arıza durumlarındaki farklılıklar özellikle KA ve 1, 2, 3, 8 ve 9. bölgelerinde kendini belirgin bir şekilde göstermiştir. Örneğin Şekil 10. a da gösterildiği gibi NŞ çalışma durumu ile arıza durumlarında çok farklı davranış gösterdiği görülmektedir. Sadece AŞ arızası 1. bölge için NŞ durumuna yakın özelliktedir. Bunun sebebi de sisteme ne kadar fazla soğutucu akışkan şarj edildiğinin bilinmemesidir. Eğer normalden çok fazla miktarda soğutucu akışkan şarj edilmemiş ise bu davranış benzerliği durumu görülebilir.



Şekil 10. Öznitelik verilerinin belirlenen bölgeler yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri (a-i).

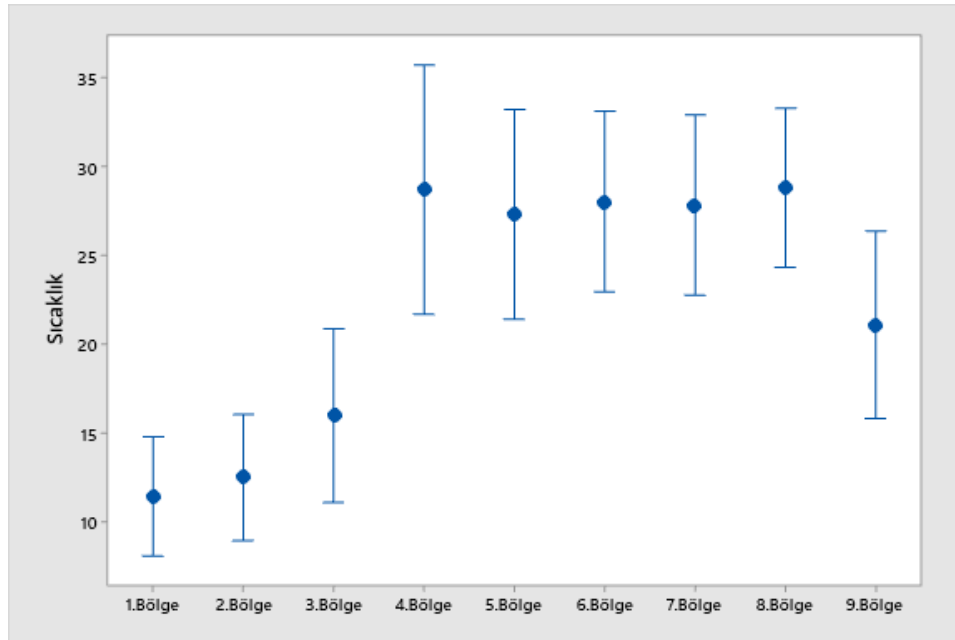
Şekil 10 d. e. ve f. kutu grafiklerinde görüldüğü gibi 4., 5. ve 6. bölgelerde KK dışındaki bütün arıza durumları NŞ' ye yakındır. KA, GVT ve EŞ'nin NŞ'den farklılıklarını tespit etmek için yapılması gerekenin minimum sıcaklık değerlerine bakılması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Birbiri ile olan farklılıklar ise ortalama değerden tespit edilebilmektedir.

Şekil 10 h. ve i. de 8. ve 9. bölgeler için bütün arızaların hem kendi aralarında hem de NŞ durumu ile MaYS, MiYS ve OYS öznitelikleri bakımından farklılıklar taşıdığı görülmektedir. Bu sonuç arıza durumlarının birbirlerinden yüzey sıcaklık özellikleri ile ayırt edilebileceğini kanıtlamaktadır.

Tablo 4. Normal çalışma durumuna göre ve bölgelere göre farklılık gösteren arızalar

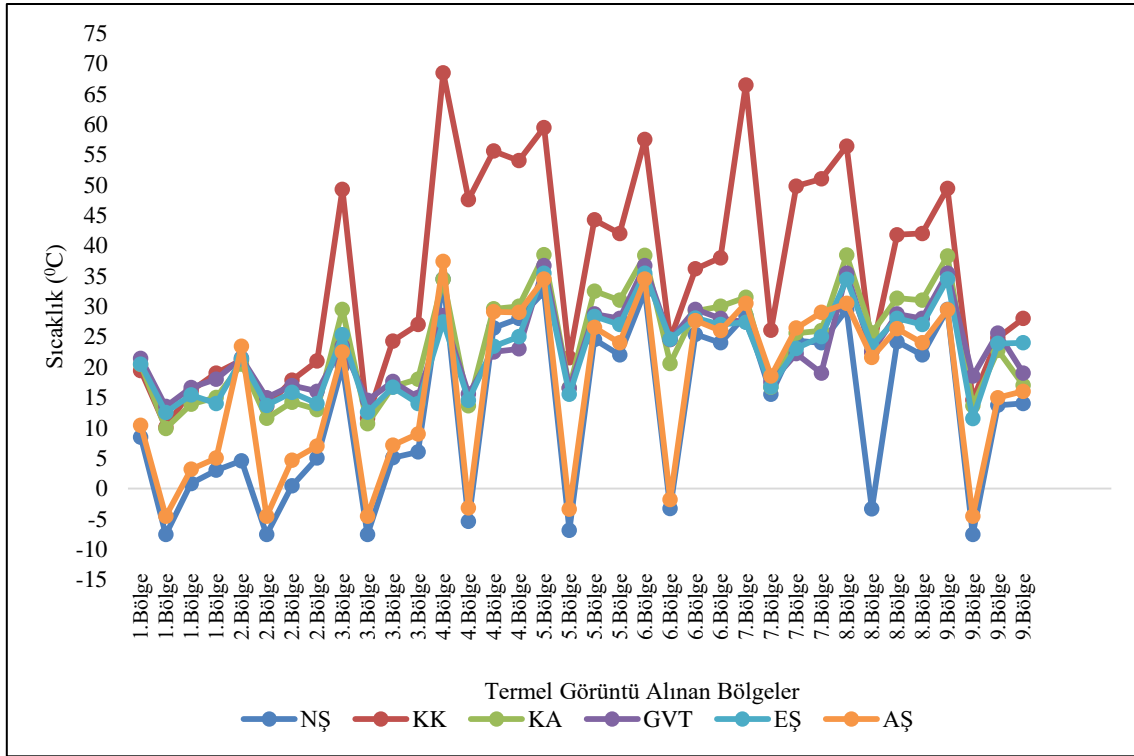
Arıza Durumu	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge	7.Bölge	8.Bölge	9.Bölge
KA	X	X	X		X	X		X	X
GVT	X	X					X	X	X
EŞ	X	X						X	X
AŞ				X				X	
KK	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ADYSİ çalışmasından elde edilen sonuç Tablo 4. de özetlenmiştir. Tablo 4. arıza çeşidine göre normal çalışmadan farkı verilmiştir. Bu fark tablosu referans alınarak bir soğutma sisteminde oluşabilecek bu beş arızadan birisi gerçekleşmesi durumunda tespit işlemi bu tablo kullanılarak yapılabilir. KA ve KK arıza durumları seçilen her bölgede NŞ ve diğer arıza durumlarına göre farklılık göstermiştir. GVT 1., 2., 7., 8. ve 9. bölgelerde, EŞ 1., 2., 8. ve 9. bölgelerde farklılık göstererek yüzeyden arıza durumunun belirlenebilecekleri kanıtlanmıştır. AŞ arızası ise 4. ve 8. bölgede belirlenmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. Arızaların kendi aralarında ki farklılıkların tespitinde ise, MaYS ve MiYS öznitelikleri kullanımını önerilmektedir.



Şekil 11. MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerlerinin birlikte değerlendirilmesi

Şekil 11'da termal görüntülerden elde edilen MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerlerinin birlikte değerlendirildiğinde (1), (2) (3) ve (9) bölgelerinde farklılıklardan arıza tespiti ve teşhisi büyük oranda doğrulukla yapılabilmektedir.



Şekil 12. MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerleri grafiği

Şekil 12’de tüm çalışma şartları için ele alınan bölgelerdeki yüzey sıcaklıklarının grafiği elde edilmiştir. Grafiğe bakıldığında (1) (2) (3) ve (9) bölgelerinde ki farklılıklardan rahatlıkla arıza tespiti ve türü hakkında fikir edinilebileceği sonucuna varılmıştır.

V. SONUÇ

Önerilen bu çalışmada, soğutma sisteminde oluşabilecek arızaları teşhis etmek için, kızılötesi görüntüler üzerinde yüzeysel sıcaklık değişimlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. ADYSİ çalışmasından elde edilen sonuçlara göre, KA ve KK arıza durumları seçilen her bölgede farklılık göstermiştir. GVT 1., 2., 7., 8. ve 9. bölgelerde, EŞ 1., 2., 8. ve 9. bölgelerde farklılık göstererek yüzeyden arıza durumunun belirlenebilecekleri kanıtlanmıştır. AŞ arızası ise 4. ve 8. bölgede belirlenmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. Arızaların kendi aralarında ki farklılıkların tespitinde ise, MaYS ve MiYS öznelikleri kullanımını gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Soğutma sisteminde oluşacak çeşitli arızalar için yüzeyde gerçekleşen sıcaklık değişimleri, arızaya göre farklılık göstereceğinden, bu durumların izlenmesi veya farklılıkların yakalanması işlemi sağlanmıştır. Bu farklılıkların elde edilmesi ile, önerilen yöntemin bundan sonraki uzaktan arıza tespit çalışmaları için en önemli referans ve özellik çıkarım yöntemi olması oldukça yüksek ihtimaldir. Ayrıca kullanılan kızılötesi görüntüleme ile klasik arıza arama yöntemlerdeki ölçü aleti kullanımı kaldırılmış ve arıza arama süresi azaltılmıştır. Sistem için geliştirilen yazılım kullanıcı için kolay programlanabilir, kayıt alma ve kullanılabilir özelliklerine sahiptir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] N. Koçyiğit, H. Bulgurcu and C. X. Lin, "Fault diagnosis of a vapor compression refrigeration system with hermetic reciprocating compressor based on ph diagram," *International journal of refrigeration*, vol. 45, pp. 45-54, 2014.
- [2] T. M. Rossi and J. E. Braun, "A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners," *Hvac&R Research*, vol. 3, no. 1, pp. 19-37, 1997.
- [3] J. E. Braun, "Automated fault detection and diagnostics for vapor compression cooling equipment," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 125, no. 3, pp. 266-274, 2003.
- [4] H. Han, B. Gu, T. Wang and Z. R. Li, "Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning," *International journal of refrigeration*, vol. 34, no. 2, pp. 586-599, 2011.
- [5] A. Janecke, T. J. Terrill, and B. P. Rasmussen, "A comparison of static and dynamic fault detection techniques for transcritical refrigeration," *International Journal of Refrigeration*, vol. 80, pp. 212-224, 2017.
- [6] J. Choi and Y. Kim, "Influence of the expansion device on the performance of a heat pump using R407C under a range of charging conditions," *International Journal of Refrigeration*, vol. 27, no. 4, pp. 378-384, 2004.
- [7] J. A. Siegel, "An evaluation of superheat-based refrigerant charge diagnostics for residential cooling systems," *In 2002 Annual Meeting*, pp. 108, 2002.
- [8] N. S. Castro, "Performance evaluation of a reciprocating chiller using experimental data and model predictions for fault detection and diagnosis/Discussion," *ASHRAE Transactions*, no. 108, pp. 889, 2002.
- [9] Z. Wang, L. Wang, K. Liang and Y. Tan, "Enhanced chiller fault detection using Bayesian network and principal component analysis," *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 898-905, 2018.
- [10] G. Bogdanovská, V. Molnar, and G. Fedorko, "Failure analysis of condensing units for refrigerators with refrigerant R134a, R404A," *International Journal of Refrigeration*, vol. 100, pp. 208-219, 2019.
- [11] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel, and A. Kolip, "Performance Assessment of a Refrigeration System Charged with Different Refrigerants Using Infrared Image Processing Techniques," *Arabian Journal for Science and Engineering*, pp. 1-20, 2021.
- [12] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel ve A. Kolip, "R22 ve Alternatifleri R438A ile R417A Soğutucu Akışkanları için Kızılötesi Görüntü İşleme Teknikleri Kullanarak, Soğutma Sistem Performansının İncelenmesi," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 8, s. 3, ss. 500-513, 2020.
- [13] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel ve A. Kolip, "Soğutma Sistemlerindeki Soğutucu Akışkan Kaçak Tespiti İçin Kızılötesi Görüntüler Üzerinde Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yönteminin Kullanılması," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s.Özel Sayı, ss.28-36, 2020.

- [14] L. I. Yongbo, D. U. Xiaoqiang, W. A. N. Fangyi, W. A. N. G. Xianzhi and Y. U. Huangchao, "Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 33, no. 2, pp. 427-738, 2020.
- [15] A. Taheri-Garavand, H. Ahmadi, M. Omid, S. S. Mohtasebi, K. Mollazade, A. J. R. Smith, and G. M. Carlomagno, "An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique", *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 434-443, 2015.
- [16] A. Nasiri, A. Taheri-Garavand, M. Omid and G. M. Carlomagno, "Intelligent fault diagnosis of cooling radiator based on deep learning analysis of infrared thermal images," *Applied Thermal Engineering*, vol. 163, p. 114410, 2019.
- [17] A. Mehta, D. Goyal, A. Choudhary, B. S. Pabla and S. Belghith, "Machine Learning-Based Fault Diagnosis of Self-Aligning Bearings for Rotating Machinery Using Infrared Thermography," *Mathematical Problems in Engineering*, <https://doi.org/10.1155/2021/9947300>, 2021.
- [18] A. Choudhary, D. Goyal and S. S. Letha, "Infrared thermography-based fault diagnosis of induction motor bearings using machine learning," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 1727-1734, 2020.
- [19] Z. Cingiz, F. Katırcıoğlu, S. Sarıdemir, G. Yıldız and Y. Çay, " Experimental investigation of the effects of different refrigerants used in the refrigeration system on compressor vibrations and noise," *International Advanced Researches and Engineering Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 152-162, 2021.
- [20] S. A. Shamandi and S. Rasouli, "Fault Detection in Compression Refrigeration System with a Fixed Orifice and Rotary Compressor," *AUT Journal of Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 277-286, 2020.
- [21] H. Bulgurcu ve S. Yaşar, "Soğutma sistem arızalarının p-H diyagramı yardımıyla teşhis edilmesi," *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2011, ss. 1265-1281.
- [22] T. Haigh, "Cleve Moler: Mathematical software pioneer and creator of Matlab," *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 30, no. 1, pp. 87-91, 2008.
- [23] M.H. Beale, M.T. Hagan, H.B. Demuth, *Neural network toolbox user's guide. The MathWorks, Inc.*, vol. 103, Colorado, USA: Creating graphical user inter-faces, J. Stovall, The MathWorks, 2002, pp. 1-512.